



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA
MENCION AVIONES**

**MONOGRAFÍA: PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE
TECNÓLOGO EN: MECÁNICA AERONÁUTICA MENCION AVIONES**

**TEMA: LAVADO Y EMULSACIÓN DEL CONDUCTO GAS-AIRE DEL
MOTOR TB3-117BM DEL HELICÓPTERO RUSO MI171, MEDIANTE
HERRAMIENTAS ESPECIALES, PERTENECIENTE A LA BRIGADA DE
AVIACIÓN DEL EJÉRCITO N° 15 “PAQUISHA”**

AUTOR: DOICELA CUYO, GUIDO FABIAN

**DIRECTORA:
TLGA. ZABALA CACERES, EMMY SAMANTHA**

LATACUNGA

2020



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía, **“LAVADO Y EMULSACIÓN DEL CONDUCTO GAS-AIRE DEL MOTOR TB3-117BM DEL HELICÓPTERO RUSO MI171, MEDIANTE HERRAMIENTAS ESPECIALES, PERTENECIENTE A LA BRIGADA DE AVIACIÓN DEL EJÉRCITO N.º 15 “PAQUISHA”** fue realizado por el señor **DOICELA CUYO, GUIDO FABIAN** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 enero del 2020

TLGA. ZABALA CACERES, EMMY SAMANTHA

C.C.: 150063688-9



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES


CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **DOICELA CUYO, GUIDO FABIAN**, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“LAVADO Y EMULSACIÓN DEL CONDUCTO GAS-AIRE DEL MOTOR TB3-117BM DEL HELICÓPTERO RUSO MI171, MEDIANTE HERRAMIENTAS ESPECIALES, PERTENECIENTE A LA BRIGADA DE AVIACIÓN DEL EJÉRCITO N.º 15 “PAQUISHA”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 23 enero del 2020



DOICELA CUYO, GUIDO FABIAN
C.C.: 1723858658




DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **DOICELA CUYO, GUIDO FABIAN** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía **“LAVADO Y EMULSACIÓN DEL CONDUCTO GAS-AIRE DEL MOTOR TB3-117BM DEL HELICÓPTERO RUSO MI171, MEDIANTE HERRAMIENTAS ESPECIALES, PERTENECIENTE A LA BRIGADA DE AVIACIÓN DEL EJÉRCITO N.º 15 “PAQUISHA”**, en el Repositorio Institucional: el registro bibliográfico, el resumen y la dirección web indexada a la revista del artículo académico.

Latacunga, 23 enero del 2020



DOICELA CUYO, GUIDO FABIAN
C.C.: 1003617543

DEDICATORIA

Esta monografía está dedicada a:

A mi esposa e hijos: Rocío, Fabian y Matthew, quienes son mi inspiración para conquistar cada objetivo propuesto, mi amada esposa que cumple con mi rol cuando estoy ausente por el trabajo, mis preciosos hijos quienes me alegran la vida con cada una de sus ocurrencias en su desarrollo y aprendizaje.

A mis padres y hermanos que me dedicaron su apoyo y me brindaron sus consejos para mi preparación personal y profesional por lo cual tengo una profesión y soy una persona con valores y virtudes.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que me bendice todos los días de mi vida, me regala salud, trabajo, una hermosa familia y no permite que falta el pan de cada día.

A mi padre y madre por gran labor al momento de forjarme personalmente y profesionalmente, enseñándome a trabajar y superarme todos días.

A mi esposa por su amor incondicional, continua lucha y esfuerzo diario para mantener nuestra relación, conseguir nuestros objetivos y educar a nuestros hijos.

A mis amados hijos por permitirme amarlos, guiarlos y protegerlos con mis aciertos y desaciertos, en ocasiones dócil en otra inflexible.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Planteamiento del problema.....	2
1.3	Justificación e Importancia.....	3
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	Objetivo General.....	4
1.4.2	Objetivos Específicos.....	5
1.5	Alcance	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Descripción general del helicóptero MI 171.....	6
2.1.1	Generalidades.....	6
2.1.2	Características	6
2.2	Diseño y construcción	7

2.2.1	Fuselaje	7
2.2.2	Tren de aterrizaje	8
2.2.3	Palas y rotores	9
2.2.4	Motor TB3-117BM.....	9
2.3	Principio de trabajo del motor.....	10
2.3.1	Transmisión a los rotores.....	12
2.3.2	Conjuntos principales del motor TB3 117BM	13
a)	Compresor.....	13
b)	Cámara de combustión	14
c)	Turbina del compresor.....	14
d)	Turbina libre	15
e)	Dispositivo de escape.....	16
f)	Tubo de escape.....	16
2.4	Principio de funcionamiento de un compresor.....	17
2.4.1	Compresores de Flujo Axial	18
2.4.2	Compresores de Flujo centrífugo.....	20
2.5	Mantenimiento	22
2.5.1	Tipos de mantenimiento.....	23
2.5.2	Lavado de compresores.....	23
2.5.3	Periodicidades del lavado del compresor	24
2.5.4	Métodos de lavado.....	25
a)	Lavado Fuera de Línea	25
b)	Lavado en Línea	26
2.5.5	Tipos de suciedad.....	27
a)	Hidrocarburos	27
b)	Agua salada.....	27
c)	Otras causas.....	28
2.6	Equipo para el lavado de compresores	28
2.6.1	Sistema de lavado	29
2.6.2	Sistema de enjuague	30

2.6.3	Principales componentes del equipo de lavado de compresores	30
a.	Reservorios o depósitos.....	30
b.	Elementos de regulación y control	31
c.	Manómetros.....	31

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1	Preliminares	35
3.1.1	Normas de seguridad para ejecutar un lavado del motor	35
3.1.2	Herramientas y materiales.	36
3.2	Análisis de la construcción del equipo.....	37
3.3	Fabricación de los tanques	38
3.3.1	Tratamiento con líquidos penetrantes a los tanques	39
3.3.2	Tratamiento anticorrosivo y pintura de los tanques	41
3.4	Construcción de coche transportador.....	43
3.4.1	Corte y suelda de los tubos.....	44
3.4.2	Tratamiento anticorrosivo y pintura del coche transportador	45
3.5	Ensamblaje y señalética	47
3.5.1	Ensamblaje de equipo de lavado de compresores	47
3.5.2	Colocación de la señalética en el equipo de lavado	48
3.6	Análisis de la tarea.....	50
3.6.1	Operación del equipo de lavado de compresores	51
3.6.2	Aplicación de la carta de tarea N° 308	51
3.7	Manuales de Procedimientos.	56
3.7.1	Manual de seguridad.....	56
3.7.2	Manual de operación.....	56
3.7.3	Manual de mantenimiento.	56
3.8	Presupuesto.....	56
3.8.1	Análisis de Costos	57
a.	Costos totales	57

CAPÍTULO IV**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1. Conclusiones.....58

