



**Inspección del rodamiento de la primera etapa del compresor centrífugo del motor Rolls
Royce Dart 534-2 mediante el Manual de Overhaul - EOM del Motor, para la Unidad de
Gestión de Tecnologías ESPE**

Barba Barba, Anthony Alexander

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología en Mecánica Aeronáutica

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

Motores

Ing. Muñoz Grandes, Milton Stalin

2020



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía, “**Inspección del rodamiento de la primera etapa del compresor centrífugo del motor Rolls Royce Dart 534-2 mediante el Manual de Overhaul - EOM del Motor, para la Unidad de Gestión de Tecnologías ESPE**” fue realizado por el señor **Barba Barba, Anthony Alexander** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 29 de Agosto del 2020

Firma:

Ing. Muñoz Grandes, Milton Stalin

C. C.: 0502445547



Document Information

Analyzed document Proyecto Técnico - Barba Anthony.docx (D78254586)
Submitted 8/28/2020 12:43:00 AM
Submitted by
Submitter email aabarba@espe.edu.ec
Similarity 0%
Analysis address msmunoz.espe@analysis.urkund.com

Sources included in the report

- SA** **Monografia Pablo David Benavides Marin.pdf**  1
Document Monografia Pablo David Benavides Marin.pdf (D63480088)
- SA** **TRUJILLO MALES CESAR (1).pdf**  1
Document TRUJILLO MALES CESAR (1).pdf (D62904067)


Ing. Stalin Muñoz G
Tutor


Ing. Rodrigo Bautista Z.
Director de la Carrera de Tecnología
en Mecánica Aeronáutica



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, Barba Barba, Anthony Alexander, con cédula de ciudadanía n° 1726667973, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **Inspección del rodamiento de la primera etapa del compresor centrífugo del motor Rolls Royce Dart 534-2 mediante el Manual de Overhaul - EOM del Motor, para la Unidad de Gestión de Tecnologías ESPE** 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, 29 de Agosto del 2020

Firma

Barba Barba, Anthony Alexander

C.C.: 1726667973



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, Barba Barba, Anthony Alexander, con cédula de ciudadanía n° 1726667973, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **Inspección del rodamiento de la primera etapa del compresor centrífugo del motor Rolls Royce Dart 534-2 mediante el Manual de Overhaul - EOM del Motor, para la Unidad de Gestión de Tecnologías ESPE** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 29 de Agosto del 2020

Firma

.....

Barba Barba, Anthony Alexander

C.C.: 1726667973

DEDICATORIA

Este trabajo se los dedico a mis padres Lolita y Pedro que con su esfuerzo y dedicación me han apoyado durante mi etapa universitaria durante mis estudios superiores del mismo modo a mis hermanos Javier, Cristian y Carolina que siempre han sido mi ejemplo de trabajo y esfuerzo para conseguir mis objetivos.

Dedico este trabajo a mi hijo Abdiel que con su ternura ha sido mi motivación para crecer como persona y me ha dado la fortaleza para salir adelante con mis estudios. A Erika por siempre apoyándome en cada momento, por estar acompañándome durante mis estudios.

A mis abuelitos con su sabiduría han inculcado en mí los valores, que se debe tener tanto dentro del hogar como en el trabajo.

A mi familia que siempre ha estado pendiente de mí y me han sabido apoyarme en cada instancia de mi vida.

Anthony Alexander Barba

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por darme la salud y la vida, por guiarme en el transcurso de mi etapa Universitaria. A mis padres por todo el esfuerzo y haber confiado en mí para culminar con éxitos mis estudios, a mi hermano Javier por estar siempre apoyándome en cualquier circunstancia de mi vida y en el desarrollo del proyecto, a mi hermano Cristian gracias a sus consejos para guiarme en el transcurso del proyecto y a mi hermana Carolina por estar al pendiente de mí. A Erika que siempre me ha apoyado cuando he necesitado ayuda.

Agradezco al ingeniero Stalin Muñoz que gracias a su tiempo me supo guiar para realizar correctamente mi proyecto de titulación.

Mis agradecimientos a los docentes de la carrera de Mecánica Aeronáutica que durante en el transcurso de mi formación académica han puesto su conocimiento y experiencia a mi disposición para fortalecer las enseñanzas que un técnico de mantenimiento debe poseer. A mis amigos Steve, Oscar, Marcelo, Melanny, Erik y Kelly que siempre he contado con ellos en cualquier momento.

A mis compañeros Pablo y Angelo que mediante el trabajo en equipo se ha logrado realizar la parte práctica de este proyecto.

Anthony Alexander Barba

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	1
CERTIFICADO.....	2
REPORTE DE VERIFICACIÓN.....	3
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE FIGURAS.....	14
RESUMEN	19
ABSTRACT.....	20
 CAPÍTULO I	
1. TEMA	
1.1. Tema	21
1.2. Antecedentes	21
1.3. Planteamiento del Problema.....	22
1.4. Justificación.....	23
1.5. Objetivos.....	24
1.5.1. Objetivo General	24
1.5.2. Objetivos Específicos	24
1.6. Alcance.....	24

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1.	Historia del Motor Rolls Royce Dart.....	25
2.2.	Aeronaves que Implementaron Motores Rolls Royce Dart.....	26
2.2.1.	Avro 748 y Hawker Siddeley 748	27
2.3.	Ciclo de Brayton.....	29
2.4.	Ciclo de Funcionamiento del Motor	30
2.5.	Datos Técnicos del Motor	32
2.6.	Sección Compresora.....	33
2.6.1.	Compresor Centrífugo	33
2.6.2.	Compresor Axial	35
2.7.	Sección de Combustión	35
2.7.1.	Cámara de Combustión Multi-can.....	36
2.7.2.	Cámara Tipo Anular.....	36
2.7.3.	Cámara Tipo Can-anular	36
2.8.	Sección de Potencia	37
2.9.	Sección Escape.....	37
2.10.	Fuerzas que Soporta el Compresor.....	37
2.11.	Stall del Compresor.....	38
2.12.	Rodamientos	39
2.12.1.	Cargas que Soportan los Rodamientos	40
2.12.2.	Clasificación de los Rodamientos.....	40
2.13.	Fallas que Pueden Presentarse en los Rodamientos	43
2.13.1.	Corrosión.....	44
2.13.2.	Astillamiento.....	44

2.13.3. Desgaste	45
2.14. Herramientas para la Extracción del Rodamiento	45
2.15. Lubricación de los Rodamientos.....	46
2.16. Accesos Para la Lubricación.....	46
2.17. Tipo de Lubricante	48
2.18. Principios de Inspección	49
2.19. Materiales de Limpieza	49
2.20. Ensayos no Destructivos.....	49
2.20.1. Inspección Visual	50
2.20.2. Tintas Penetrantes.....	56
2.20.3. Inspección de Eddy Current.	56
2.20.4. Inspección por Partículas Magnéticas.....	57
2.20.5. Inspección por Rayos X.....	57

CAPITULO III

3. DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Preliminares	58
3.2. Situación Actual del Motor	58
3.3. Herramientas.....	58
3.4. Equipo de Protección Personal.....	59
3.5. Limpieza del Motor	59
3.6. Desmontaje del Rodamiento de la Primera Etapa del Compresor	59
3.6.1. Desmontaje de la Cubierta de Entrada de Aire.....	60
3.6.2. Desmontaje de la Extensión del Spinner	61
3.6.3. Desmontaje de la Caja de Reducción Frontal.....	62
3.6.4. Desmontaje de los Layshaft y Piñon de Alta Velocidad	64
3.6.5. Desmontaje del Panel Trasero de la Caja de Reducción	66

3.6.6.	Desmontaje del Rodamiento de la Primera Etapa del Compresor	68
3.7.	Limpieza del Rodamiento de la Primera Etapa	71
3.8.	Inspección Visual del Rodamiento de la Primera Etapa	75
3.8.1.	Inspección Visual de la Jaula del Rodamiento.....	75
3.8.2.	Inspección Visual de la Pista Exterior del Rodamiento	76
3.8.3.	Inspección Visual de los Elementos Rodantes	77
3.8.4.	Tratamiento del Rodamiento Después de la Inspección.	78
3.9.	Proceso de Seccionamiento del Motor	81
3.9.1.	Desmontaje de las Cámaras de Combustión.....	81
3.9.2.	Desmontaje de los accesorios del motor	83
3.9.3.	Desmontaje de los filtros de aceite.	86
3.9.4.	Desmontaje de la Carcasa del Aire de Entrada.....	89
3.9.5.	Desmontaje de la Carcasa Intermedia del Motor.....	90
3.10.	Desmontaje de los cárteres del compresor	92
3.10.1.	Desmontaje del Cáster de Admisión.....	92
3.10.2.	Desmontaje del Cáster de Salida del Compresor	94
3.10.3.	Desmontaje de los difusores del compresor	96
3.11.	Limpieza de la Sección del Compresor	96
3.12.	Montaje del Rodamiento.....	98
3.13.	Lubricación del Rodamiento	99
3.14.	Comprobación del Funcionamiento del Rodamiento	100

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.	Conclusiones.....	102
4.2.	Recomendaciones	102

4.2.1. Diagrama de Flujo del Análisis del Tema de la Monografía	103
4.3. Presupuesto	104
4.3.1. Análisis de Costos	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
ANEXOS	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones del Avión Hawker Siddeley 748	28
Tabla 2. Límites del Motor Rolls Royce Dart	28
Tabla 3. Pesos Máximos del Avión Hs 748	29
Tabla 4. Datos Técnicos del Motor Rolls Royce Dart	32
Tabla 5. Materiales de los Cárreres del Compresor	34
Tabla 6. Total de Costos Primarios.....	104
Tabla 7. Total de Costos Secundarios.....	105
Tabla 8. Total de Costos	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Pv Del Ciclo De Brayton	30
Figura 2. Constitución del Motor Rolls Royce Dart Rda7	32
Figura 3. Compresor Centrífugo	33
Figura 4. Partes de un Rodamiento.....	39
Figura 5. Fuerzas que Actúan en el Rodamiento.....	40
Figura 6. Rodamiento de Bola de dos Filas	41
Figura 7. Rodamiento de Rodillos	41
Figura 8. Rodamiento de Rodillos Cónicos	42
Figura 9. Rodamiento de Agujas	42
Figura 10. Corrosión en la Superficie del Rodamiento	44
Figura 11. Lubricación del Motor Rolls Royce Dart.....	47
Figura 12. Inspección Visual Directa con Uso de un Espejo	51
Figura 13. Partes del Boroscopio	53
Figura 14. Calibrador Vernier	54
Figura 15. Angulo de Visión.....	55
Figura 16. Componentes de la Caja de Reducción	60
Figura 17. Pasadores Retirados de las Tuercas de la Cubierta	60
Figura 18. Cubierta de la Entrada de Aire Desmontada	61
Figura 19. Desajuste de las Tuercas de la Extensión del Spinner	61
Figura 20. Caja de Reducción del Motor sin la Cubierta del Spinner	62
Figura 21. Tuercas Removidas de la Caja de Reducción.....	62

Figura 22. Remoción de la Caja de Reducción.....	63
Figura 23. Parte Delantera de la Caja de Reducción Removida	63
Figura 24. Layshaft	64
Figura 25. Remoción Del Segundo Layshaft.....	64
Figura 26. Remoción Del Tercer Layshaft.....	65
Figura 27. Remoción Del Piñón De Alta Velocidad.....	65
Figura 28. Panel Trasero de la Caja de Reducción	66
Figura 29. Desajuste de las Tuercas que Sujetan al Panel	66
Figura 30. Remoción de los Pivotes del Panel.....	67
Figura 31. Desmontaje del Panel Trasero de la Caja de Reducción.....	67
Figura 32. Conjunto del Panel Trasero de la Caja de Reducción Desmontado	68
Figura 33. Desajuste de los Seguros de las Tuercas	68
Figura 34. Desajuste de las Tuercas.....	69
Figura 35. Remoción del Pivote.....	69
Figura 36. Desmontaje Del Rodamiento De La Primera Etapa Del Compresor	70
Figura 37. Rodamiento Envuelto en Papel Anti Grasa	70
Figura 38. Colocación de Aceite en el Recipiente	71
Figura 39. Calentamiento del Aceite A 75°C.....	71
Figura 40. Rodamiento Sumergido en el Tanque de Lavado Inicial.....	72
Figura 41. Limpieza del Rodamiento.....	72
Figura 42. Rodamiento Colocado en el Segundo Tanque de Lavado.....	73

Figura 43. Remoción del Rodamiento del Tanque de Limpieza.....	73
Figura 44. Rodamiento en el Tanque Inhibidor	74
Figura 45. Remoción del Rodamiento del Tanque Inhibidor.....	74
Figura 46. Partes del Rodamiento Desmontadas	75
Figura 47. Inspección de la Jaula del Rodamiento	75
Figura 48. Registro de los Resultados Observados.....	76
Figura 49. Inspección de la Pista Exterior del Rodamiento.	76
Figura 50. Elemento Rodante en Buen Estado.....	77
Figura 51. Hendidura En El Rodillo	77
Figura 52. Registro de los Resultados Obtenidos.....	78
Figura 53. Montaje de las Partes del Rodamiento	79
Figura 54. Limpieza del Rodamiento.....	79
Figura 55. Colocación del Rodamiento en el Tanque Inhibidor	80
Figura 56. Rodamiento Removido del Tanque Inhibidor	80
Figura 57. Remoción de la Tuerca, el Pasador y el Perno de Enlace.....	81
Figura 58. Remoción del Anillo de Sellado	82
Figura 59. Sección Intermedia sin las Cámaras de Combustión 1,7 Y 6	82
Figura 60. Cámaras de Combustión del Motor Rolls Royce Dart 534-2 Desmontadas.	83
Figura 61. Enfriador de Aceite Desmontado	83
Figura 62. Alambre de Traba que Sujeta el Perno de Fijación.....	84
Figura 63. Desajuste de las Tuercas de la Bomba de Combustible.....	84

Figura 64. Bomba de Combustible Desmontado	85
Figura 65. Fuel Control Unit.....	85
Figura 66. FCU Removida del Motor.....	86
Figura 67. Drenaje de Aceite del Filtro de Presión de Aceite	87
Figura 68. Desmontaje del Filtro de Presión de Aceite.....	87
Figura 69. Desajuste de la Tuerca que Sostiene el Filtro	88
Figura 70. Desmontaje del Filtro de Recuperación.....	88
Figura 71. Tuercas que Sostienen la Carcasa de Aire de Entrada	89
Figura 72. Separación de la Carcasa de Aire del Cáster de Admisión del Compresor ..	89
Figura 73. Cáster de Admisión e Impulsor del Compresor.....	90
Figura 74. Desajuste de las Tuercas que Sujetan la Carcasa Intermedia	90
Figura 75. Carcasa Intermedia del Motor.....	91
Figura 76. Cáster de Salida del Compresor.....	91
Figura 77. Tuercas que Sujetan el Cáster de Admisión del Compresor	92
Figura 78. Desajuste de los Pernos Sujetadores.....	92
Figura 79. Línea de Referencia	93
Figura 80. Cáster de Admisión Desmontado.....	93
Figura 81. Cáster de Salida del Compresor.....	94
Figura 82. Remoción de los Pernos Sujetadores.....	94
Figura 83. Difusor de la Segunda Etapa del Compresor	95
Figura 84. Cáster Intermedio y Difusor de la Segunda Etapa del Compresor	95

Figura 85. Difusor de la Primera Etapa	96
Figura 86. Impulsor de la Primera Etapa con Impurezas.....	96
Figura 87. Limpieza del Impulsor de la Segunda Etapa del Compresor	97
Figura 88. Sección compresora en el soporte.....	97
Figura 89. Rodamiento Retirado de la Caja	98
Figura 90. Montaje del Rodamiento	98
Figura 91. Lubricación del Rodamiento.....	99
Figura 92. Giro del Impulsor del Compresor	99
Figura 93. Comprobación del Montaje del Rodamiento.....	100

RESUMEN

El presente trabajo de titulación hace referencia al proceso de inspección del rodamiento de rodillos delantero de la primera etapa del compresor (eje impulsor) perteneciente al motor Rolls Royce Dart para evaluar el estado del componente y determinar su condición. En el desarrollo del proyecto es necesario conocer los diferentes aspectos que se deben considerar al momento de realizar una inspección visual, investigando sobre los instrumentos a utilizar, la iluminación que se requiere y el ángulo de visión adecuado. Además de los conceptos de las posibles fallas que pueden presentarse en la superficie del rodamiento, para determinar con mayor precisión el estado del componente. Con el uso de documentación técnica se recopila la información del Manual de Overhaul del Motor sobre el correcto desmontaje, el proceso de limpieza y protección del rodamiento durante la inspección. Se realiza una lista de verificación de los criterios a evaluar en cada una de las partes a inspeccionar en los rodamientos del motor, con referencia a la información del manual. Efectuando una inspección visual directa a partir de la técnica de observación, se verifica el estado mediante el uso de instrumentos ópticos que ayudan a interpretar de mejor manera la superficie, comprobando los criterios de la lista de verificación en las partes del rodamiento.