4.2. Recomendaciones.....59

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS60**ANEXOS.....63****ANEXO A****ANEXO B****ANEXO C****ANEXO D****ANEXO E****ANEXO F****ANEXO G**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Helicóptero MI 171	6
Figura 2. Fuselaje central	7
Figura 3. Tren de aterrizaje	8
Figura 4. Palas y rotores.....	9
Figura 5. Esquema de un motor TB3 117BM.....	10
Figura 6. Motor TB3 117BM	11
Figura 7. Eje de transmisión	12
Figura 8. Compresor del motor TB3 117BM	13
Figura 9. Cámara de combustión.....	14
Figura 10. Turbina del compresor	15
Figura 11. Turbina libre	15
Figura 12. Dispositivo de escape.....	16
Figura 13. Compresor.....	17
Figura 14. Compresor axial	18
Figura 15. Alabes	19
Figura 16. Compresor centrífugo	21
Figura 17. Mantenimiento aeronáutico.....	22
Figura 18. Depósito de grasa en alabes	27
Figura 19. Sal cristalizada en alabes	28
Figura 20. Lavador de compresores	29
Figura 21. Deposito	30
Figura 22. Válvula de seguridad	31

Figura 23. Manómetros Bourdon	32
Figura 24. Manómetros con membrana.....	33
Figura 25. Análisis de la construcción del equipo	37
Figura 26. Tanques	38
Figura 27. Lijado de tanques	39
Figura 28. Lavado y limpieza de tanques	39
Figura 29. Aplicación de limpiador.....	40
Figura 30. Aplicación del líquido penetrador	40
Figura 31. Aplicación de debelador	41
Figura 32. Limpieza de tanques.....	41
Figura 33. Aplicación del anticorrosivo	42
Figura 34. Secado de tanques.....	42
Figura 35. Aplicación de pintura	43
Figura 36. Corte del tubo cuadrado	44
Figura 37. Soldadura de ruedas	44
Figura 38. Aplicación del primer.	45
Figura 39. Aplicación de la pintura.....	46
Figura 40. Secado de pintura	46
Figura 41. Colocación de acoples.....	47
Figura 42. Colocación de tanques	47
Figura 43. Colocación de manómetros.	48
Figura 44. Señalética impresa.	48
Figura 45. Colocación de señalética	49

Figura 46. Análisis de la tarea	50
Figura 47. Mezcla ardrex-agua	52
Figura 48. Introducción de mezcla.....	53
Figura 49. Introducción de aire a presión.....	53
Figura 50. Acople de mangueras	54
Figura 51. Lavado de compresores	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características del helicóptero MI 171</i>	6
Tabla 2 <i>Periodicidades del lavado del compresor</i>	25
Tabla 3 <i>Herramientas y materiales</i>	36
Tabla 4 <i>Total de costos</i>	57

RESUMEN

El lavado de compresores de los motores TB3-117BM permite prolongar su vida útil, este trabajo se lo realiza de acuerdo a inspecciones y tareas de mantenimiento programadas o por la condición donde opera la aeronave. La carta de trabajo N° 308 y el catálogo de herramientas proporcionan información sobre el equipo y los procedimientos para optimizar los procesos de lavado de compresores. Basándose en el catálogo de herramientas se desarrolló un equipo para el lavado, limpieza y protección de compresores con el fin de facilitar el mantenimiento preventivo de los mismos, el cual cumple con las normas de seguridad para el personal técnico y con las exigencias de resistencia y esfuerzo durante su operación. Utilizando este equipo se realizó el lavado del conducto gas-aire de los motores TB3-117BM del helicóptero ruso MI171, lo que permite mantener la operatividad de la aeronave, facilitar el trabajo del personal técnico y reducir los costos de mantenimiento para la Brigada de Aviación Del Ejército N. ° 15 “PAQUISHA”

PALABRAS CLAVE:

- **HELICÓPTERO MI 171**
- **HELICÓPTEROS MOTORES**
- **HELICÓPTEROS - LAVADO DE COMPRESORES**

ABSTRACT

The present research focuses in the compressor washing of the TB3-117BM engines allows to extend their useful life, this work is done according to inspections and programmed maintenance tasks or by the condition where the aircraft operates. The work letter No. 308 and the tooling catalogue provide information on the equipment and procedures to optimize the compressor washing processes. Based on the tooling catalogue, a compressor washing, cleaning and protection equipment was developed to facilitate the preventive maintenance of the compressors. This equipment complies with the safety standards for technical personnel and with the requirements of resistance and effort during its operation. Using this equipment, the gas-air duct of the engines TB3-117BM of the Russian helicopter MI171 was washed, which allows to maintain the operation of the aircraft, facilitate the work of the technical personnel and reduce maintenance costs for the Army Aviation Brigade No. 15 "PAQUISHA".

KEYWORDS:

- **HELICOPTER MI 171**
- **ENGINES HELICOPTERS**
- **HELICOPTERS - COMPRESSOR WASHING**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes.

La Brigada de Aviación del Ejército N° 15 “PAQUISHA”, conjuntamente con el CEMAE-15 (Centro de mantenimiento de Aviación del Ejército), Son los encargados del mantenimiento preventivo, correctivo y restaurativo en los diferentes niveles de las aeronaves de ala rotatoria, y a su cargo cuenta con helicópteros livianos y medianos tanto de fabricación rusa como francesa.

El Helicóptero MI-171 de fabricación soviética, consta de dos motores TB3-117BM de 2250 HP cada uno, equipados con el sistema de protección contra polvo, está diseñado según un esquema mono tipo de rotor principal de cinco palas y rotor de cola de tres. Tiene una Unidad de Potencia Auxiliar (APU), que utiliza un motor de turbina AI-9V que sirve como fuente de aire comprimido para el arranque de los motores principales.

La tripulación de vuelo del helicóptero se compone de dos pilotos, un ingeniero de vuelo y un mecánico a bordo. Tiene una capacidad de carga de hasta 4000kg en el interior de la cabina, y una capacidad de carga externa de hasta 3000kg, una autonomía de vuelo de 03:15h con los tanques normales y 05:30h., con un tanque auxiliar. En la variante de transporte de tropas de combate el helicóptero tiene una capacidad de 24 personas. Y en la variante de pasajeros, el helicóptero tiene una capacidad de 28 personas.

1.2 Planteamiento del problema.

Los helicópteros MI-171, pertenecientes a la Brigada de Aviación del Ejército N.º 15 “PAQUISHA”, se encuentran en operación constante cumpliendo diferentes misiones de vuelo dentro del territorio nacional, por lo que se produce un desgaste normal de todos los componentes y accesorios de la aeronave debido a su uso constante, por lo cual existen componentes que cumplen con su tiempo límite de revisión (TLR), su tiempo límite de vida (TLV), y en ocasiones existen componentes que son reemplazados por su estado y condición. De la misma manera los motores TB3-117BM sufre desgaste normal en sus componentes internos y externos, entre los principales tenemos los compresores los mismos que por la función que desempeñan necesitan una inspección programada con el fin de mantener la operatividad del motor y evitar suspender las operaciones de vuelo.

Los helicópteros MI-171, cumplen misiones de apoyo de combate, apoyo al servicio de combate como son: el transporte de tropas, abastecimiento de los diferentes destacamentos, relevo de destacamentos, etc., por lo que las aeronaves pasan en constante actividad de vuelo. Por esta razón, se da el desgaste normal de los compresores, los cuales comprimen el aire para posteriormente generar potencia de empuje, esto obliga a realizar la inspección constante de los motores TB3-117BM, ya que, de acuerdo al AMM de la aeronave, todos los componentes deben estar operables para su operación.

La inspección programada de los compresores de los motores mediante el uso de una herramienta especial, permitirá realizar una inspección rápida y segura de los conductos gas-aire del motor TB3-117BM para temperatura superior de 0°, y facilitará la operabilidad oportuna de la misma, evitando el mal funcionamiento de todos los componentes que trabajan conjuntamente, así como también se evitará tener la aeronave fuera de servicio por las tareas de mantenimiento no realizadas, por la falta de equipamiento y herramientas necesarias y adecuadas.

1.3 Justificación e Importancia.

El presente proyecto de Titulación brindará al personal técnico aeronáutico del centro de mantenimiento de la 15-BAE "PAQUISHA" una segura y oportuna inspección de los conductos gas-aire del motor TB3-117BM, reduciendo los extensos tiempos de mantenimiento y cumpliendo de manera oportuna con las normas de seguridad operacionales, en los cuales se trabajará con el uso de la herramienta especial y equipos adecuados, optimizando recursos y reduciendo la cantidad de técnicos a emplear, de igual manera se beneficiará a la fuerza terrestre y el país, con aeronaves disponibles y listas para su empleo de acuerdo a las necesidades operacionales que la institución lo requiera.

El beneficio de implementar una herramienta especial, es para la inspección segura y oportuna de los conductos gas-aire del motor TB3-117BM, para realizar tareas de mantenimiento programadas y no programadas de los mismos.

Esto se verá reflejado en el cumplimiento de acuerdo a la carta tecnológica N.- 308 del manual de mantenimiento del helicóptero MI-171, evitando que la aeronave quede fuera de servicio por tiempos prolongados, lo cual afecta a las diferentes misiones de vuelo que la aeronave debe cumplir dentro del territorio nacional.

Será de suma importancia e indispensable la implementación de esta herramienta, en vista de que los helicópteros MI-171, se encuentran operando en el país desde el año 1996, y desde entonces, varias de las herramientas o equipos especiales que llegaron conjuntamente con el helicóptero ya están obsoletas e inoperables, debido al constante uso; la herramienta en mención no consta ilustrado en el manual de mantenimiento del fabricante de la aeronave como parte de la misma. Por lo tanto, el aporte de este proyecto representa un ahorro considerable en el presupuesto asignado para el mantenimiento de las aeronaves y estos recursos pueden ser empleados para solventar otras necesidades de la Brigada de Aviación del Ejército N.º 15 “PAQUISHA”.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Realizar el lavado y la emulsión del conducto gas-aire del motor TB3-117BM del helicóptero ruso MI171, mediante la utilización de herramienta especial, para mantener la operatividad de las aeronaves y reducir costos de mantenimiento para la Brigada de Aviación Del Ejército N. ° 15 “PAQUISHA”

1.4.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información técnica necesaria, para realizar tareas de mantenimiento referentes a la inspección de los conductos gas-aire del motor TB3-117BM del helicóptero MI-171.
- Implementar herramienta especial para optimizar los procesos de una inspección segura y oportuna de los conductos gas-aire del motor TB3-117BM
- Realizar la tarea de mantenimiento de acuerdo a la carta tecnológica N.- 308 del helicóptero ruso MI171 con la herramienta implementada.

1.5 Alcance

Mediante la ejecución del presente proyecto se busca implementar una herramienta especial, que permita realizar la inspección de los conductos gas-aire del motor TB3-117BM del helicóptero MI-171, y de esta manera permita reducir en gran medida el tiempo empleado para realizar las tareas, e incrementar las medidas de seguridad y optimizar el uso de recursos humanos y materiales, ya que mediante el uso de herramientas especiales adecuadas para la ejecución de las tareas de mantenimiento permiten mantener la operabilidad de las aeronaves, y no generar pérdidas económicas por mantenerlas fuera de servicio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción general del helicóptero MI 171.

2.1.1 Generalidades.

El helicóptero es de fabricación Rusa y fue diseñado para transporte de carga y pasajeros. Está equipado con dos motores turbo-eje TB3-117BM y un motor auxiliar AI-9V para arrancar los motores principales, su capacidad de carga interna o externa es de 4000 Kg. Puede llevar hasta 27 pasajeros con un peso de 100 Kg.



Figura 1. Helicóptero MI 171
Fuente: (MI 171, 1996)

2.1.2 Características

Tabla 1

Características del helicóptero MI 171

Descripción	Especificación
Autonomía de vuelo	03:15 h.
Autonomía con tanques auxiliares	05:30 h.
Techo practico con peso normal de decolage	6000 m.
Techo con peso máximo de decolage	4800 m.
Condiciones de operación	De -50 a 50 °C

CONTINÚA



Peso del helicóptero con combustible y lubricantes	7200 kg.
Peso del helicóptero vacío	7.140 Kg. / 7.070 Kg.
Posee dos motores TB3-117BM	Con 2200 HP
Capacidad de carga interna o externa	4000 kg.
Peso nominal de despegue	11100 kg.
Peso máximo de despegue	13000

Fuente: (MI 171, 1996)

2.2 Diseño y construcción

2.2.1 Fuselaje

El fuselaje consiste de cuatro secciones principales, la sección de nariz con asientos para un piloto, un copiloto, y un ingeniero de vuelo. La sección central con asientos para 24 pasajeros plegables o para carga interna con un volumen de 23 metros cúbicos.

El botador de cola que soporta el eje del rotor de cola y el pión que soporta la caja intermedia o de 45°, el reductor de cola o caja de 90° y el rotor de cola.

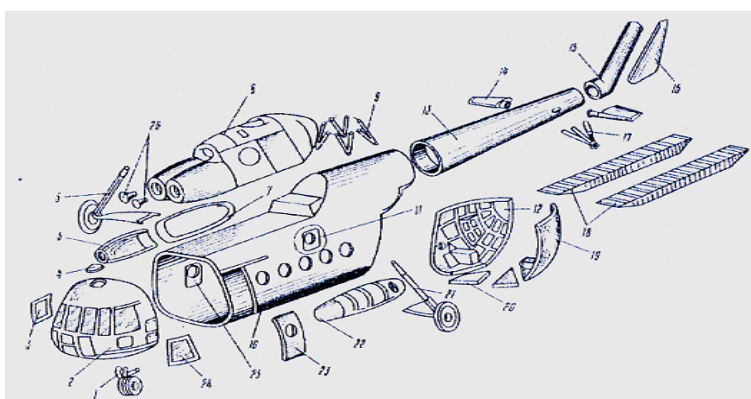


Figura 2. Fuselaje central

Fuente: (MI 171, 1996)

El fuselaje es la base o soporte sobre el cual se fijan todos los equipos e instrumentos del helicóptero, en el están los equipos, de tripulación y la carga útil. El fuselaje es totalmente metálico semi monocasco irregular de sección variada, que está compuesto de una carcasa elaborada de revestimiento de duraluminio y nudos de fuerza. La carcasa del fuselaje y el revestimiento están unidos por remaches.