Palabras Claves:

- **RODAMIENTO DE RODILLOS DELANTERO**
- **INSPECCIÓN VISUAL**
- **ILUMINACIÓN**
- **DISCONTINUIDADES**

ABSTRACT

The present research refers to the inspection process of the front roller bearing of the first stage of the compressor (drive shaft) belonging to the Rolls Royce Dart engine to evaluate the condition of the component and determine its condition. In the development of the project, it is necessary to know the different aspects that must be considered when carrying out a visual inspection, investigating the instruments to be used, the illumination required and the appropriate viewing angle. In addition to the concepts of possible failures that may occur on the surface of the bearing, to determine more precisely the condition of the component. With the use of technical documentation, information is collected from the Engine Overhaul Manual on the correct disassembly, cleaning process and protection of the bearing during inspection. A checklist of the criteria to be evaluated in each of the parts to be inspected is made in the engine bearings, with reference to the information in the manual. Performing a direct visual inspection from the observation technique, the condition is verified by using optical instruments that help to better interpret the surface, checking the criteria of the checklist in the parts of the bearing.

Key words:

- **FRONT ROLLER BEARING**
- **VISUAL INSPECTION**
- **LIGHTING**
- **DISCONTINUITIES**

CAPÍTULO I

TEMA

1.1. Tema

“Inspección del rodamiento de la primera etapa del compresor centrífugo del motor Rolls Royce Dart 534-2 mediante el Manual de Overhaul - EOM del Motor, para la Unidad de Gestión de Tecnologías ESPE”

1.2. Antecedentes

El compresor en un motor a reacción es un componente que cumple la finalidad de comprimir e incrementar la presión del aire que ingresa al motor antes de llegar a las cámaras de combustión para combinarse con el combustible, existen dos tipos de compresores; centrífugos y axiales.

El compresor centrífugo según Aranguren, Bejarano, y Rodriguez, 2005, es denominado así porque: “el aire es centrifugado en el interior de la máquina. La dirección principal que sigue el aire en su movimiento, durante el proceso de compresión, es en dirección radial, esto es, desde el eje de la máquina hacia el exterior” (2005, p. 50). Al tener una dirección radial las cargas que soporta el compresor van a ser en esa dirección.

El motor Rolls Royce Dart, es un motor turbohélice que posee dos etapas de compresores centrífugos que unido al eje de la turbina permite girar el compresor, cada etapa se compone de un rotor, difusor y colector. Los rodamientos se distribuyen en la sección compresora de la siguiente manera; un rodamiento de rodillo delantero ubicado en la primera etapa del compresor, seguido de un rodamiento de bola que se encuentra

entre la primera y segunda etapa compresora, por último un rodamiento de bola que se localiza en la parte posterior de la segunda etapa del compresor.

Los rodamientos son parte del conjunto rotativo del motor que tienen como finalidad permitir el giro sin ninguna obstrucción y es donde el eje del compresor se apoya, lo que provoca que las cargas a las cuales el compresor está expuesto de alguna manera se transfieran al rodamiento debido a esto puede llegar a desgastarse, al momento de inspeccionar el motor en su parte interna se debe verificar el estado de los rodamientos para determinar; si puede seguir en funcionamiento o se debe cambiar por uno nuevo.

1.3. Planteamiento del Problema

La Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE ubicada en el campus Guillermo Rodríguez Lara en la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga, dispone con dos aviones escuela, equipado con motores turborreactor y turbohélice, un avión escuela tipo Cessna 150M con motor alternativo, además cuenta con varios motores como Lycoming, Rolls Royce para la instrucción por parte de los docentes hacia los estudiantes de la carrera de mecánica aeronáutica.

Debido al traslado de la carrera de mecánica aeronáutica al campus Guillermo Rodríguez Lara, La Unidad de Gestión de Tecnologías para cumplir la misión de brindar a los estudiantes una enseñanza de calidad y formar a los profesionales con las competencias que el ámbito aeronáutico del país lo requiere permitiendo avanzar con tecnología de la industria aeronáutica del país, está constantemente en busca de material práctico para instrucción de los estudiantes.

La Unidad de Gestión de Tecnologías no dispone en su taller de motores de un motor turbohélice seccionado para instrucción de los diferentes componentes y sistemas donde se pueda visualizar su construcción además de su distribución en su parte interna, debido a la escasez de este tipo de implementos prácticos necesarios para los estudiantes no se logra mejorar la forma de enseñanza en la forma teórica - práctica.

1.4. Justificación

Brindar una guía práctica para los docentes y estudiantes de la Unidad de Gestión de Tecnologías por medio de la sección compresora de un motor turbohélice, donde se pueda visualizar los componentes en su parte interior de una manera más detallada; para observar las partes que componen al compresor y los diferentes accesorios que posee, con la instrucción teórica se logra tener un mejor aprendizaje para comprender el funcionamiento lo que permite a los estudiantes familiarizarse con este tipo de motores.

Gracias a esto se logra diferenciar los componentes principales de un motor a reacción como son los compresores centrífugos de los axiales en su construcción, forma, y distribución en el motor, así como las diferentes cámaras de combustión tipo tubular, anular y canular, del mismo modo se logra observar la turbina más detalladamente como son la forma de sus álabes. También se podrá visualizar los componentes internos más detalladamente como son el rotor del compresor y su rodamiento delantero.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Inspeccionar el rodamiento de la primera etapa del compresor centrífugo del motor Rolls Royce Dart 534-2 mediante el manual de overhaul del motor - EOM para la Unidad de Gestión de Tecnologías – ESPE.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Recopilar la información necesaria acerca del procedimiento de inspección del rodamiento de la primera etapa del compresor.
- Establecer el equipo adecuado y herramientas necesarias para la extracción del rodamiento con los parámetros necesarios de la tarea correspondiente.
- Ejecutar la tarea de inspección del rodamiento siguiendo con los pasos requeridos para verificación del estado del componente y ejecución de la acción correctiva.

1.6. Alcance

El proyecto permite llegar a mejorar el equipo en el taller de motores a reacción de la Unidad de Gestión de Tecnologías lo que le dará un mejor realce a la carrera de mecánica aeronáutica al contar con material para instrucción técnica como la sección compresora de un motor turbohélice, lo que permitirá a los estudiantes poder entender de mejor manera los componentes principales y auxiliares del motor.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Historia del Motor Rolls Royce Dart

El motor Rolls Royce Dart en sus inicios revolucionó la industria aeronáutica gracias a un diseño simple y confiable que constaba con dos etapas de compresor centrífugo unida por un eje a las dos etapas de turbina, con lo que se convirtió en el primer motor turbohélice que se implementó en la aviación civil, como consecuencia de su eficiencia se desarrollaron más modelos, donde se fueron mejorando diferentes parámetros como la relación de peso – potencia, logrando conseguir un empuje mayor para impulsar aviones más grandes para ello fue necesario rediseñar tanto su sección compresora y turbina donde en lugar de dos etapas se aumentó una etapas más a la sección de turbina que permitió conseguir un mayor empuje que los modelos anteriores.

El ciclo de funcionamiento del motor Rolls Royce al ser un motor turbohélice se basa en el conocido ciclo de Brayton¹. Se capta una masa de aire para ser comprimida al pasar por el compresor, donde al llegar a la cámara de combustión el combustible se mezcla con el aire y se quema constantemente, los gases quemados generan una liberación de energía que es absorbida por la turbina para mover el eje del compresor, y los gases siguen su trayectoria para ser expulsados por la tobera de escape.

A inicios del siglo XXI se vendieron algunos motores de la Serie Dart² pero el desarrollo del motor quedo obsoleto, debido a su elevado costo de funcionamiento

¹ **Ciclo de Brayton:** Durante el proceso de combustión la presión se mantiene constante.

² **Serie Dart:** Es la variedad de modelos de motores turbohélices Rolls Royce Dart, que se han construido a lo largo de la historia en base al primer motor Rda1 en el año de 1947 hasta el último modelo de la serie Dart Rda12 fabricado en 1986.

porque consumía demasiado combustible a comparación de los motores actuales, por lo que Rolls Royce dejó de fabricarlos (Burrage y Blampied, 2005).

2.2. Aeronaves que Implementaron Motores Rolls Royce Dart

El éxito de este motor fue debido a la exigencia por parte del avión Vickers – Armstrongs VC2 Vizconde que tuvo su origen durante la Segunda Guerra Mundial en el Reino Unido con el propósito de implementar aviones comerciales de medio alcance. El avión fue desarrollado en el período de post-guerra junto a otros modelos de aeronaves que no tuvieron éxito debido a las exigencias de la industria, pero no fue el caso del Vizconde que a lo largo de los años fue ganando acogida en el mercado de aviones comerciales, gracias a su eficiencia y confiabilidad por parte de los dos motores tipo Rolls Royce Dart que utilizaba.

Con el paso de los años el Vizconde fue mejorando, especialmente en los diseños del avión como; un fuselaje mucho más largo para una mayor capacidad de pasajeros, donde aparecieron los Modelos Vizconde V.700 y V800, que incorporaban motores Rolls Royce Dart que brindaban más potencia gracias a mejoras en la sección de la turbina. Este tipo de aeronaves llegaron a muchos países de Europa y América del Norte donde la mayoría de los aviones comerciales eran producidos en los Estados Unidos, pero el Vizconde fue ganando la confianza de aerolíneas Estadounidenses que optaron por tenerlas en su flota. A inicios de 1990 ya eran pocos Vizconde que seguían en operación.

El Motor Rolls Royce Dart también fue empleado para uso en aviones militares como: Armstrong Whitworth Argosy, Breguet Alize, Avro 748 pero también en aeronaves

comerciales como son: Fairchild Hiller 227, Grumman Gulfstream, Fokker F.27 y Hawker Siddeley 748. (Smithsonian National Air and Space Museum, s.f.)

2.2.1. Avro 748 y Hawker Siddeley 748

Este avión inicialmente fue diseñado por la compañía Británica Avro alrededor del año 1958, pero debido a la fusión de empresas con la intención de ingresar a la aviación comercial por parte del Reino Unido, el proyecto quedo a cargo de la compañía Hawker Siddeley. Este avión planeo ser el reemplazo de los aviones DC-3 que estaban por culminar sus operaciones al terminar su vida útil. Durante su producción se fabricó 4 series de aviones (Series; 1, 2, 2A y 2 B) que fueron propulsados por motores Rolls Royce Dart (airplanes.com, s.f.).

El avión Hawker Siddeley 748 conocido como HS 748 voló por primera vez en el año de 1961. El uso de este también abarco la aviación militar donde era más conocido como el Avro 748, que fue utilizado para el trasporte de carga y tropas del ejército. Fue adquirido en varios países como parte del trasporte gubernamental tales como: Brasil, Chile y Ecuador que también formaban parte de sus operaciones militares en la década de 1980 (BAE SYSTEMS, s.f.). El último de los aviones construidos de la serie Avro 748 británico tuvo su primer vuelo en 1988, hoy en día se conservan en diferentes museos y pocos son los que todavía están en operaciones principalmente en la India.

Especificaciones del Avión Hawker Siddeley 748. A continuación se detalla las especificaciones de la Serie 2A del avión HS 748.

Dimensiones.**Tabla 1***Dimensiones del Avión Hawker Siddeley 748*

Longitud	Envergadura	Altura	Área
20,42 m	30,02 m	7,57 m	75,35 m ²
67 ft. 0 in	98 ft. 6 in	24 ft. 10 in	810 ft ²

Nota: En la tabla se muestra los valores de las diferentes dimensiones del avión Hawker Siddeley. Tomado de *TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET HS 748 (p. 13)*, por EASA.

Altitud máxima de operación. 7620 m, 25.000 ft

Velocidad. 452 Km/h, 280.86 mi/h

Tripulación mínima de Vuelo. 2 (piloto y copiloto)

Capacidad (Incluida la tripulación). 57

Hélice. Dowty Rotol (Tipo CR. 201/4-30-4/20 de 4 palas, Hélices de velocidad constante.

Motores. Dos motores Rolls Royce Dart 7 Mk (534-2 o 532-2L)

Tabla 2*Límites del Motor Rolls Royce Dart*

Motor	Dart 7 Mk (534-2)	Dart 7 Mk (532-2L)
Potencia equivalente del eje (ESHP)	2,280	2,280
Velocidad del eje de la hélice (RPM)	15,000	15,000
Engranaje de Reducción	0.093:1	0.093:1

Nota: El motor Rolls Royce Dart Mk (534-2) anteriormente se conocía como Dart Mk (532-2L) Tomado de *TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET HS 748 (p. 13)*, por EASA.

Peso Máximo.

Tabla 3

Pesos Máximos del Avión Hs 748

	Despegue	Peso Máximo de Aterrizaje	Peso Máximo sin Combustible
Peso Básico Máximo (Kg)	21.092	19.504	17.463
Peso Básico Máximo (Lbs)	46.500	43.000	38.500

Nota: En la siguiente tabla se muestra los valores del peso del avión HS 748 en Kg y Lbs. Tomado de *TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET HS 748 (p. 14)*, por EASA.