2.2.2 Tren de aterrizaje

El tren de aterrizaje es de tipo triciclo, cuyo tren de nariz tiene su amortiguador, eje y dos llantas. El tren principal está formado por dos amortiguadores con cámara de alta y baja presión. Este sistema de tren asegura el rodaje y protege la resonancia en tierra, puede despegar o aterrizar como avión o verticalmente.



Figura 3. Tren de aterrizaje
Fuente: (MI 171, 1996)

2.2.3 Palas y rotores

Tiene el sistema denominado monorotor, completamente articulado que consta de un cubo con 5 palas, estas a su vez están aseguradas al cubo mediante 5 articulaciones horizontales, verticales, axiales y amortiguadores hidráulicos, además consta de un cubo de rotor de cola con tres palas, para compensar la reacción del torque del rotor principal y el control direccional del helicóptero

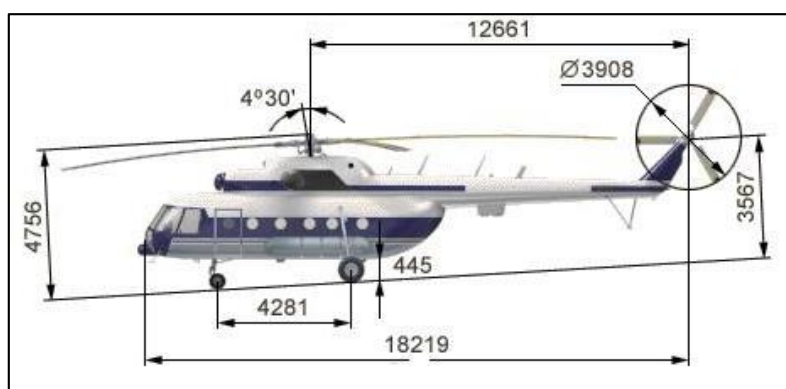


Figura 4. Palas y rotores

Fuente: (MI 171, 1996)

2.2.4 Motor TB3-117BM

Es un motor turboeje con un generador de gas de un solo eje y turbina libre. Se caracteriza por su alto rendimiento y facilidad de mantenimiento con un nivel mínimo de las laborales y el tiempo de ejecución de los trabajos de mantenimiento.

La peculiaridad de la estructura del motor TB3-117BM consiste en que este cuenta con la turbina libre (TL) que no está acoplada cinemáticamente con el rotor del turbocompresor (TC). La potencia desarrollada por la turbina libre se transmite al reductor principal y constituye la potencia efectiva del motor.

Los motores derecho e izquierdo de la planta de poder son intercambiables a condición de que sea virado el tubo de escape.

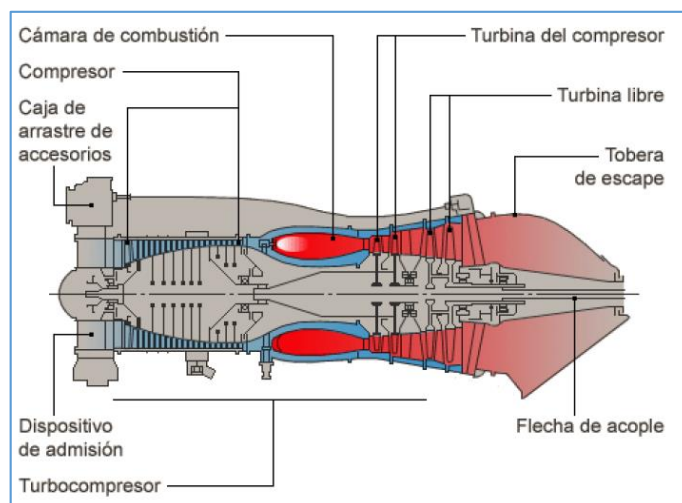


Figura 5. Esquema de un motor TB3 117BM
Fuente: (Benavides, 2017)

2.3 Principio de trabajo del motor

El aire de la atmósfera es absorbido a través del dispositivo de admisión del helicóptero por el compresor axial de doce etapas. Al pasar por el canal del compresor, el aire es paulatinamente comprimido y entra a la cámara de combustión.

En la cámara de combustión el combustible es inyectado ininterrumpidamente por 12 inyectores de combustible. El combustible es totalmente quemado con un pequeño exceso de aire, lo cual proporciona una llama continua y una alta temperatura en la zona de combustión. De la cámara de combustión el flujo de gases con alta temperatura y presión incrementada ingresa a las turbinas del motor.

En los álabes de las toberas de la turbina del compresor la energía del flujo de gas es parcialmente convertida en energía cinética de los gases. (Benavides, 2017)

En los álabes móviles de la turbina del compresor la energía de los gases es convertida en trabajo mecánico, transmitido al eje de la turbina del compresor en forma de momento de torsión y para impulsar el eje del compresor, la caja de accesorios y la bomba de aceite.

La parte restante de la energía del flujo de gases es convertida de forma similar en los álabes de tobera de la turbina libre en energía cinética. Esta energía es convertida en trabajo mecánico y transmitido al eje, donde genera el momento de torque para la transmisión principal y el giro de los ejes de los rotores principal y de cola, para el arrastre de los componentes, instalados en la transmisión. (Benavides, 2017)

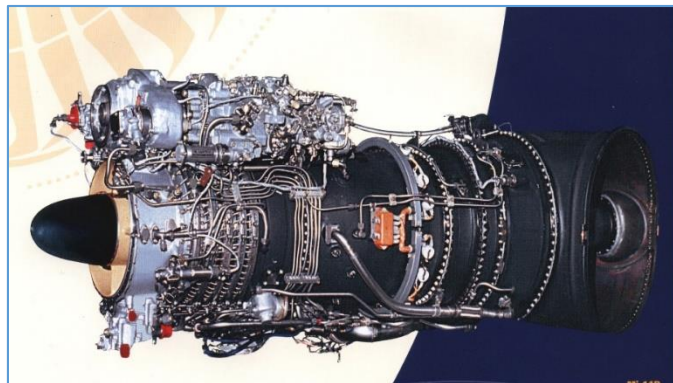


Figura 6. Motor TB3 117BM

Fuente: (MI 171, 1996)

El motor consta de los siguientes conjuntos:

- Compresor de 12 etapas
- Cámara de combustión anular.
- Turbina del compresor (2 etapas).
- Turbina libre (2 etapas).
- Dispositivo de salida de gases.

2.3.1 Transmisión a los rotores.

La conexión de los motores con la transmisión principal se lleva a cabo por medio de una unidad especial y el embrague de rueda libre, el cual permite la autorrotación del rotor principal y del rotor de cola en casos de falla o bloqueo de los motores.