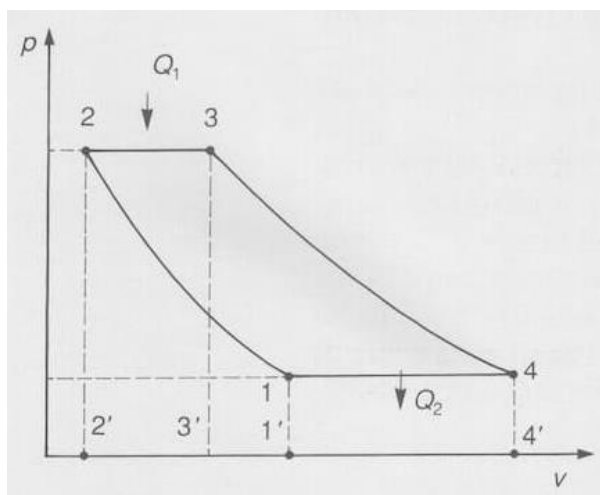
2.3. Ciclo de Brayton

El ciclo Brayton es el ciclo ideal para motores de turbina de gas en los que el flujo de aire se somete a un ciclo cerrado tomando en cuenta que los gases de escape son reutilizados. El aire ingresa al compresor a temperatura ambiente, donde la presión y temperatura aumenta, llega a la cámara de combustión donde el combustible se quema a presión constante. De ahí se obtiene gases combustionados con alta temperatura y presión, ingresa a la turbina donde se expande con la presión atmosférica y produce trabajo que es aprovechado para mover el compresor.

El ciclo de Brayton se destaca porque en el proceso de combustión se agrega calor mientras que en el proceso de escape se desprende calor, ambos procesos con una presión constante.

Figura 1

Diagrama Pv Del Ciclo De Brayton



Nota: La figura representa el diagrama Pv del ciclo de Brayton en las diferentes etapas. Tomado de https://www.chimica-online.it/download/immagini_download/ciclo-brayton.jpg

En la figura 1 se puede apreciar el diagrama pv (Presión y Volumen) que muestra lo que ocurre durante el ciclo de Brayton en las diferentes etapas con la Presión y el Volumen, en donde para la etapa de compresión 1-2 el volumen del flujo de aire se reduce y se eleva la presión, durante la etapa de combustión 2-3 se agrega calor, y mientras el volumen aumenta la presión se mantiene constante, en la siguiente etapa de potencia 3-4 en la expansión del gas, el volumen aumenta pero su presión disminuye y finalmente en el escape 4-1 el volumen se reduce a su estado inicial con una presión constante, en este proceso se desprende el calor hacia la atmósfera.

2.4. Ciclo de Funcionamiento del Motor

El funcionamiento del turbohélice se divide en diferentes etapas (admisión, compresión, combustión, potencia y escape) donde se tiene diferentes componentes en cada una de ellas; una etapa de admisión compuesta por la cubierta, soportada por la

carcasa de aire de entrada y por la caja de reducción donde se conecta la hélice. Mediante una entrada anular entre la carcasa de la entrada de aire y la caja de reducción, el flujo de aire llega hacia la parte central del compresor donde se dirige hacia la periferia gracias a las paletas guía al difusor, donde mediante pasajes curvos se dirigen hacia el centro de la siguiente etapa compresora donde el aire ya comprimido se comprime nuevamente de la misma forma, el flujo de aire se direcciona hacia las boquillas de la cámara de combustión. Por medio de los inyectores se pulveriza el combustible y que al combinarse con el oxígeno se quema constantemente. La etapa intermedia es donde se aloja el soporte de las 7 cámaras de combustión tipo anulares y el eje de la turbina, la cámara de combustión tiene una carcasa de aire y un tubo de llama, posee dos antorchas para el encendido de la chispa en la cámara número 3 y 7.

La siguiente etapa corresponde a la de potencia que produce 1521 KW, es decir la sección de la turbina donde los gases quemados provenientes de la cámara de combustión son descargados mediante una caja de boquillas en los álabes estatores de la turbina para dirigirse a la turbina de alta presión, nuevamente los gases se direccionan hacia un segundo disco de álabes estatores que llegan a la turbina de presión intermedia, por último pasa por un tercer disco de álabes estatores hasta llegar a la rueda de turbina de baja presión.

La última etapa corresponde a la sección de escape donde los gases provenientes de la turbina son redirigidos mediante paletas, que se encuentran en el interior de la tobera de escape donde los gases combustionados son expulsados hacia la atmósfera.

2.5. Datos Técnicos del Motor

Tabla 4

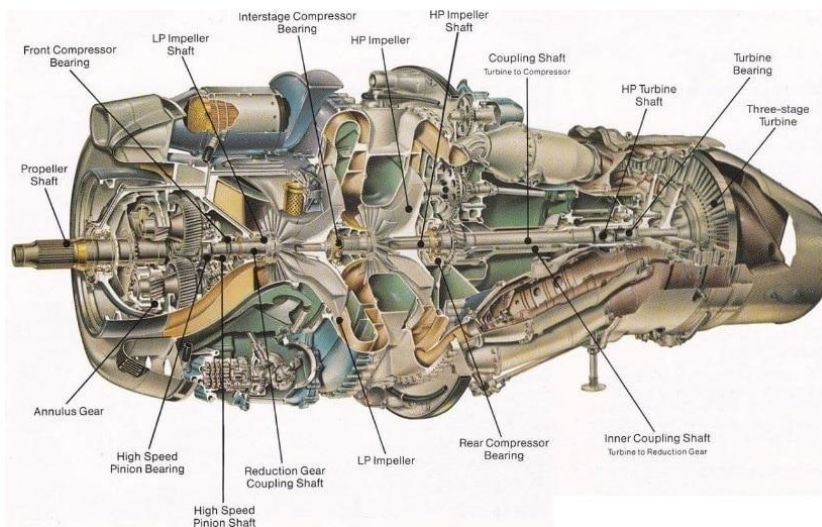
Datos Técnicos del Motor Rolls Royce Dart

Datos Técnicos del Motor Rolls Royce Dart	
Compresor	Dos etapas de compresor centrífugo (Relación de compresión de 5,62: 1)
Turbina	Tres etapas de turbina de flujo axial
Cámara de combustión	7 cámaras de combustión tipo anular
Peso del motor en seco	561.1 Kg
Potencia del motor	1521 KW; 2039,70 HP
Series	7100 motores producidos en total hasta 1987 (Rda1, Rda3, Rda6, Rda7, Rda8, Rda10, Rda12)

Nota: Esta tabla muestra los datos técnicos establecidos por el fabricante para el motor Rolls Royce Dart 534-2. Tomado de *TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET* (p. 7, 8), por EASA.

Figura 2

Constitución del Motor Rolls Royce Dart Rda7



Nota: En el grafico se puede apreciar las partes del motor y su distribución internamente. Tomado de (https://fieldsairmotive.weebly.com/uploads/9/2/2/5/92254762/darths_orig.jpg).

2.6. Sección Compresora

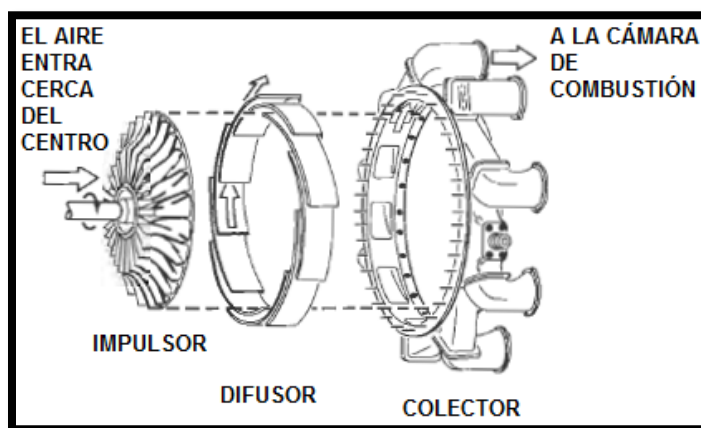
La sección compresora se encarga de absorber el aire ambiente y entregar el aire a alta presión y baja velocidad a la cámara de combustión. El compresor está impulsado por el eje de la turbina, y mientras más aire absorbe mayor potencia se puede generar en el motor. Existen dos tipos de compresores en un motor a reacción: axiales y centrífugos este último es el tipo de compresor que utiliza el motor Rolls Royce Dart.

2.6.1. Compresor Centrífugo

Este tipo de compresor recibe el aire de manera axial y mediante las paletas giratorias del compresor eleva la presión del aire en una forma radial para así ser renviado hacia las cámaras de combustión donde el aire es distribuido mediante las boquillas de salida o también conocido como codo de entrada a las cámaras de combustión. El compresor centrífugo se compone de un impulsor, difusor y colector (Tolmo, 2013, p. 21).

Figura 3

Compresor Centrífugo



Nota: En la figura se aprecia las tres principales partes de un compresor centrífugo.

El impulsor es la parte central del compresor donde se encuentran las aletas giratorias que absorben el aire y lo aceleran hacia la parte externa del compresor. Pueden existir hasta dos etapas de compresor es decir dos impulsores, además se puede disponer un impulsor atrás de otro, esto se lo conoce como compresor de una etapa con doble cara esta forma favorece a reducir el área frontal de los motores y el flujo de la masa de aire es mucho mayor que un compresor con una sola cara.

El difusor se encarga de aumentar la presión del aire que proviene del impulsor y pasa por la periferia, para direccionar el aire, disminuir la velocidad y aumentar la presión. El colector distribuye el aire en cada cámara de combustión mediante las boquillas que se encuentran en la entrada, donde se pueden encontrar álabes en cascada, que permiten dirigir el aire de forma que la presión no disminuya al ingreso de las cámaras para una mejor eficiencia de la combustión.

El compresor tipo centrífugo tienen una constitución robusta por lo que el área frontal es mayor en los motores que lo utilizan y puede conllevar a pérdidas aerodinámicas. A su vez el peso a comparación de un compresor axial es mucho menor. Este tipo de compresor cuenta con tres cárteres donde se encierra el conjunto giratorio del compresor y se establecen de la siguiente manera:

Tabla 5

Materiales de los Cárteres del Compresor

Cárteres	
Cárter de admisión	Aleación de magnesio
Cárter intermedio	Aleación de Aluminio
Cárter de salida	Aleación de Aluminio

2.6.2. Compresor Axial

El compresor axial recibe su nombre por el trayecto que sigue el flujo de aire con referencia al eje del motor, este tipo de compresor está formado por dos partes; el rotor y el estator que a su vez dependiendo de los parámetros requeridos para el funcionamiento del motor se divide por etapas. En cada etapa la velocidad disminuye mientras que su presión aumenta hasta llegar a la cámara de combustión.

Los motores que utilizan este tipo de compresores tiene una longitud mucho mayor debido a las etapas utilizadas para su funcionamiento. El peso de un compresor axial es mucho mayor que un centrífugo y requiere de una gran potencia para su puesta en marcha, en algunos casos los fabricantes de motores han optado por la disposición de dos o hasta tres ejes. Hoy en día son los más utilizados en la fabricación de motores a reacción, gracias a que se obtiene un mayor flujo de masa que mejora el rendimiento de operación y requieren de un área frontal pequeña logrando así evitar pérdidas aerodinámicas por efecto de arrastre en el motor.

2.7. Sección de Combustión

La sección de combustión se encarga de encender la mezcla aire-combustible por medio de la chispa generada por los igniter plug³, donde el combustible atomizado por los inyectores y una parte del aire proveniente del compresor se quema constantemente para que finalmente los gases combustionados a alta presión sean entregados a la sección de la turbina. El resto del aire que proviene del compresor se usa para la estabilidad de la llama, enfriar las paredes de la cámara y refrigerar los

³ **Igniter Plug:** Es un componente en un motor a reacción que enciende la mezcla de combustible y aire cuando el motor arranca.

gases combustionados a una temperatura tolerable antes de ingresar a la turbina.

Existen tres tipos de cámara de combustión: multi-can, anulares, can-anular.

2.7.1. Cámara de Combustión Multi-can

Este tipo consiste en un grupo de cámaras de combustión que se interconectan mediante un tubo de llamas para que la flama se propague en todas y el proceso de combustión se desarrolle en su totalidad, por tal motivo existen dos igniter plug que se ubican en dos cámaras para iniciar la combustión y de ahí expandir a las demás.

2.7.2. Cámara Tipo Anular

Este tipo de cámara se basa en que la combustión se desarrolla en una única unidad en forma de anillo donde se encuentran dos carcassas una externa e interna, donde en la interna pasa el eje de la turbina y en la externa pasa el aire para la combustión y refrigeración. El diseño de una cámara anular mejora la eficiencia de la combustión, sin embargo para el mantenimiento o si se requiere una reparación en este tipo de cámara se tiene que remover todo el conjunto lo que puede llegar a ser un inconveniente a comparación de la cámara tipo multi-can, donde se puede remover las cámaras individualmente para ser inspeccionadas.

2.7.3. Cámara Tipo Can-anular

Básicamente es una combinación de las cámaras tipo multi-can y anular, contiene una carcassa que en su interior posee varias cámaras donde se tiene dos igniter plug para encender la mezcla. En los extremos delanteros de las boquillas existen paletas que permiten mejorar la combustión y evitar pérdidas de potencia. Las cámaras cuentan con perforaciones para la refrigeración, se tiene un área de enfriamiento mayor que mejora la refrigeración de los gases en la entrada de la turbina.

2.8. Sección de Potencia

Los gases provenientes de la cámara de combustión están previamente refrigerados para evitar daños en el disco y álabes de turbina. Esta sección tiene dos etapas una de alta presión y una de baja presión. Los gases se descargan por medio de boquillas hacia las palas del estator a la rueda de turbina de alta presión, siguiendo su trayectoria hasta la rueda de turbina de baja presión para desembocar los gases a la sección de escape. La energía cinética de los gases al pasar por la turbina la transforma en energía mecánica para impulsar el compresor y mover los accesorios del motor.

2.9. Sección Escape

El flujo de gases al pasar por la turbina se dirige hacia la tobera de escape donde son expulsados hacia la atmósfera. La sección de escape consta de conos exterior e interior y que gracias a un paso divergente permite disminuir la presión para mejorar la eficiencia de la turbina, también para evitar pérdidas por fricción se encuentran carenados de soporte en la sección de escape.

2.10. Fuerzas que Soporta el Compresor

El Compresor centrífugo al ser un componente que está en constante movimiento se ve afectado a cargas diferentes, uno de ellos es la fuerza centrífuga que se produce cuando se comprime el aire y al aumentar la velocidad tiende a presentar cargas centrífugas principalmente en las aletas del impulsor, al pasar por el difusor el compresor se encuentra afectado con cargas axiales donde el flujo de aire se cambia de una dirección radial a una axial y por efecto de la fricción del aire al pasar por los conductos puede provocar alguna vibración.

Para evitar cualquier desgaste que puede presentarse por efecto de las cargas en el compresor, que debido a ello puede llegar a afectar al eje del compresor y la turbina o en los peores casos vibración en el motor, para solucionar dichos problemas se utilizan rodamientos a lo largo del motor para que el eje pueda moverse libremente y evitar desgaste por la fricción entre las partes.