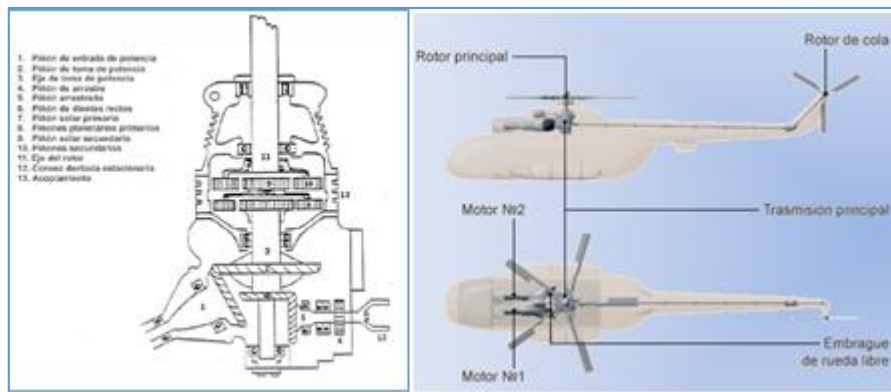


Figura 7. Eje de transmisión
 Fuente: (MI 171, 1996)

Las r.p.m. de la turbina libre del rotor principal en los regímenes operativos se mantiene constante por la unidad de control de combustible (FCU) variando la cantidad de combustible suministrado a la cámara de combustión.

De tal manera, en caso de aumento espontáneo de las rpm del rotor principal el regulador disminuye el suministro de combustible, lo que conduce a la disminución de la temperatura de los gases a la entrada de la turbina del compresor, la disminución de las rpm del turbocompresor y la disminución de la potencia, desarrollada por la turbina libre. Con esto las rpm del rotor principal regresan al nivel establecido.

2.3.2. Conjuntos principales del motor TB3 117BM

a) Compresor.

El compresor es axial de 12 etapas con los alabes guías de entrada (AGE) y alabes guías (AG) de las primeras cuatro etapas orientables sirve para comprimir el aire procedente de la atmósfera y suministrarlo a la cámara de combustión del motor, este proceso se produce con la ayuda de servo hidráulico que se encuentra ubicado en la parte inferior del compresor axial del motor.

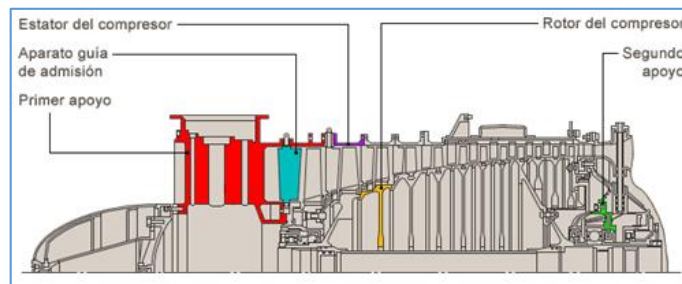


Figura 8. Compresor del motor TB3 117BM

Fuente: (MI 171, 1996)

Los conjuntos principales del compresor son:

- Conjunto de los alabes guías de entrada.
- Estator y rotor (12 etapas).
- Primer soporte y segundo soporte.

b) Cámara de combustión

La cámara de combustión del motor TV3-117VM es de tipo anular, de flujo directo, compuesta por los cuerpos externo e interno del difusor, el tubo de llamas y el colector de combustible con 12 inyectores de 2 canales. En la cámara de combustión se encuentran instaladas dos bujías de ignición.

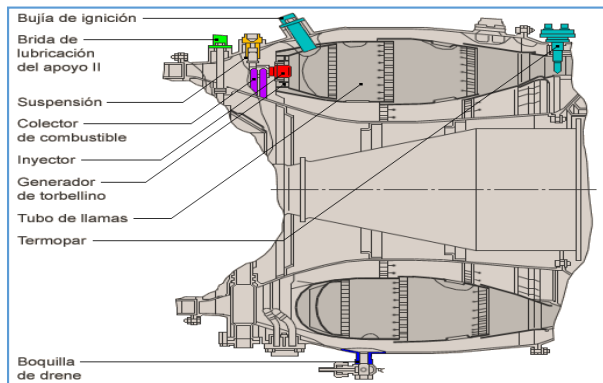


Figura 9. Cámara de combustión

Fuente: (MI 171, 1996)

A la zona de combustión del tubo de llamas el aire ingresa por orificios situados en el carenado externo, así como a través de 12 generadores de torbellino, en los cuales van instalados anillos móviles para la compensación de la dilatación térmica del tubo de llamas.

En el cuerpo externo de la cámara de combustión van instaladas bridas y boquillas para diversas finalidades.

c) Turbina del compresor.

La turbina del compresor es axial, de dos etapas, y sirve para el accionamiento del compresor y de las unidades del motor.

En esta sección encontramos ubicado el tercer soporte del motor

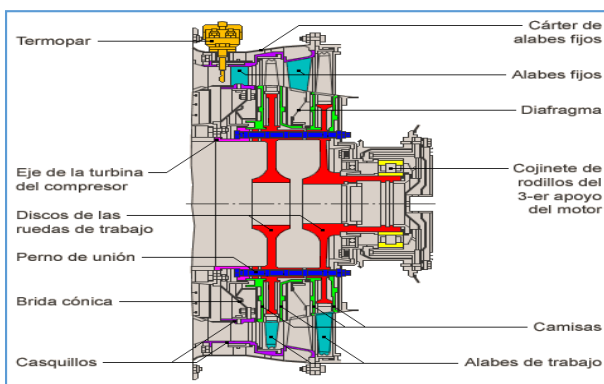


Figura 10. Turbina del compresor

Fuente: (MI 171, 1996)

d) Turbina libre

La turbina libre de tipo axial de dos etapas genera potencia, en la cual la segunda gira a una velocidad casi constante, independientemente de los ejes de los rotores principales y de cola, mientras que la primera tiene su propio engranaje reductor.

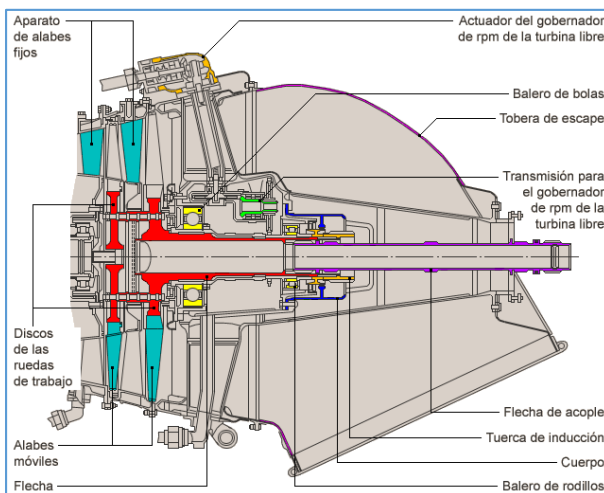


Figura 11. Turbina libre

Fuente: (MI 171, 1996)

La principal ventaja de la turbina libre es que reduce la carga de par motor durante el arranque del motor, puesto que no es necesario mover Los rotores y los engranajes reductores, sino únicamente la turbina y el compresor.

La turbina libre consta con un rotor, dos aparatos de tobera y dos apoyos de rotor (los apoyos cuatro y cinco del motor)

El rotor de la turbina libre es cantiléver, de dos apoyos, consta de dos discos impulsores con álabes móviles y un eje. En el estator de la turbina se encuentran varias boquillas y bridas operacionales.

e) Dispositivo de escape.

El dispositivo de escape sirve para descargar el gas usado a la atmosfera, a la derecha o a la izquierda, en función del montaje del motor según la variante derecha o izquierda.