2.11. Stall del Compresor

Este fenómeno se puede presentar principalmente en los motores a reacción y es más común en los que utilizan compresores axiales, los álabes pueden llegar a sufrir deformaciones y pérdidas aerodinámicas provocando que la presión disminuya además de ruidos en el compresor. Cuando la aeronave es sometida a condiciones extremas más allá de los límites, el flujo de aire que ingresa al motor no es constante por consiguiente la presión disminuye a valores por debajo de lo normal y los gases combustionados puede ir hacia adelante, lo que puede provocar pérdida de potencia del motor o daños graves que pueden llegar a detener el motor por completo. Existen otros factores que pueden conllevar a un Stall del compresor como son; exceso de combustible en las cámaras de combustión, ingesta de objetos peligrosos FOD (Foreign Object damage) en el motor.

En los compresores centrífugos al ser de una constitución robusta no es tan susceptible a la pérdida del compresor, esto gracias a que las aletas se encuentran en el impulsor es decir forman un componente rígido de una sola pieza. Son más resistentes a cualquier ingesta de objetos peligrosos, pero pueden ser susceptible a la disminución del flujo de aire debido a la fricción, que en algunos casos es provocada cuando el flujo de aire se resiste a seguir con normalidad por el difusor y se convierte en un flujo inverso, provocando que la presión de descarga del compresor se reduzca.

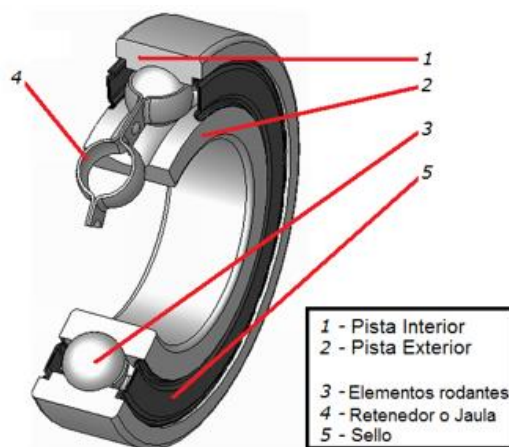
Normalmente la presión debe aumentar para que el flujo de aire se entregue a la siguiente etapa con la presión adecuada.

2.12. Rodamientos

Los rodamientos tienen la función de brindar soporte y sustituir la fricción por el movimiento de rodadura de sus partes móviles. El eje puede deslizarse sin problemas para evitar algún desgaste o daño, esto es gracias a sus tres partes principales: pista interior, pista exterior y los elementos rodantes. Además algunos rodamientos están conformados por un retenedor o jaula, que permite que los elementos rodantes se mantengan en la posición correcta para evitar daños ocasionados por una desalineación y un sello que impide el ingreso de aire, contaminantes y para retener el lubricante para el rodamiento (Galmés, 2018, p. 135).

Figura 4

Partes de un Rodamiento



Nota: En la figura se muestra las partes generales de un rodamiento. Tomado de

https://2.bp.blogspot.com/_qI4omvvWvc/TLjhphzI57I/AAAAAAAAAw/a-

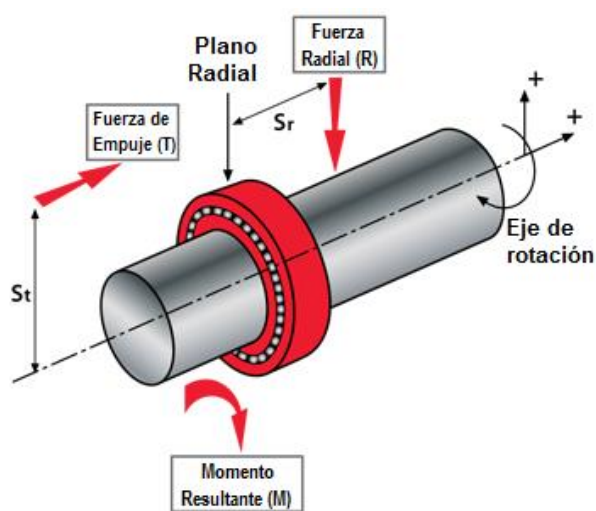
[YGqzBihhA/s1600/bearing+parts.png](https://2.bp.blogspot.com/_qI4omvvWvc/TLjhphzI57I/AAAAAAAAAw/a-YGqzBihhA/s1600/bearing+parts.png)

2.12.1. Cargas que Soportan los Rodamientos

Los rodamientos al ser el soporte para ejes u otros componentes, se transfieren fuerzas radiales y axiales en su superficie. El rodamiento del compresor debe ser capaz de soportar el peso del compresor que sería una carga radial porque se aplica perpendicular al eje de rotación, del mismo modo al girar a una gran velocidad la fuerza centrífuga también genera una carga radial hacia el rodamiento. Como el eje del compresor y la turbina pasa por el rodamiento al girar aparece una fuerza axial que se aplica en la misma dirección del eje de rotación.

Figura 5

Fuerzas que Actúan en el Rodamiento



Nota: En la figura se muestra las fuerza que actúan en un rodamiento cuando se encuentra en funcionamiento. Tomado de <https://www.kaydonbearings.com/images/drawings/ThrustLoads.png>

2.12.2. Clasificación de los Rodamientos

Los rodamientos se pueden clasificar por tres diferentes criterios como son: por el tipo de forma del elemento rodante, por la carga que soporta y por su utilidad.

Por el Tipo de Forma del Elemento Rodante.

Rodamiento de Bolas. Existen diferentes configuraciones donde los elementos rodantes se distribuyen en una y dos filas, dependiendo de su constitución pueden soportar altas velocidades de rotación y fuerzas radiales o axiales.

Figura 6

Rodamiento de Bola de dos Filas

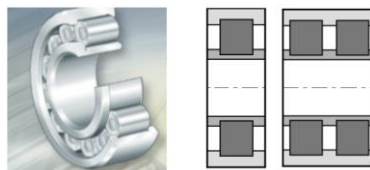


Nota: La figura muestra un rodamiento que se constituye de bolas distribuidas en la jaula. Tomado de https://www.hivimar.com/Images/Industriales/Rodamientos_Rigidos_de_Bolas_de_dos_Hileras/Rodamientos_Rigidos_de_Bolas_de_dos_Hileras.jpg

Rodamiento de Rodillos. Soportan en particular fuerzas radiales, tienen una capacidad de carga axial baja y mayor fricción a comparación con los rodamientos de bolas. Es importante elegir la ubicación adecuada de estos rodamientos por lo que si son expuestos a una gran carga axial puede generar fricción entre el eje y el rodamiento.

Figura 7

Rodamiento de Rodillos

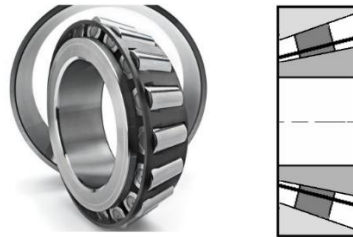


Nota: En la figura se muestra los elementos rodantes en forma de rodillos distribuido en su pista interior y exterior. Tomado de https://elearnstation.com/scenari/BEARINGS/res/image_15.png

Rodamientos de Rodillos Cónicos. Se constituyen por una pista interna en forma de cono. Los rodamientos se distribuyen en la jaula, mientras que la pista externa se encuentra separada de los otros elementos, soportan cargas axiales en una sola dirección. Dependiendo de su constitución pueden soportar altas cargas axiales y radiales.

Figura 8

Rodamiento de Rodillos Cónicos

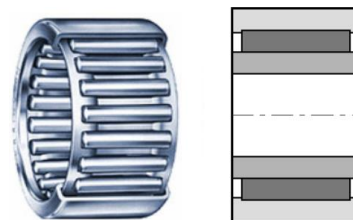


Nota: En la figura se muestra los rodillos distribuidos en la jaula y al fondo la pista exterior. Tomado de https://elearnstation.com/scenari/BEARINGS/res/image_18.png

Rodamiento de Agujas. En su interior contiene rodillos con un diámetro muy pequeño, por lo tanto la dimensión general del rodamiento se reduce, tienen la gran capacidad de soportar únicamente las fuerzas radiales y deben estar alineados para evitar daños en los rodamientos. Son más utilizados en la industria automotriz.

Figura 9

Rodamiento de Agujas



Nota: Tomado de https://elearnstation.com/scenari/BEARINGS/res/image_19.png

Por la carga que soporta el rodamiento.

Rodamiento de Carga Axial. Soportan fuerzas que van en dirección con el eje.

Rodamiento de Carga axial y Radial. Además de soportar fuerzas que van en la dirección del eje también soportan de alguna forma las fuerzas radiales.

Rodamiento de carga radial. Soportan fuerzas que tienen dirección radial.

Rodamiento de carga radial y axial. Soportan especialmente las fuerzas en la dirección radial pero también pueden soportar las fuerzas en dirección con el eje.

Rodamiento de rótula. Soportan fuerzas especialmente en dirección radial, estos rodamientos se pueden mover angularmente por el eje.

Por su utilidad.

Rodamientos principales. Son los que soportan los principales componentes del motor especialmente el eje de la turbina y compresor, además la mayoría de estos rodamientos son sellados para evitar que el flujo de aire se interponga con el aceite que lubrica a los rodamientos (Galmés, 2018, p. 137).

Rodamientos secundarios. Estos no forman parte de los que soportan el eje de la turbina-compresor, así pueden ser los rodamientos que conectan la caja de reducción con el compresor o a su vez con la caja de accesorios.

2.13. Fallas que Pueden Presentarse en los Rodamientos

Debido a su tiempo de funcionamiento y otros factores los rodamientos pueden llegar a presentar problemas, provocando un mal funcionamiento en el motor que muchas veces se ve reflejado en el sistema de lubricación, donde se puede encontrar partículas metálicas en los chips detector, que conlleva a interpretar que puede existir algún desgaste en los rodamientos y también al escuchar ruidos extraños o vibraciones

en el motor. Es requerido realizar una inspección para determinar que puede estar sucediendo en los rodamientos. Las fallas más comunes que pueden presentarse son:

2.13.1. Corrosión

Los factores que influyen en la corrosión del rodamiento, son consecuencia de las condiciones de humedad o porque se utiliza un lubricante incorrecto, que no proteja a las superficies adecuadamente. Al presentarse corrosión se puede notar que el rodamiento no gira libremente, porque puede existir rozamiento por causa de la existencia de corrosión en las pistas o elementos rodantes.

Figura 10

Corrosión en la Superficie del Rodamiento



Nota: En la figura se muestra un rodamiento de rodillos cónico con presencia de corrosión en la pista interna y elementos rodantes.

2.13.2. Astillamiento

Un rodamiento que soporte muchas cargas puede presentar astillamiento, porque el metal que componen los elementos rodantes roza con la pista interior, provocando daños donde los pequeños pedazos de metal destruyen la superficie lisa donde los rodillos o bolas giran.

2.13.3. Desgaste

Los rodamientos no tienden a desgastarse pero la existencia de contaminantes, abrasivos o aditivos que forman parte del lubricante, puede producir una reacción que llega a desgastar el rodamiento. En los elementos rodantes se puede evidenciar una holgura, que provoca que se encuentren flojos en las jaulas del rodamiento. Para comprobar el desgaste son necesarios instrumentos de medición y ver que las dimensiones esté acorde a lo que establece el fabricante. No se debe confundir entre desgaste y astillamiento cuando se realice una inspección.

2.14. Herramientas para la Extracción del Rodamiento

Para evitar dañar la superficie del eje y del rodamiento es necesario la herramienta adecuada que permita en lo posible reducir daños a los componentes del motor que se encuentren cerca por eso al momento de elegir la herramienta adecuada hay que tener en cuenta su dimensión para que la superficie de agarre del rodamiento con la herramienta especial sea la adecuada para poder ejercer la fuerza suficiente para extraer el rodamiento sin forzarlo y no romper la herramienta. Para extraer el rodamiento existen herramientas de tipo mecánica, hidráulica y mediante la inducción de calor en la superficie. Las herramientas mecánicas son extractadores de garras y de cuchillas que con ayuda de llaves se va ajustando para tratar de que el rodamiento se deslice con cuidado por el eje hasta extraerlo de forma segura. Las herramientas hidráulicas son más factibles porque requieren ejercer una fuerza considerable y se tiene más seguridad para extraer el rodamiento la mayoría de estas herramientas utilizan líquido hidráulico para ejercer la presión requerida del mismo modo utilizan garras y cuchillas.

Por último las herramientas para extracción mediante el uso de calor es un poco limitado debido a que el equipo es costoso y son utilizados para los rodamientos de rodillos cilíndricos. Esta herramienta se basa en transmitir calor al rodamiento mediante aros de aluminio de calentamiento y calentadores de inducción ajustable para extraerlo de manera sencilla sin dañar el eje.

2.15. Lubricación de los Rodamientos

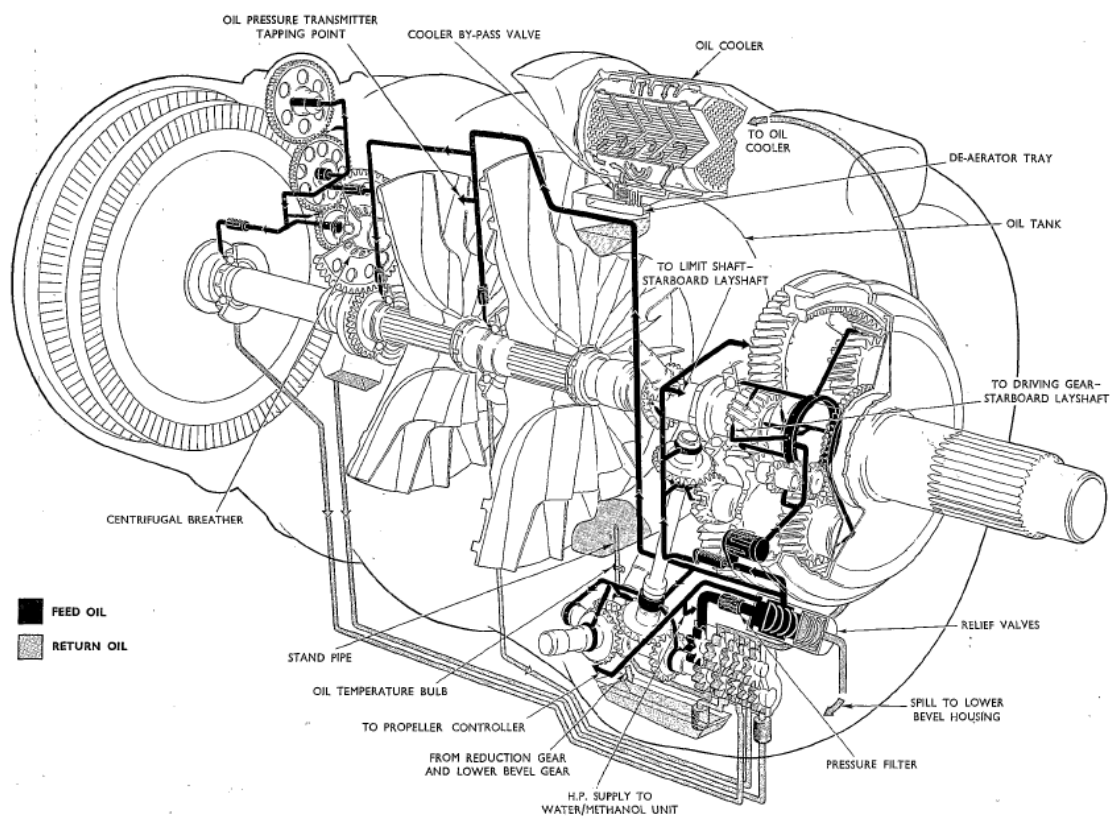
La principal tarea de un lubricante es reducir la fricción entre las partes móviles como los engranajes, cojinetes y rodamientos al transferir el movimiento a una película de aceite donde no se produce el rozamiento entre las partes sólidas. Cuando se reduce la fricción se puede aumentar la eficiencia del motor y evita el desgaste de los componentes. El aceite lubricante se encuentra en los rodamientos de alta velocidad y pueden soportar un cierto grado de alta temperatura, pero también para reducir la vibración y reducir el ruido de manera efectiva. Para la lubricación de los rodamientos del compresor y turbina el aceite se entrega por medio de chorro, previamente filtrado y a la presión adecuada de 35 psi.