Cuerpo del cuarto y quinto soporte.

f) Tubo de escape.

Abrazadera de acoplamiento.

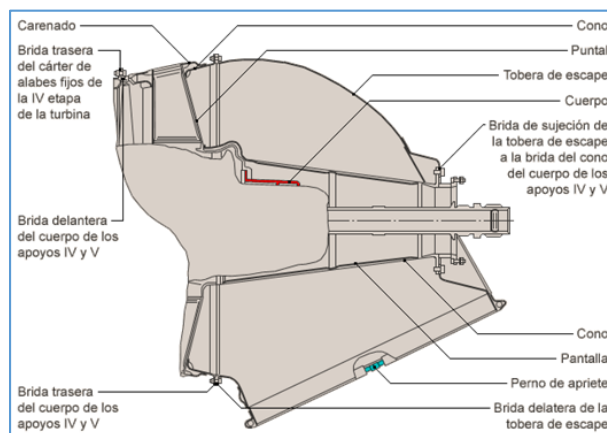


Figura 12. Dispositivo de escape

Fuente: (MI 171, 1996)

2.4 Principio de funcionamiento de un compresor.

La función del compresor en un motor de turbina de gas es suministrar la correcta cantidad de aire al combustible, y suministrarla con la correcta presión y velocidad.

El principio básico de todos los compresores usados en los motores de turbina de gas es el mismo. El compresor convierte la energía mecánica de la turbina en energía cinética en el aire. El compresor acelera al aire, que luego fluye a través de un difusor, el cual le reduce la velocidad y convierte la mayoría de la energía cinética (velocidad) en energía potencial (presión) y alguna en calor. (A.G.Rivas, 2003)

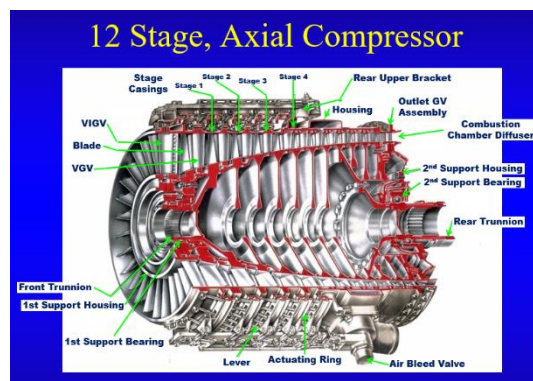


Figura 13. Compresor

Fuente: (MI 171, 1996)

La mayor parte del aire fluye desde el compresor hacia dentro de la sección de combustión, pero parte de él, llamado aire sangrado del compresor, se usa para anti-hielo de los conductos de entrada y para refrigerar piezas de la sección caliente. Otra parte del aire de sangrado se usa para la presurización de cabina, el aire acondicionado, antihielo del combustible, y arranque neumático de motores.

2.4.1 Compresores de Flujo Axial

Los compresores de flujo axial son como su nombre implica, compresores en los que el aire pasa axialmente o derecho a través del compresor. Son más pesados que el compresor centrífugo y mucho más costosos de fabricar, pero son capaces de una relación de compresión mucho más alta, y tienen una sección transversal más pequeña que les hace ser más fáciles de aerodinamizar. Por lo tanto los compresores de flujo axial se han llegado a estandarizar para los grandes motores de turbina de gas y se usan también en muchos motores pequeños. (Rivas, 2003)

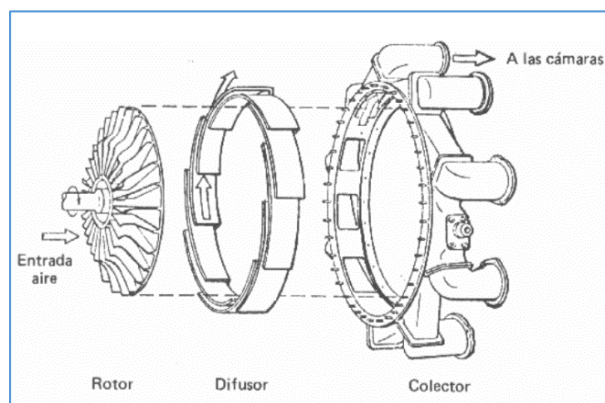


Figura 14. Compresor axial

Fuente: (Rivas, 2003)

Un compresor de flujo axial puede tener desde dos etapas, cuando se usa en conjunción con un compresor centrífugo, o hasta 18 etapas en algunos de los grandes motores turbofanés de doble compresor. Los motores de flujo axial tienen compresores que están contruidos de varios materiales diferentes dependiendo de la carga y temperatura bajo las cuales la unidad debe operar. (Rivas, 2003)

Los compresores de flujo axial están constituidos de un número de etapas de álabes rotatorios que son arrastradas por la turbina, y que giran entre las etapas de álabes estatores o fijos. Ambos, los álabes rotatorios o de rotor y los álabes de estátor o fijos, tienen formas de perfiles aerodinámicos y están montados de manera que forman una serie de pasos divergentes a través de los cuales el aire fluye en una dirección axial al eje de rotación. A diferencia de una turbina que también emplea álabes de rotor y álabes fijos de estátor, el camino del flujo de un compresor axial disminuye en área de sección transversal en la dirección del flujo, reduciendo el volumen del aire a medida que progresa la compresión de escalón a escalón y manteniendo constante la velocidad axial del aire a medida que la densidad aumenta a lo largo de toda la longitud del compresor. (Rivas, 2003)

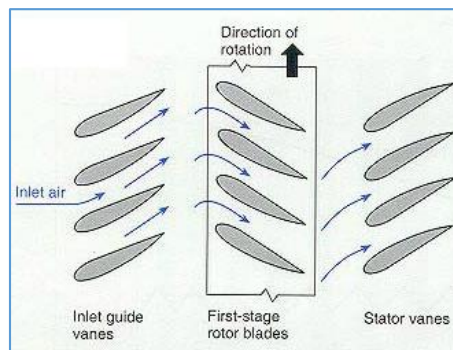


Figura 15. Alabes
Fuente: (Rivas, 2003)

Algunos compresores tienen una fila adicional de álabes de estátor conocida como álabes guías de entrada para guiar el aire haciéndole incidir sobre la primera fila de álabes rotatorios con el ángulo correcto. Estos álabes fijos de entrada originan un muy ligero incremento en la velocidad del aire y una correspondientemente pequeña disminución en la presión del aire. (Rivas, 2003)

2.4.2 Compresores de Flujo centrífugo.

Un compresor centrífugo se caracteriza por su flujo de descarga radial. El aire se aspira al centro de un rodete giratorio con hojas radiales y las fuerzas centrífugas lo empujan hacia el perímetro del rodete. El movimiento radial del aire produce de manera simultánea un aumento de presión y genera energía cinética. Antes de dirigir el aire hacia el centro del rodete de la siguiente etapa del compresor, pasa a través de un difusor y una voluta donde la energía cinética se convierte en presión. (copco, 2019)