2.16. Accesos Para la Lubricación

Para la lubricación de los engranajes, rodamientos y el regulador de presión, el aceite lubricante tiene un recorrido desde el tanque de aceite hacia la bomba de presión, posteriormente pasa por el filtro de alta presión y sigue su recorrido por válvulas reguladoras donde el aceite se dirige por tuberías para lubricar los rodamientos de la primera y segunda etapa del compresor.

Figura 11

Lubricación del Motor Rolls Royce Dart



Nota: Tomado del Mantenimiento Capítulo del Motor Rolls Royce 72.

Posteriormente se entrega al rodamiento de la turbina, los rodamientos se lubrican mediante chorro a continuación el aceite pasa por filtros que tienen como objetivo recoger partículas metálicas o impurezas que pueden existir en el aceite al pasar por los rodamientos lo que permite determinar si existe un desgaste en estas zonas y aplicar una acción correctiva para solucionar el problema. Las bombas de recuperación que se encuentran debajo de los depósitos de recolección, transmiten el aceite hacia el enfriador.

2.17. Tipo de Lubricante

El lubricante se distribuye a lo largo del motor con el propósito de evitar el desgaste excesivo de las partes móviles, los rodamientos son lubricados con el mismo aceite que se utiliza a lo largo del sistema de lubricación. Los requerimientos del aceite lubricante que necesita un motor de turbina de gas son muchos debido a las condiciones severas de trabajo lo que requiere tener una viscosidad que logre tener una buena capacidad de carga para evitar el roce entre las superficies así como una buena fluidez para llegar sin problemas a las partes del motor.

Por lo tanto existen dos especificaciones para motores a reacción los cuales son de tipo I y tipo II, el primero conocido comercialmente como Aeroshell turbine Oil 308 es un aceite sintético aprobado por muchos fabricantes de motores de turbina para su uso debido a que cumplen con los requisitos necesarios, pero no es recomendado para usos en motores que tienen sellos de carbono. Cumple con especificaciones militares aprobadas de rendimiento para productos químicos conocido como MIL-PRF-7808⁴.

El Tipo II comercialmente se conoce como Mobil Jet Oil II, este tipo de lubricante con bases sintéticas y aditivos químicos que ofrece una estabilidad térmica, anticorrosiva y no afecta a los sellos de silicona, cumple con las normas correspondientes a los estándares de rendimientos de acuerdo a las especificaciones militares MIL-PRF-23699 (Pilots HQ, s.f.). Es importante que nunca se debe mezclar los diferentes tipos de lubricantes debido a que pueden llegar a perderse las propiedades de cada lubricante y en su uso sería ineficaz.

⁴ MIL-PRF-7808; es una especificación estándar de defensa de los estados Unidos para la aprobación de lubricantes para motores de aviación.

2.18. Principios de Inspección

Al realizar una inspección se debe tener en cuenta la importancia del componente a ser inspeccionado, los conceptos de los defectos que pueden presentarse en los componentes con la finalidad de ser capaces de establecer el estado del material y las acciones correctivas que sean necesarias. El método más utilizado y que se implementa diariamente en el mantenimiento de las aeronaves es la inspección visual que se basa en evaluar el estado del componente a simple vista, si existe algún defecto el inspector determinara si el componente debe ser reemplazado debido a su condición, de tal manera no es necesario utilizar un método de verificación, pero si se tiene una incertidumbre de que el componente puede presentar fallas estructurales se puede utilizar procedimientos más exhaustivos como son los ensayos no destructivos.

2.19. Materiales de Limpieza

Antes de realizar una inspección es indispensable que la superficie se encuentre completamente limpia para poder realizar una evaluación precisa al componente, en el caso de los rodamientos deben estar protegidos con agentes inhibidores para evitar la corrosión, una vez que se los retire para realizar la inspección se debe utilizar queroseno de aviación y aceite inhibidor para limpiar exhaustivamente los rodamientos y eliminar la suciedad. Es necesario también que el rodamiento luego de realizar la inspección sea sumergido en aceite inhibidor para evitar que se oxide, solo deben utilizarse agentes de limpieza aprobados por el fabricante de lo contrario se puede llegar a oxidar las partes de los rodamientos.

2.20. Ensayos no Destructivos

Son procedimientos de inspección utilizados en componentes críticos en partes específicas como pueden ser el fuselaje y motores. Estas pruebas se destacan por que

no afectan a la integridad del componente y deben ser ejecutadas por personal debidamente calificado para poder evaluar los resultados obtenidos en base a sus limitaciones.

2.20.1. Inspección Visual

Es uno de los ensayos no destructivos más utilizados que consiste en realizar una inspección de algún componente donde implica la observación visual de la superficie para evaluar discontinuidades como pueden ser; presencia de corrosión, desalineación, o algún daño físico en la superficie. Para realizar este tipo de inspección es necesario preparar la superficie es decir debe estar limpia de cualquier suciedad para tener una mejor interpretación de los resultados, la persona que vaya a realizar la inspección debe tener el conocimiento del área donde va examinar además de tener la supervisión de un inspector capacitado y con la experiencia requerida para evaluar los resultados obtenidos por el personal que realizó la inspección.

Tipos de Inspección Visual. Existen dos maneras de realizar una inspección visual; de manera directa y remota.

Inspección visual directa. De forma directa se realiza únicamente haciendo uso de la vista y una iluminación adecuada para encontrar posibles fallas en la superficie mediante la observación se da un criterio de la condición del componente inspeccionado. El inspector se encuentra directamente con la superficie a revisar ya sea que haga uso de instrumentos como espejos o lupas para una mejor visualización, cuando se tiene una doble percepción de la superficie se puede tener una mejor información del estado del componente lo que conlleva a tener una mejor noción de cómo se encuentra la superficie.

Figura 12*Inspección Visual Directa con Uso de un Espejo*

Nota: En la figura se muestra el uso de un espejo para inspeccionar superficies internas de tuberías.

Tomado de <https://www.iimmac.com/wp-content/uploads/2018/05/espejo2.jpg>

Inspección Visual Remota. Se basa en hacer uso de instrumentos ópticos para mejorar las condiciones de inspección en lugares donde no se tiene un acceso por completo como pueden ser el uso de boroscopios, videoscopios y sistemas de visualización asistidos por computadora. La visualización de la superficie es como una proyección donde se muestran mediante pantallas y se puede observar el componente que se está inspeccionando. (ipunto. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. S.L., s.f.)

Instrumentos para realizar una inspección visual. Debido a que en ocasiones es necesario utilizar instrumentos que ayudan a tener un mejor detalle de la superficie ya sea que se realice una inspección directa o remota, el propósito es captar de mejor manera el componente para dar un criterio con mayor certeza del estado en que se encuentra.

Instrumentos ópticos. Forman parte de una inspección visual directa y tiene el propósito de brindar un aumento o ayudar en partes donde la visión del inspector no tiene acceso por completo. Los espejos son instrumentos que se utilizan comúnmente

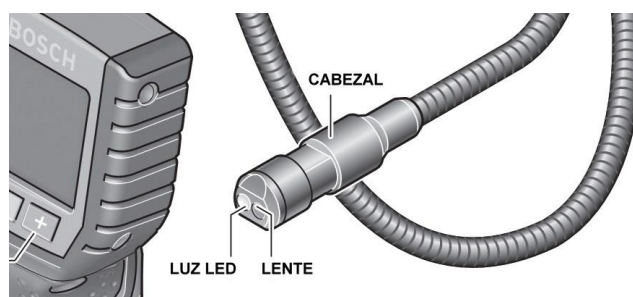
para ver en espacios de difícil acceso como en el interior de tuberías, esquinas y piezas roscadas, dependiendo de su necesidad existen de tres formas; rectos, convexos brindan un campo más amplio para visualizar la superficie y cóncavos se logra que los objetos se vean pequeños o más alejados. Para lograr un aumento se utilizan lentes que por lo general son lupas que permiten ampliar, con la finalidad de ver con más detalle la superficie, el aumento depende de la curvatura del lente y para tener un buen enfoque se acerca o se aleja hasta tener una buena referencia de la imagen.

Iluminación. Para ayudar a detectar discontinuidades en la superficie se requiere una iluminación adecuada para ayudar el rendimiento visual del inspector y su comodidad. Hay que tener en cuenta el tipo de tarea que se vaya a realizar para elegir una iluminación correcta. Si se requiere revisar toda la aeronave, es necesario una iluminación general porque proporciona un área amplia y uniforme. Cuando se vaya a inspeccionar un área específica una iluminación local mediante equipos portátiles o linternas es la más conveniente porque se puede dirigir la luz en superficies sombreadas e interiores y se logra ver directamente al componente.

Boroscopios. Es un instrumento con iluminación incorporada que permite inspeccionar áreas donde por lo general no se tiene un acceso donde el inspector pueda estar directamente con el componente. El uso del boroscopio permite reducir gastos de mantenimiento ya que evita el desmontaje de otros componentes porque puede ingresar en pequeños accesos para llegar hasta áreas internas donde se requiere examinar. Se Puede utilizar el boroscopio para localizar objetos que por descuidos o debido a una mala práctica de mantenimiento fueron introducidos u olvidados en motores o en el interior del fuselaje con el fin de recuperarlos para evitar causar daños en la estructura de dichos componentes.

Figura 13

Partes del Boroscopio



Nota: La figura muestra la configuración de un boroscopio básico, que contiene un cabezal, luz y un lente.

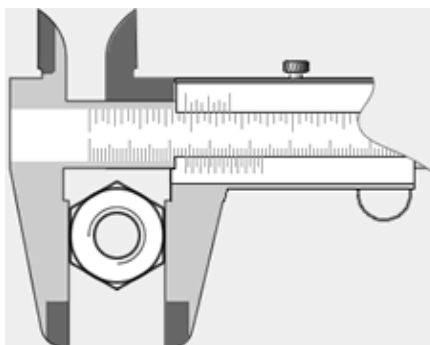
Tomado de <https://www.demaquinasyherramientas.com/wp-content/uploads/2015/01/Boroscopio-Illuminacion-LED-potente.jpg>

Por lo general existen diferentes configuraciones de boroscopios pueden ser rígidos y flexibles, que van desde los más simples con un lente en un extremo donde el inspector puede observar la superficie, con una longitud y diámetro fijo que permite ingresar en áreas estrechas. Los boroscopios más avanzados pueden mostrar la imagen en tiempo real mediante un monitor o computadora para poder dirigirlos hasta el área que se requiere inspeccionar y permiten tener una mejor visibilidad del componente, si se requiere se puede realizar una grabación como respaldo de lo que se encontró en el componente. (Moore, Allgaier, y Cameron, 2010)

Instrumentos de medición. Para poder verificar el estado en que se encuentra el componente es necesario el uso de instrumentos de medición para comprobar si ha existido algún desgaste y si se encuentra en los límites permitidos por el fabricante. Los más utilizados son el micrómetro, Calibrador Vernier, Calibradores de espesores este último para verificar separaciones en las superficies. Estos instrumentos son muy importantes para establecer si pueden seguir en operación o deben ser reemplazados según los límites que se establece en el manual del componente.

Figura 14

Calibrador Vernier

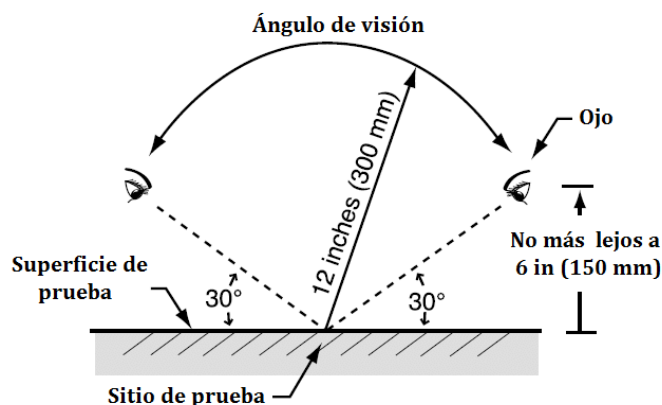


Nota: La figura muestra un calibrador Vernier que es instrumento para medir objetos con mayor precisión.

Tomado de <https://www.stefanelli.eng.br/wp-content/uploads/2016/11/paquimetro-medida-externa.png>

Factores que Intervienen a la Inspección Visual. Para realizar una inspección visual existen diversos factores que pueden obstruir o favorecer una inspección visual. Se debe tener en consideración para una mejor evaluación de las superficies. Al realizar esta inspección existen algunas desventajas debido a que se limita a inspeccionar solamente la superficie y solo se puede observar discontinuidades que sean notables es decir en ocasiones no se puede determinar a profundidad el estado del material y debido a la inexperiencia se puede interpretar resultados erróneos de lo que realmente pudo haber sucedido a la superficie, si existe alguna duda se requerirá realizar una verificación con otro método de pruebas no destructivas.

Ángulo de visión. Una postura adecuada con un ángulo no menor a 30 grados con la superficie evita la fatiga y distracciones (LLOG S.A. de C.V., s.f.). Cuando se tiene un fondo reflectante se requiere que el ángulo de visión no sea más de 45 grados para evitar que la luz que se refleja no vaya directo hacia la vista del observador y proyecte distorsiones en la imagen. Cuando se utiliza dispositivos ópticos como espejos el ángulo es un factor importante para poder fijarlo hacia la superficie.

Figura 15*Angulo de Visión*

Nota: En la figura se muestra los aspectos necesarios para un ángulo de visión adecuado. Tomado de https://www.researchgate.net/profile/Edwin_Rativa/publication/315718437/figure/fig6/AS:478003139485701@1490976237634/Figura-3-6-Minimo-angulo-para-una-inspeccion-visual-20.png

Fatiga. En muchas ocasiones la fatiga es un factor que provoca problemas de interpretación debido a que puede causar malestares en la visión, y las cosas que el inspector observa pueden ser alteradas debido al cansancio físico que pueden ser causados por una enfermedad o exigencias del trabajo. Por consecuencia no se puede concentrar en la superficie y puede provocar errores al determinar la condición en la que se encuentra.

Actitud el observador. Tener un personal que conozca el área donde se va a realizar la inspección es fundamental, debido a su experiencia y al observar la imagen puede dar un criterio más eficaz de lo que puede ocurrir en la superficie. El criterio del observador es fundamental así como observar la superficie a detalle, la experiencia visual del inspector puede determinar la condición real del componente o en pocas ocasiones puede llegar a tener discrepancias por lo que se requiere de una segunda opinión que sería de un supervisor.

Factores ambientales. Las condiciones ambientales influyen en una inspección visual, es mejor realizar cuando el día esta nublado debido a que muchas veces la intensidad de la luz solar es demasiada y se puede tener un reflejo que puede distorsionar la visión del inspector en la superficie y llega afectar a la vista causando manchas oscuras. Las sombras en ocasiones puede llegar afectar a la interpretación de resultados al visualizar el componente debido a que no se tiene una clara visualización.

2.20.2. Tintas Penetrantes.

Es un ensayo que se utiliza comúnmente en cualquier superficie que no presentan porosidad y que se tiene la sospecha que pueden existir discontinuidades en ellas. Este tipo de prueba se las puede realizar en superficies metálicas como: Aluminio, acero inoxidable, titanio, hierro fundido y cobre. Para ello se requiere que la superficie a inspeccionar se encuentre limpia y a continuación se utiliza un líquido penetrante que se adherirse en una abertura, permanece en esta y el inspector con el uso de un revelador determina visualmente los defectos que pueden existir en la superficie. Existen dos tipos de tintas penetrantes de tipo visible y fluorescente, el método descrito anteriormente utiliza el tipo visible mientras que el fluorescente en lugar de usar un líquido revelador se utiliza una fuente de luz ultravioleta (UV) o luz negra (Federal Aviation Administration, 2018, p. 10-19).

2.20.3. Inspección de Eddy Current.

Esta prueba se realiza para inspeccionar de forma superficial como subsuperficial, se utiliza un equipo especial donde se genera un flujo de corriente eléctrica que se compone de electrones libres conocido como corrientes de Foucault por la acción de un campo magnético alterno. Las corrientes de Foucault son circulares y

orientadas perpendicularmente a la dirección del campo magnético aplicado. Este método es utilizado principalmente en los álabes de la turbina y ejes del motor (Federal Aviation Administration, 2018, p. 10-21).

2.20.4. Inspección por Partículas Magnéticas.

Este método es utilizado únicamente en materiales ferromagnéticos, por lo tanto su uso es limitado. Se basa en aplicar un campo magnético en la parte a examinar donde se crea un flujo magnético en la superficie posteriormente se esparce partículas magnéticas que pueden ser en forma líquida y en forma de polvo seco estas forman un patrón en el campo magnético con lo que posterior se muestra en la superficie mostrando las discontinuidades que pueden estar presentes (Federal Aviation Administration, 2018, p. 10-30).

2.20.5. Inspección por Rayos X.

Para el uso de esta prueba es importante utilizar el equipo adecuado así como la protección adecuada, debido al uso de la radiación donde los rayos x pueden penetrar en material con la finalidad de revelar los defectos de componentes ya sea metálicos o no metálicos. La parte a inspeccionar se expone a la radiación luego de esto se proyecta en una imagen donde se muestra de forma oscura las fisuras u otros defectos que se pueden presentar en la superficie de la parte inspeccionada. La Ventaja de utilizar este método es que en muchas ocasiones no se requiere de desmontar los componentes para ser inspeccionados pero requiere de un personal debidamente calificado. (Federal Aviation Administration, 2018, p. 10-35)

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Preliminares

Se identifica la zona donde se va a realizar la inspección (Parte interna de la carcasa de entrada de aire, detrás de la caja de reducción del motor) para poder establecer los materiales, herramientas y los equipos necesarios para desmontar la carcasa y acceder al rodamiento de la primera etapa del compresor.

3.2. Situación Actual del Motor

El motor Rolls Royce Dart 534-2 se encuentra en estado de almacenamiento, tras cumplir su tiempo de vida útil en la aeronave Avro 748. Tras el paso del tiempo su estructura se ha desgastado, con presencia de impurezas, falta de cañerías, cables de conexiones, bujías, repuestos como pernos y tuercas. Para seccionar el compresor se requiere verificar la parte externa e interna para determinar su estado y restablecer su condición para instrucción de los estudiantes.

3.3. Herramientas

- Tecele (capacidad de carga de 4 toneladas)
- Cuerdas
- Juego de llaves de boca y mixtas
- Llave inglesa
- Destornilladores planos
- Copas hexagonales
- Rachas
- Pistola de Lubricación

3.4. Equipo de Protección Personal

El equipo que se debe utilizar para realizar la tarea de inspección es el siguiente:

- Overol de trabajo
- Guantes de goma resistentes a compuestos químicos
- Mascarilla para evitar inhalar agentes químicos
- Gafas de seguridad
- Calzado de seguridad
- Guantes de látex

3.5. Limpieza del Motor

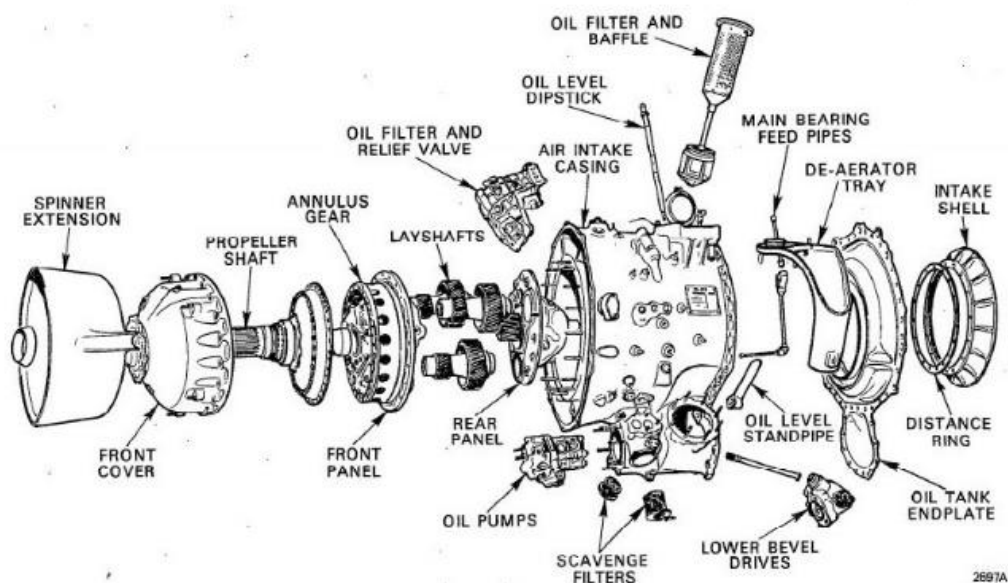
La limpieza previa de la superficie es necesaria para eliminar las impurezas que se encuentren en la estructura exterior para realizar los procedimientos de desmontaje. Se Utiliza: Solventes, franelas y cepillo de cerdas suaves para las partes pequeñas de difícil acceso o hilos de los pernos con presencia de suciedad.

3.6. Desmontaje del Rodamiento de la Primera Etapa del Compresor

El rodamiento se encuentra en el interior de la carcasa de entrada de aire del motor para lo cual se requiere desmontar; la cubierta de entrada de aire, la extensión del spinner, la caja de reducción, el piñón de alta velocidad, los tres engranajes (Layshaft), el panel trasero donde se alojan los engranajes, para llegar hasta el rodamiento.

Figura 16

Componentes de la Caja de Reducción



Nota: La figura muestra los componentes que se distribuyen en la caja de reducción del motor. Tomado del *Manual de Overhaul Capítulo Disassembly 72-2*.

3.6.1. Desmontaje de la Cubierta de Entrada de Aire

- Se comienza retirando los pasadores que se encuentran alojados en los pernos que sujetan las tuercas de la cubierta con el uso de una pinza se quitan todos los pasadores que se encuentran alrededor.

Figura 17

Pasadores Retirados de las Tuercas de la Cubierta



- Se desajustan todos los pernos una vez retirados los pasadores, se remueven los pernos y se los guarda junto al conjunto removido, con cuidado se desmonta la cubierta de la entrada de aire y retira del motor.

Figura 18

Cubierta de la Entrada de Aire Desmontada

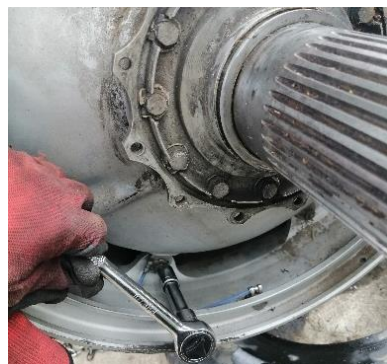


3.6.2. Desmontaje de la Extensión del Spinner

- Para remover las tuercas que se sujetan con los pernos de la caja de reducción, se retiran los seguros de las tuercas y con el uso de la herramienta adecuada se desajustan.

Figura 19

Desajuste de las Tuercas de la Extensión del Spinner



- Se retiran las tuercas de los pernos de la caja de reducción que lo sostiene.

Figura 20

Caja de Reducción del Motor sin la Cubierta del Spinner



3.6.3. Desmontaje de la Caja de Reducción Frontal

- Se desajustan las tuercas de los pernos alojados en la carcasa de entrada de aire que se encuentran alrededor de la caja de reducción, con la herramienta adecuada (racha y copa 12mm) y se retiran.

Figura 21

Tuercas Removidas de la Caja de Reducción



- Una vez retirados todas las tuercas se procede a golpear un poco la superficie con un martillo de goma y con el uso de un destornillador plano se separa la caja de reducción de la carcasa de entrada de aire.

Figura 22

Remoción de la Caja de Reducción



- Es necesario retirar con cuidado el conjunto unido de la caja de reducción frontal (cobertor frontal, eje de la hélice, engranajes anulares y el panel delantero) Se lo retira con cuidado de no golpear la superficie de la caja de reducción y se lo coloca en un lugar seguro.

Figura 23

Parte Delantera de la Caja de Reducción Removida

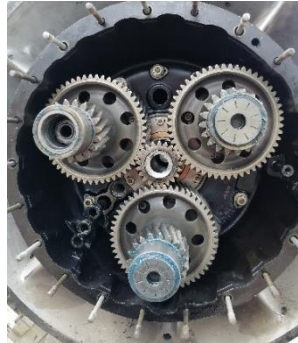


3.6.4. Desmontaje de los Layshaft y Piñón de Alta Velocidad

- Los tres Layshaft se encuentran sujetos en el panel trasero de la caja de reducción junto con el piñón de alta velocidad.

Figura 24

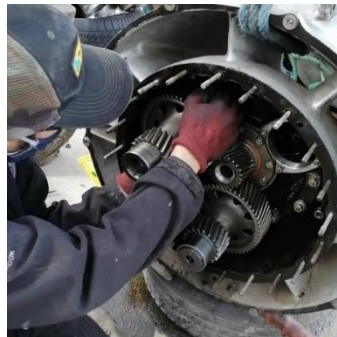
Layshaft



- Primero se retiran los seguros que sujetan las tuercas y a continuación se desajustan las cuatro tuercas de cada Layshaft y del Piñón de alta velocidad que están sujetos a los pernos del panel y se los retira. Una vez retiradas las tuercas de los Layshaft de los pernos del panel que lo sostiene, se remueve con cuidado de no dañar los dientes de los engranajes y golpear otras superficies.

Figura 25

Remoción Del Segundo Layshaft



- Se procede de la misma manera con los otros Layshaft a removerlos del panel con sus respectivos sellos metálicos.

Figura 26

Remoción Del Tercer Layshaft



- Se remueve el Piñón de alta velocidad de los pernos del panel que lo sostiene con cuidado de no golpear y dañar los dientes.

Figura 27

Remoción Del Piñón De Alta Velocidad



3.6.5. Desmontaje del Panel Trasero de la Caja de Reducción

- Para llegar al sitio donde se aloja el rodamiento de la primera etapa del compresor se desinstala el panel trasero de la caja de reducción.

Figura 28

Panel Trasero de la Caja de Reducción



- Se procede a quitar los seguros de las tuercas que sujetan a los pernos del interior de la carcasa de la entrada de aire, se desajusta las tuercas que se encuentran alrededor del panel con la herramienta adecuada (racha, extensión y copa de 14mm).

Figura 29

Desajuste de las Tuercas que Sujetan al Panel



- Alrededor del panel se encuentran pivotes que sostienen la carcasa de la entrada de aire, con el uso de un destornillador plano se las retira de los orificios donde se alojan.

Figura 30

Remoción de los Pivotes del Panel



- Una vez retiradas las tuercas y los pivotes se procede a desmontar el panel trasero de la caja de reducción de los pernos que lo sostienen con cuidado de no golpearlo.

Figura 31

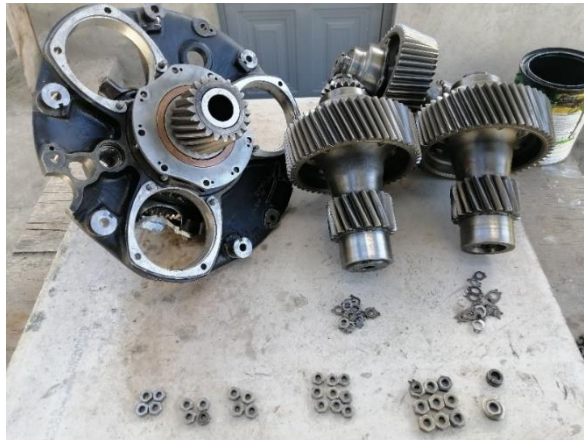
Desmontaje del Panel Trasero de la Caja de Reducción.



- Una vez removido todo el conjunto que comprende los tres Layshaft, el piñón de alta velocidad y el panel trasero de la caja de reducción se puede observar ya el rodamiento de rodillos de la primera etapa del compresor.

Figura 32

Conjunto del Panel Trasero de la Caja de Reducción Desmontado



3.6.6. Desmontaje del Rodamiento de la Primera Etapa del Compresor

- El Rodamiento se encuentra soportado por cuatro tuercas que se sujetan a los pernos internos de la carcasa de la entrada de aire, se empieza a remover los seguros de las tuercas.

Figura 33

Desajuste de los Seguros de las Tuercas



- Con el uso de la herramienta adecuada se desajustan las cuatro tuercas y se retiran de los pernos.

Figura 34

Desajuste de las Tuercas



- Se remueven los dos pivotes que sostienen el retenedor del rodamiento para proceder a desmontar el rodamiento.

Figura 35

Remoción del Pivote



- Se desmonta todo el conjunto, con la debida precaución, de que los rodamientos no se salgan de su jaula y puedan perderse.