Cada etapa ocupa una parte del aumento de presión general de la unidad del compresor. En la maquinaria industrial, la relación de presiones máxima de una etapa de compresor centrífugo no suele ser superior a 3. Las relaciones de presión más altas reducen la eficiencia de la etapa. Se utilizan aplicaciones de baja presión y una sola etapa, por ejemplo, en plantas de tratamiento de aguas residuales. Las aplicaciones multietapa ofrecen la posibilidad de interrefrigeración para reducir los requisitos de potencia. Se pueden organizar varias etapas en serie sobre un único eje de baja velocidad. Este concepto se utiliza a menudo en el sector del petróleo y el gas o en el de procesos. (copco, 2019)

Aunque la relación de presiones por etapa es baja, se utilizan numerosas etapas o conjuntos de múltiples compresores en serie para alcanzar la presión de salida deseada. Para aplicaciones de compresión de aire, se integra una caja de engranajes de alta velocidad con las etapas del compresor para girar los rodetes de piñones de alta velocidad. (copco, 2019)

El rodete puede tener un diseño abierto o cerrado. El diseño abierto se utiliza más a menudo para aplicaciones de aire de alta velocidad. El rodete se compone normalmente de una aleación especial de acero inoxidable o aluminio. La velocidad del eje del rodete es muy alta en comparación con la de otros tipos de compresores. (copco, 2019)

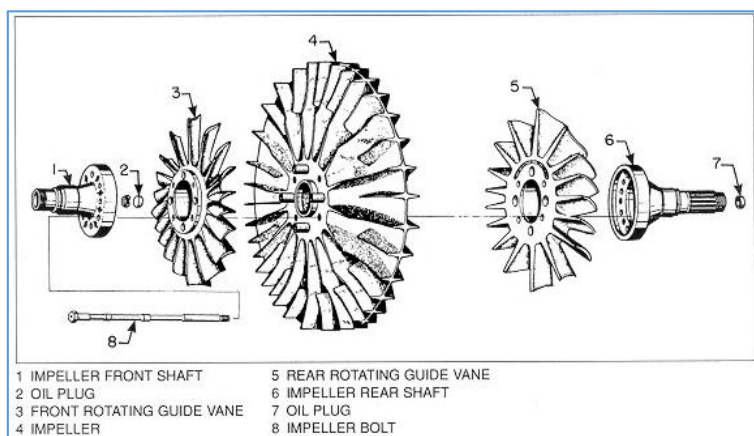


Figura 16. Compresor centrífugo
Fuente (Rivas, 2003)

Las velocidades de 15 000-100 000 rpm son habituales. Esto significa que el eje o el piñón del compresor de alta velocidad utilizan rodamientos con película de aceite comunes en lugar de rodamientos de rodillos. Alternativamente, se pueden utilizar rodamientos con película de aire o rodamientos magnéticos activos para una máquina totalmente exenta de aceite. Hay dos rodetes montados en cada extremo del mismo eje para contrarrestar las cargas axiales causadas por las diferencias de presión. Normalmente se utilizan 2 o 3 etapas con refrigeradores intermedios para aplicaciones estándar de aire comprimido. (copco, 2019)

En una configuración moderna del compresor de aire centrífugo, se utilizan motores eléctricos de ultra alta velocidad para accionar los rodetes directamente. Esta tecnología crea un compresor compacto sin caja de engranajes y un sistema de lubricación por aceite asociado, lo que lo convierte en un diseño de compresor exento de aceite por completo. Cada compresor centrífugo se debe sellar de manera adecuada para reducir las fugas a lo largo del eje a través de la carcasa del compresor. Se utilizan muchos tipos de retenes, y los más avanzados se pueden encontrar en compresores de alta velocidad diseñados para altas presiones. Los tipos más comunes son los retenes de laberinto, los retenes de anillo o de separación controlada (generalmente, retenes de grafito) y los retenes mecánicos. (copco, 2019)

2.5 Mantenimiento

El mantenimiento aeronáutico consiste básicamente en una serie de inspecciones periódicas que deben realizarse en todas las aeronaves, transcurrido un tiempo específico o después de un uso específico. Las compañías aéreas y otros operadores comerciales de aeronaves se rigen por un programa de inspección continua aprobado por la EASA y por la FAA. (itaerea, 2020)



Figura 17. Mantenimiento aeronáutico

Los intervalos de tiempo estipulados entre las diferentes inspecciones de mantenimiento dependen tanto del fabricante de la aeronave como del operador de la misma. Estas revisiones dependen normalmente del número total de horas de vuelo de la aeronave y del número de ciclos de la aeronave (número de aterrizajes). (itaerea, 2020)

2.5.1 Tipos de mantenimiento

Mantenimiento no programado: Mantenimiento que se realiza en el momento en que se detecta un fallo que pone en peligro la aeronavegabilidad de la aeronave.

Mantenimiento programado: La que se lleva a cabo sobre la base del seguimiento de un plan determinado de revisiones y piezas de recambio, cuyo objetivo es la conservación de la aeronavegabilidad de la aeronave y el restablecimiento del nivel de fiabilidad especificado. (itaerea, 2020)

2.5.2 Lavado de compresores

El lavado de compresores se realiza en cada inspección o mantenimiento programado como también en los no programados de acuerdo al ambiente en el que operen las aeronaves, esta es la mejor manera de remover los depósitos de suciedad y es el método especificado por los fabricantes de turbinas. Este consiste en inyectar un fluido de limpieza en el compresor para restaurar el rendimiento. El lavado también detiene el progreso de corrosión que puede picar los álabes y contribuir a mayor ensuciamiento. (renovetec, 2019)

El ensuciamiento, sin embargo, es causa de diferentes sustancias usualmente pegajosas, que cuando se someten a altas temperaturas se vuelven aún más resistentes a la limpieza y duras de remover. Para superar esto, se deben utilizar químicos de limpieza aprobados. (renovetec, 2019)

El ardrex 6367 ha sido especialmente diseñado para desintegrar y eliminar la suciedad del compresor, mientras cumple con los estrictos requisitos de los fabricantes originales del equipo. Incluso en bajas temperaturas o cortos periodos de contacto, restauran efectivamente cualquier compresor a una condición original.

Este producto extrae toda impureza del compresor, no deja restantes después del enjuague ni residuos pegajosos cuando se evaporan, haciéndolos ideales para el lavado en línea y fuera de línea. También hacen que el lavado sea seguro para el equipo, el operador y el ambiente. (renovetec, 2019)

2.5.3 Periodicidades del lavado del compresor

La limpieza de la vena de aire debe hacerse frecuentemente para evitar que la capa de suciedad se fije y que sea muy difícil de eliminar sin su desmontaje completo del motor, la periodicidad definida más adelante, puede ser modificada en función de las condiciones de utilización.

Tabla 2

Periodicidades del lavado del compresor.