Figura 36

Desmontaje Del Rodamiento De La Primera Etapa Del Compresor



- Con el respectivo cuidado se guarda el rodamiento envuelto en un papel anti grasa, y en un recipiente con tapa, para preparar el área donde se realizará limpieza e inspección correspondiente.

Figura 37

Rodamiento Envuelto en Papel Anti Grasa



3.7. Limpieza del Rodamiento de la Primera Etapa

- Se utiliza guantes para manipular el rodamiento con el fin de evitar que la humedad de la piel este en contacto con la superficie y cause corrosión. En un recipiente se coloca el aceite.

Figura 38

Colocación de Aceite en el Recipiente



- Mediante una cocina eléctrica se calienta hasta la temperatura de 75°C para una limpieza inicial del rodamiento.

Figura 39

Calentamiento del Aceite A 75°C



- Se introduce el rodamiento en posición horizontal en el recipiente para evitar la formación de burbujas.

Figura 40

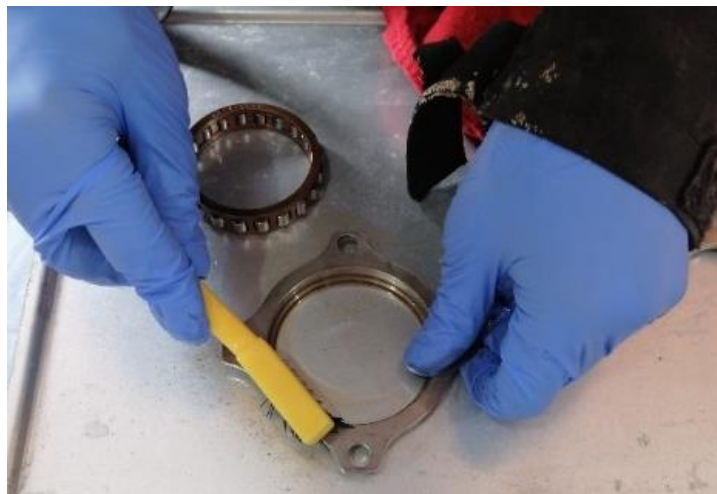
Rodamiento Sumergido en el Tanque de Lavado Inicial



- Se retira el rodamiento para la limpieza con un cepillo de cerdas suaves.

Figura 41

Limpieza del Rodamiento



- Nuevamente se sumerge en el segundo tanque de limpieza para lavarlo bien.

Figura 42

Rodamiento Colocado en el Segundo Tanque de Lavado



- Se retira el rodamiento con el uso de pinzas para drenarlo durante 5 minutos.

Figura 43

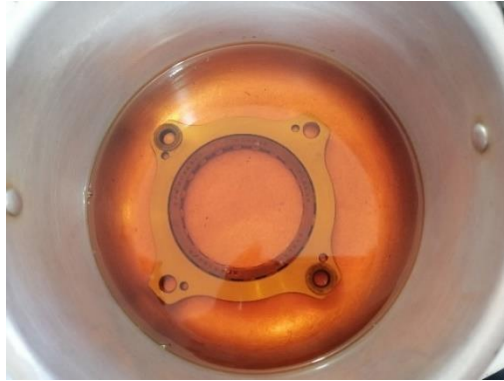
Remoción del Rodamiento del Tanque de Limpieza.



- Se introduce el rodamiento en el tanque inhibidor durante 5 minutos esto es para evitar la corrosión del rodamiento durante el proceso de inspección.

Figura 44

Rodamiento en el Tanque Inhibidor



- Se retira el rodamiento para dejarlo secar y enfriar en un lugar libre de polvo e impurezas. Después de retirar el rodamiento del tanque inhibidor se debe registrar el tiempo hasta finalizar la inspección.

Figura 45

Remoción del Rodamiento del Tanque Inhibidor



3.8. Inspección Visual del Rodamiento de la Primera Etapa

Una vez que las partes del rodamiento se encuentran separadas; jaula, pista exterior y los elementos rodantes. Mediante una inspección visual se evalúa la condición del rodamiento con el uso de lupas para tener una visión amplia de la superficie.

Figura 46

Partes del Rodamiento Desmontadas



3.8.1. Inspección Visual de la Jaula del Rodamiento

- Se examina primeramente la jaula del rodamiento para determinar presencia de grietas o astilladura en la estructura.

Figura 47

Inspección de la Jaula del Rodamiento



- Se registra en la lista de verificación, que no se encontraron presencia de grietas ni astilladura en la superficie de la jaula del rodamiento pero si una pequeña marca en la parte exterior de la jaula que no involucra ningún rechazo del componente.

Figura 48

Registro de los Resultados Obtenidos



3.8.2. Inspección Visual de la Pista Exterior del Rodamiento

- Se prosigue con la pista exterior del rodamiento para determinar presencia de hendiduras, astillamiento, corrosión, agujeros y se verifica el estado de la carrera del rodamiento es decir la superficie que está en contacto mientras los rodillos giran.

Figura 49

Inspección de la Pista Exterior del Rodamiento.



En la superficie de la pista exterior del rodamiento no se encontró presencia de discontinuidades, ni presencia de corrosión y la carrera del rodamiento se encuentra en buen estado, la condición es aceptable para ser instalado en el soporte del rodamiento.

3.8.3. Inspección Visual de los Elementos Rodantes

- Por último los elementos rodantes son inspeccionados para determinar su condición. En total son 20 rodillos que se distribuyen en la jaula del rodamiento. Para inspeccionar se requiere revisar cuidadosamente cada elemento en busca de discontinuidades en la superficie de los rodillos.

Figura 50

Elemento Rodante en Buen Estado



- Durante la inspección no se encontró presencia de grietas, astilladuras, descamación y corrosión, pero en tres rodillos se pudo observar la presencia de marcas y en un rodillo una hendidura, según el Manual de Overhaul del Motor estos defectos son aceptados para que puedan ser instalados nuevamente en la jaula del rodamiento.

Figura 51

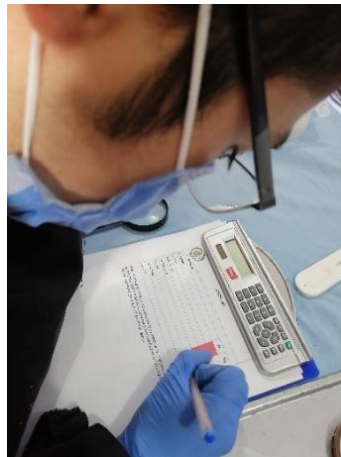
Hendidura en el Rodillo



- Se registra los resultados obtenidos en la hoja de revisión, para determinar el estado actual de las partes del rodamiento.

Figura 52

Registro de los Resultados Obtenidos

**3.8.4. Tratamiento del Rodamiento Después de la Inspección.**

Se considera el tiempo de duración de la inspección en este caso de dos horas con el propósito de evitar la presencia de corrosión en las partes del rodamiento.

- Una vez realizada la inspección se ensambla nuevamente los componentes del rodamiento para el respectivo tratamiento, con el fin de proteger las partes contra la corrosión, después de ser inspeccionadas y posteriormente almacenadas.

Figura 53

Montaje de las Partes del Rodamiento



- Lavar el rodamiento en el tanque inicial colocándolo en posición horizontal, una vez limpio se retira el rodamiento y se deja drenar por 5 minutos.

Figura 54

Limpieza del Rodamiento



- Colocar el rodamiento en el tanque inhibidor por 5 minutos.

Figura 55

Colocación del Rodamiento en el Tanque Inhibidor



- Se debe retirar el rodamiento para dejarlo enfriar en un espacio libre de polvo y seco. Se almacena en una funda de polietileno sin sellarlo para posteriormente montarlo en el soporte del compresor.

Figura 56

Rodamiento Removido del Tanque Inhibidor



3.9. Proceso de Seccionamiento del Motor

Para seccionar el motor es decir separar el módulo del compresor se requiere desmontar los accesorios que se interponen al desajustar las tuercas ubicadas en la carcasa de aire de entrada con los pernos del cárter de admisión del motor, del mismo modo en la parte posterior se remueve las cámaras de combustión para desajustar las tuercas que sujetan la carcasa intermedia y el cárter de salida del compresor.

3.9.1. *Desmontaje de las Cámaras de Combustión.*

- Para tener acceso a la parte posterior del compresor se procede a desinstalar las cámaras de combustión, se debe verificar que no existan cañerías conectadas. Desde la parte posterior del motor es decir detrás de la turbina se comienza a desmontar la cámara de combustión Número 1, con el uso de la herramienta adecuada (llave 1/4) se desajusta la tuerca que sujeta los pasadores y los pernos de enlace de bisagra, que une las cámaras con los codos de salida del compresor.

Figura 57

Remoción de la Tuerca, el Pasador y el Perno de Enlace



- Se desplaza el perno y se empuja con cuidado la cámara hacia la boquilla de descarga, para remover el anillo de sellado esférico. Se desmonta la cámara empujando hacia adelante y arriba para separarla del motor y se coloca junto con el anillo de sellado correspondiente.

Figura 58

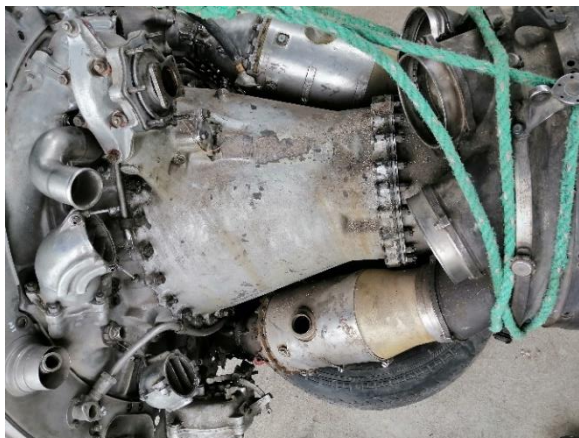
Remoción del Anillo de Sellado



- Se realiza el mismo procedimiento para el resto de cámaras siguiendo un orden recomendado según el manual de mantenimiento capítulo 72 (7,6,5,4,3,2).

Figura 59

Sección Intermedia sin las Cámaras de Combustión 1,7 Y 6



- Al desmontar las cámaras con sus respectivos anillos de sellado esférico, se las almacena para su posterior limpieza junto a los otros componentes del motor.

Figura 60

Cámaras de Combustión del Motor Rolls Royce Dart 534-2 Desmontadas



3.9.2. Desmontaje de los accesorios del motor

Se requiere desmontar los accesorios que se interponen en las tuercas para separar el cárter del compresor, de la siguiente manera.

Desmontaje del Enfriador de Aceite. Utilizando la herramienta adecuada, se desajustan las tuercas que sostienen el enfriador de aceite. Se retira los pernos y las arandelas de presión, con cuidado de no golpear la superficie del componente, se desmonta de la superficie del motor y se lo almacena adecuadamente con su respectiva identificación.

Figura 61

Enfriador de Aceite Desmontado



Desmontaje de la Bomba de Combustible. Para remover la bomba de combustible se retira las dos tuercas que se encuentran con alambre de traba y el perno de fijación que asegura la conexión del codo de entrada y salida de combustible a la bomba.

Figura 62

Alambre de Traba que Sujeta el Perno de Fijación



- Se debe desajustar las tuercas y retirar con sus respectivas arandelas de seguridad.

Figura 63

Desajuste de las Tuercas de la Bomba de Combustible



- Una vez retirado las tuercas se desmonta la bomba de combustible de la superficie del motor y se la almacena adecuadamente. Se puede visualizar las tuercas que sujetan el cárter de admisión del compresor con la carcasa de entrada de aire.

Figura 64

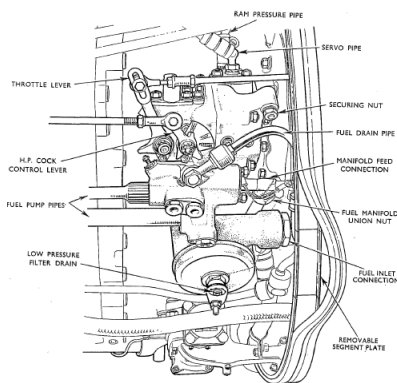
Bomba de Combustible Desmontado



Desmontaje de la Unidad de Control de Flujo de Combustible (FCU). El FCU se encontraba incompleto, debido a que el filtro de combustible estaba previamente removido y no se encontraba con todas sus partes a remover según el manual del motor (Capítulo 73-20-1, pag.203)

Figura 65

Fuel Control Unit



Nota: Tomado de *Manual del Motor Capítulo 73-20-1, Pag.204, Figura 202.*

- La unidad de control se encontraba incompleta, no constaba con las tuberías que unen a la bomba de combustible, ni con las conexiones de las cañerías, y el filtro tampoco se encontraba en el componente, por lo que se removió desajustando las tuercas de seguridad que en total eran 3 las que sostenían el componente y se procedió a rechazar el conjunto por la falta de accesorios.

Figura 66

FCU Removida del Motor



3.9.3. Desmontaje de los filtros de aceite.

Para eliminar el aceite que se encuentra en el interior del motor se debe remover los filtros existentes en la parte inferior del cárter de la entrada de aire.

Remoción del Filtro de Presión de Aceite. Primero se afloja la tuerca que asegura la placa de bloqueo del perno de retención permitiendo que la placa se separe del perno. Se procede a desajustar el perno de retención del filtro con lo que se logra drenar el aceite.

Figura 67

Drenaje de Aceite del Filtro de Presión de Aceite



- Se desenrosca el perno, se retira la cubierta y el conjunto del filtro respectivamente.

Figura 68

Desmontaje del Filtro de Presión de Aceite



Remoción del Filtro de Recuperación de Aceite. Para remover el filtro de recuperación primero se desajusta la tuerca que asegura la placa de bloqueo del perno de retención y se deja drenar el aceite que se encuentra en esa parte.

Figura 69

Desajuste de la Tuerca que Sostiene el Filtro



- Se retira el perno y el conjunto del filtro del motor.

Figura 70

Desmontaje del Filtro de Recuperación



3.9.4. Desmontaje de la Carcasa del Aire de Entrada

- Para el procedimiento se requiere de un tecele para alzar el motor, con el uso de llaves y copas hexagonales se desajusta las tuercas que se encuentran alrededor de la carcasa de entrada de aire.

Figura 71

Tuercas que Sostienen la Carcasa de Aire de Entrada



- Se introduce un destornillador plano para separar el cárter de admisión del compresor y la carcasa de entrada de aire, se extrae con cuidado el cárter de admisión del compresor, evitando golpear la superficie de las paletas giratorias del compresor u otras partes cercanas del motor. Por lo que se debe levantar supervisando que no exista ninguna interrupción para retirar la carcasa. Y se pinta una línea de referencia.

Figura 72

Separación de la Carcasa de Aire del Cárter de Admisión del Compresor



- Una vez separado, con el uso de cuerdas se sujeta la parte de la entrada de aire para evitar que se golpee y se procede a separarlo del motor. Con lo que se puede visualizar ya el impulsor de la primera etapa del compresor y su respectivo eje donde el rodamiento se instala.

Figura 73

Cárter de Admisión e Impulsor del Compresor

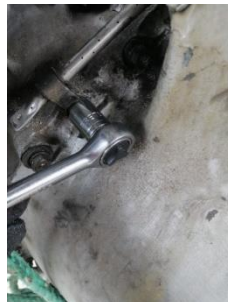


3.9.5. Desmontaje de la Carcasa Intermedia del Motor

- Una vez retiradas todas las cámaras de combustión y la carcasa de entrada de aire. A continuación se desajustan las tuercas que sostienen la carcasa intermedia con el cárter de salida del compresor, con el uso de una copa (14mm) y racha se desajustan las tuercas que están sujetas alrededor.

Figura 74

Desajuste de las Tuercas que Sujetan la Carcasa Intermedia



- Una vez retirados las tuercas se separa la carcasa intermedia del cárter de salida del compresor donde se aloja la caja de accesorios del motor.

Figura 75

Carcasa Intermedia del Motor



- Se pudo visualizar la sección del compresor que va a hacer ubicada en su respectivo soporte, en la parte posterior se encuentra el cárter de salida donde se encuentra los codos donde se conectan las cámaras de combustión, se requiere realizar una limpieza tanto interna como externa del compresor con el fin de restablecer la condición del compresor para la instrucción de los estudiantes.

Figura 76

Cárter de Salida del Compresor



3.10. Desmontaje de los cárteres del compresor

Se requiere remover los cárteres de admisión y de salida del compresor para limpiar su parte interna y los componentes del compresor (impulsor, difusor). Se procede de la siguiente manera.

3.10.1. Desmontaje del Cárter de Admisión

- Se desajusta las tuercas que están alrededor del cárter de admisión que se sujetan con los pernos del cárter intermedio.

Figura 77

Tuercas que Sujetan el Cárter de Admisión del Compresor



- Se desajustan los pernos que se sujetan en la parte interna del cárter de admisión con el difusor de la primera etapa.

Figura 78

Desajuste de los Pernos Sujetadores



- Se pinta una línea de referencia al momento de desmontar el cárter de admisión para posteriormente ser instalado nuevamente.

Figura 79

Línea de Referencia



- Por último se remueve el cárter de admisión del compresor con cuidado de no golpear el difusor del compresor.

Figura 80

Cárter de Admisión Desmontado



3.10.2. Desmontaje del Cárter de Salida del Compresor

- Para el desmontaje del cárter de salida se debe desajustar las tuercas que se sujetan en el cárter intermedio del compresor y los pernos sujetadores del impulsor de la segunda etapa que se encuentran en la parte posterior del cárter de salida.

Figura 81

Cárter de Salida del Compresor



- Se retiran las tuercas y los pernos, posteriormente se verifica que no exista ninguna obstrucción al momento de remover el cárter de salida.

Figura 82

Remoción de los Pernos Sujetadores



- Con mucho cuidado se separa el cárter de salida, se remueve evitando golpear el eje del compresor de la segunda etapa con la parte interna del cárter intermedio, una vez desmontado se puede visualizar el impulsor de la segunda etapa que es de menor diámetro.

Figura 83

Difusor de la Segunda Etapa del Compresor



- En el cárter intermedio se puede visualizar el difusor de la segunda etapa del compresor que posteriormente será removido para su respectiva limpieza.

Figura 84

Cárter Intermedio y Difusor de la Segunda Etapa del Compresor



3.10.3. Desmontaje de los difusores del compresor

- Para desmontar el difusor se usa un destornillador plano, se separa del cárter intermedio donde se encuentra el difusor. Y se prosigue a remover los difusores tratando de no golpear con los pernos del cárter.

Figura 85

Difusor de la Primera Etapa



3.11. Limpieza de la Sección del Compresor

Al remover los cárteres y los difusores, Es indispensable realizar una limpieza de la parte interna del compresor, de los impulsores de la primera y segunda etapa respectivamente con el uso de waype, franela y disolvente (tinner) para eliminar las impurezas y los rastros de quemaduras de la segunda etapa.

Figura 86

Impulsor de la Primera Etapa con Impurezas



- Para una mejor limpieza se pulveriza las partes internas para eliminar los rastros de grasa e impurezas en lugares donde no se tiene una accesibilidad por completa.

Figura 87

Limpieza del Impulsor de la Segunda Etapa del Compresor



Se limpia todas las superficies del compresor, una vez que las partes internas y externas estén limpias se las instala nuevamente el conjunto de la sección compresora. Para ser instalada en su respectivo soporte que se sujeta de las los dos montantes laterales. Y posteriormente el rodamiento será montado delante del eje impulsor de la primera etapa.

Figura 88

Sección compresora en el soporte



3.12. Montaje del Rodamiento.

Una vez que la sección compresora y el soporte del compresor se encuentran ubicados se procede a instalar el rodamiento. Para instalar el rodamiento en el eje del motor de la siguiente manera.

- Se retira el rodamiento de la caja donde se encontraba guardada con el uso de guantes de latex, se coloca el conjunto completo en el soporte correspondiente.

Figura 89

Rodamiento Retirado de la Caja



- Se introduce los 4 pernos que sostienen el rodamiento y se ajusta con las tuercas correspondientes.

Figura 90

Montaje del Rodamiento



3.13. Lubricación del Rodamiento

Para lubricar el rodamiento es necesario tener el aceite especificado para proteger contra la corrosión y evitar desgaste por una lubricación inadecuada lo que disminuye la eficiencia del rodamiento del mismo modo que su vida útil.

- Mediante una pistola se coloca lubricante en las holguras entre los elementos rodantes (rodillos) y el espacio entre la pista exterior e interior con los rodillos.

Figura 91

Lubricación del Rodamiento



- Se hace girar el impulsor con la finalidad que el lubricante se desplace por toda la superficie para que la película de lubricante cubra las partes del rodamiento.

Figura 92

Giro del Impulsor del Compresor

**3.14. Comprobación del Funcionamiento del Rodamiento**

Para verificar que el rodamiento se encuentre ubicado correctamente se debe girar el compresor y se comprueba que no exista ninguna obstrucción al momento de girar.

- Primero se gira el compresor con una ligera fuerza con el fin de sentir si existe algún roce entre el eje y en rodamiento. Se hace girar el rodamiento con más fuerza, con mucho cuidado de no introducir objetos o partes del cuerpo en las paletas del compresor. Verificar que el compresor gire libremente y no se obstruya mientras está girando del mismo modo no debe existir presencia de vibración en la estructura de la sección del compresor ni en el soporte del rodamiento.

Figura 93

Comprobación del Montaje del Rodamiento



CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

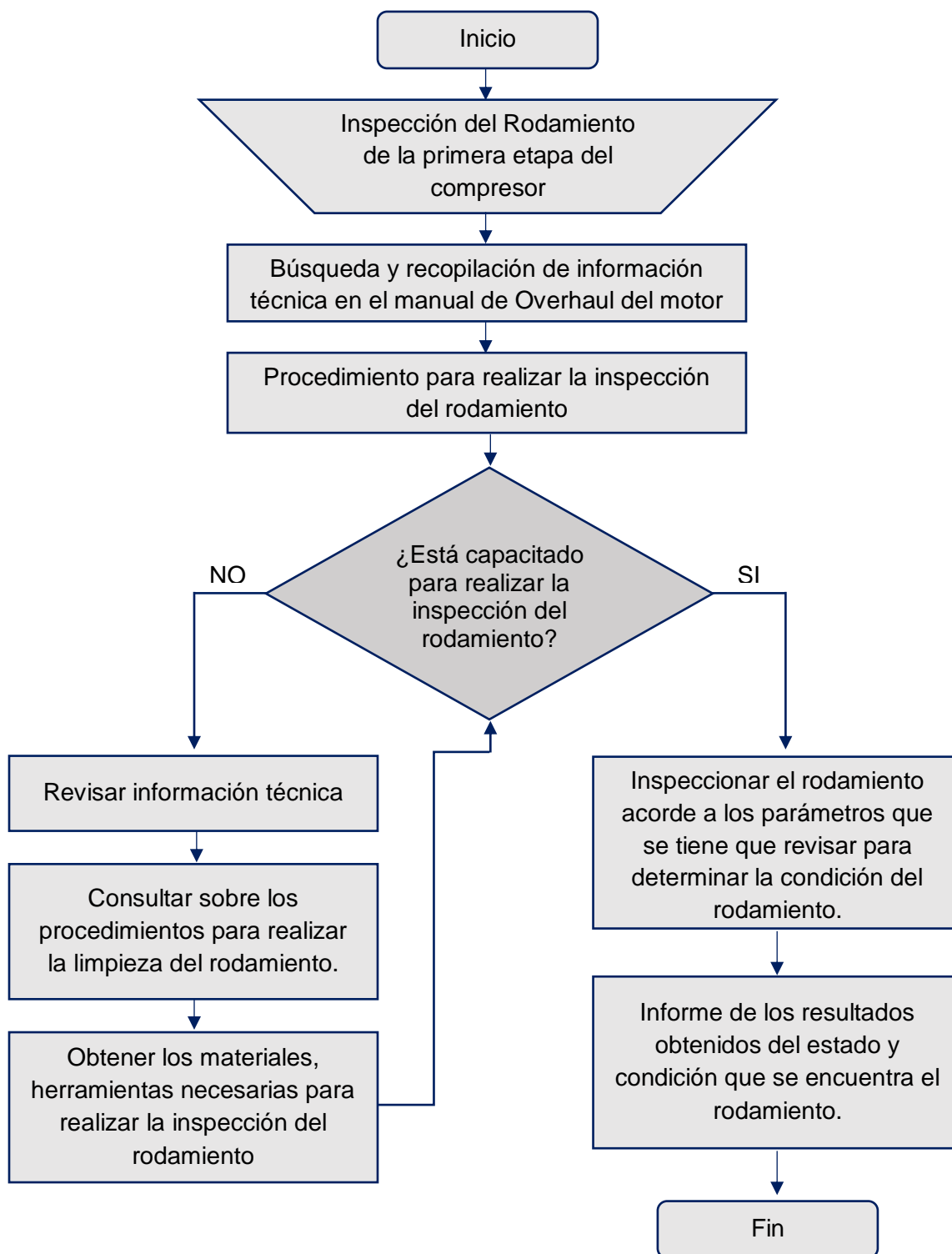
4.1. Conclusiones

- La documentación técnica acerca del desmontaje e inspección del rodamiento se encuentra en el Manual de Overhaul del Motor, para el proceso de inspección la información se detalla en las prácticas estándar del capítulo 89-10 del EOM.
- Se estableció las herramientas necesarias para efectuar el procedimiento de desmontaje de la caja de reducción del motor hasta llegar al rodamiento para ser extraído y almacenado siguiendo las recomendaciones del fabricante.
- Siguiendo los procedimientos adecuados para la limpieza según las practicas estándar del Manual de Overhaul del Motor, se observó de mejor manera el estado en que se encuentra las partes y se determinó que el rodamiento está en buen estado para ser instalado en el soporte junto a la sección compresora del motor.

4.2. Recomendaciones

- Para evitar que el rodamiento sea expuesto a condiciones de humedad y presencia de polvo, se sigue los pasos recomendados según el Manual de Overhaul, que manifiesta que se debe manipular con guantes de goma, para almacenar el rodamiento en un recipiente provisto de tapa y envuelto en papel anti grasa evitando que se presente corrosión en la superficie.
- Para la correcta inspección se debe realizar una limpieza absoluta de todas las partes del rodamiento con el fin de evitar errores de interpretación al momento de verificar la condición de las partes.

4.2.1. Diagrama de Flujo del Análisis del Tema de la Monografía



4.3. Presupuesto

Los Costos en el desarrollo del proyecto corresponden a los valores de los materiales y herramientas que se han adquirido con el fin de realizar la tarea correspondiente de la inspección del rodamiento de la primera etapa del compresor y del soporte para la sección compresora y el rodamiento.

4.3.1. Análisis de Costos

La tarea de inspección del rodamiento de la primera etapa del motor Rolls Royce Dart 534-2 y su respectivo soporte, se agrupan en costos primarios y secundarios.

Costos primarios

- Herramientas
- Materiales
- Soporte

Costos Secundarios

- Transporte

Costos Primarios

Tabla 6

Total de Costos Primarios

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Motor Rolls Royce Dart 534-2	1	1100.00	1250.00
Aceite Jet Oil II (1 quarter)	2	20.00	40.00

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Calibrador de espesores	1	11.99	11.99
Set de cepillos de alambre 7in (3PCS)	1	2.99	2.99
Pistola de Lubricación	1	4.60	4.60
WD40 11oz	1	8.90	8.90
Soporte sección compresora y rodamiento	1	200.00	225.00
VALOR TOTAL			1543.48

Costos Secundarios

Tabla 7

Total de Costos Secundarios

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Transporte Motor (Machachi Latacunga)	-	20.00	20.00
Transporte Motor (Latacunga - ESPEL)	-	10.00	10.00
Transporte Motor (ESPEL - Quito)	-	30.00	30.00
Transporte Sección compresora (Quito - Alóag)	-	30.00	30.00
VALOR TOTAL			90.00

Costo Total**Tabla 8***Total de Costos*

Descripción	Valor Total
Total Costos Primarios	1543.48
Total Costos Secundarios	90.00
VALOR TOTAL	1633,48

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- airplanes.com. (s.f.). *HAWKER SIDDELEY 748*. Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de airplanes.com: <https://www.airplanes.com/aircraft/commuter/hawker-siddeley-748/>
- Aranguren, F., Bejarano, O., & Rodriguez, J. (2005). *Análisis estructural de una Microturbina*. Tesis , Universidad de San Buenaventura, Programa de Aeronáutica, Bogota D.C. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10819/1482>
- BAE SYSTEMS. (s.f.). *Avro 748 y Avro 748MF Andover*. Recuperado el 3 de Junio de 2020, de www.baesystems.com: https://www.baesystems.com/cs/Satellite?c=BAEHeritage_C&childpagename=UK%2FBAELayout&cid=1434613055012&pagename=UKWrapper
- Bahrami, M. (s.f.). *Brayton Cycle*. Recuperado el 2 de Junio de 2020, de <http://www.sfu.ca/>: <http://www.sfu.ca/~mbahrami/ENSC%20461/Notes/Brayton%20Cycle.pdf>
- Burrage, B., & Blampied, G. (2005). *Rolls-Royce Dart*. Obtenido de VICKERS VISCOUNT NETWORK: <http://www.vickersviscount.net/>
- EASA. (2008). *TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET (HOJA DE DATOS DEL CERTIFICADO TIPO)*.
- Federal Aviation Administration . (2018). *Aviation Maintenance Technician Handbook - General* . Oklahoma: U.S. Department of Transportation.
- Galmés, B. (2018). *Motores de reacción y turbinas de gas* (Segunda ed.). Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- ipunto. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. S.L. (s.f.). *Inspección visual (VT)*. Recuperado el 24 de Julio de 2020, de ipend.es: <http://ipend.es/ensayos-no-destructivos/inspeccion-visual->

ANEXOS