CONDICIONES	LAVADO	LIMPIEZA
Atmosfera salina y corrosiva severa.	Después del último vuelo	150 h. u 1 vez por mes del día.
Atmosfera salina y corrosiva severa más contaminación. (Niebla y Humo)	Después del último vuelo del día.	50 h. u 1 vez por mes
Atmosfera normal.		150 h. u 1 vez por mes
Atmosfera contaminada. (Niebla o Humo)		50 h. u 1 vez por mes

2.5.4 Métodos de lavado

a) Lavado Fuera de Línea

El lavado fuera de línea se lleva a cabo con la turbina de gas en estado frío, inyectando la solución de limpieza al compresor mientras se hace girar a la velocidad de arranque. Una vez los químicos son inyectados en el compresor, se apaga la turbina de gas y se le permite detenerse, se deja en remojo de 20 a 30 minutos, antes de enjuagar completamente con agua desmineralizada. (renovetec, 2019)

El mayor inconveniente es el tiempo que la turbina debe permanecer fuera de operación para permitir el enfriamiento y la preparación para el lavado. La eficacia de este tipo de lavado es muy alta y la recuperación de potencia es cercana al nivel original o el nivel alcanzado después de un mantenimiento mayor. La frecuencia del lavado fuera de línea es una proposición más compleja y dependerá de lo siguiente:

- Cantidad y tipo de Contaminantes en el Suministro de Aire.
- Nivel de Degradación de la Potencia aceptable para el usuario.
- Restricciones de Tiempo debido a la demanda por disponibilidad.
- Nivel de Filtración del Aire empleado.

La potencia total puede ser difícil de recuperar cuando un ensuciamiento significativo ha tenido lugar, por lo que recomendamos un lavado regular para prevenir la acumulación de depósitos de suciedad y mantener el rendimiento. (renovetec, 2019)

b) Lavado en Línea

Consiste en la atomización regularmente, de una solución de limpieza en el compresor, mientras corre a velocidad de operación. Las altas temperaturas de operación de los compresores, las altas fuerzas centrífugas en el líquido inyectado y el corto tiempo de contacto de la solución de lavado con la suciedad, limitan la efectividad de este método.

El fluido de limpieza, sin embargo, alcanzará los álabes guía en la entrada del compresor y los de la primera etapa, lo que resultará en recuperación de potencia. Esto mejora la disponibilidad al reducir la tasa de pérdida de producción y prolongar el tiempo entre lavados fuera de línea. Usar un detergente adecuado mejorará la capacidad de mojado de la solución de limpieza, el contacto con la suciedad y a la vez el efecto de limpieza, y además reduciendo la cantidad de líquido requerido por lavado.

Estas variables implican que no hay un procedimiento de lavado universal. El mejor régimen de lavado en línea y fuera de línea se desarrolla usualmente a través de la experiencia y deber ser específico para cada compresor. (renovetec, 2019)

2.5.5 Tipos de suciedad

a) Hidrocarburos

Los peores problemas de ensuciamiento son causados por mezclas de líquidos y aceites ó hidrocarburos generalmente, que se depositan en los álabes y forman una capa aceitosa que captura material compuesto por partículas. Esto puede ser causa de los gases de combustión emitidos por las turbinas y puede ser particularmente severo si se utiliza combustibles menos limpios como el crudo. Los escapes de aceites son otro problema mayor, incluso el humo de otras industrias, ciudades y vehículos contribuyen a la contaminación. (renovetec, 2019)



Figura 18. Depósito de grasa en alabes
Fuente (HOMJI, 2009)

b) Agua salada

Al ingresar en el compresor, el aire se calienta y la humedad del aire se evapora, dejando sal y elementos disueltos que se depositan en los álabes. Cuando se exponen a las altas temperaturas de operación dentro del compresor, estos depósitos se pueden adherir firmemente a la superficie del compresor.

La sal también causa corrosión y oxidación, por lo que se debe remover sin demora. Este es un problema significativo en zonas costeras y marinas. (renovetec, 2019)

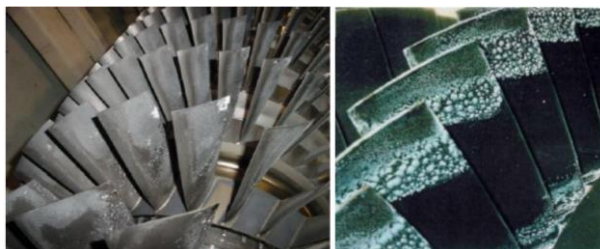


Figura 19. Sal cristalizada en alabes
Fuente (HOMJI, 2009)

c) Otras causas

El polvo y la arena generalmente causan erosión y pueden conducir al ensuciamiento cuando se combina con otros elementos como vapores de aceites. La atmósfera contiene otros numerosos contaminantes incluyendo químicos usados en cultivos, esporas de las plantas, insectos y smog. Incluso algunos de los aditivos de los productos de limpieza, si no se enjuagan adecuadamente, pueden contribuir al ensuciamiento. (renovetec, 2019)

2.6 Equipo para el lavado de compresores

El equipo lavador de compresores consta de dos sistemas distintos de trabajo los cuales están denominados según la función que cumplen y son:

- Sistema de Lavado.
- Sistema de Enjuague.

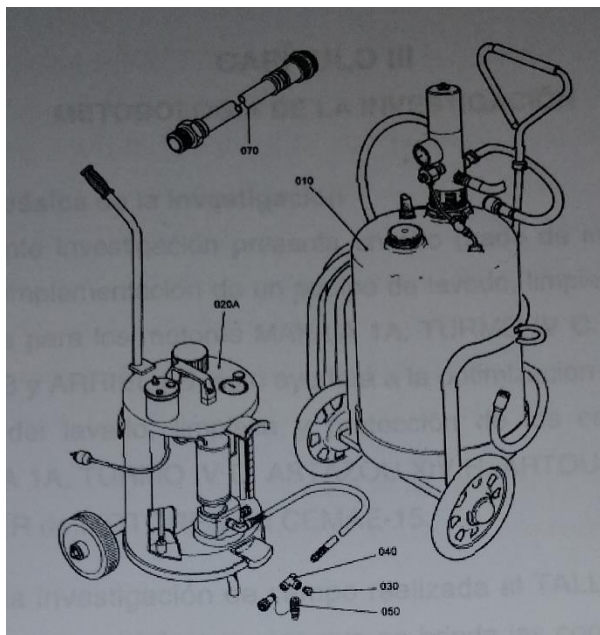


Figura 20. Lavador de compresores

2.6.1 Sistema de lavado

Este sistema es el que contiene la solución limpiadora, la cual se opta con la autorización de la casa fabricante de estos motores, estas especificaciones se encuentran detallada en la carta de tarea N° 308 del manual de empleo técnico “lavado, limpieza y protección de los compresores”, también depende del medio ambiente y el tipo de operación que va a realizar el helicóptero. En el caso específico del taller de motores del CEMAE-15, se utiliza el producto llamado ARDROX 6367. (Ver anexos A Y B)

El ardrex 6367 se diluye con agua desmineralizada en la proporción de 150 mml de ARDROX 6367 a 10 litros de agua, la presión y el flujo dependerá de motor, tipo y nivel de ensuciamiento.

Este sistema está compuesto por un reservorio cilíndrico vertical, una válvula para el llenado de aire, un manómetro, una válvula para la salida de líquido a presión, una válvula

para la descarga de aire, y todo interconectado por una tubería flexible.

2.6.2 Sistema de enjuague

Para este sistema de enjuague se utiliza agua desmineralizada o agua potable de acuerdo a las especificación de la casa fabricante, este agente se inyecta al motor una vez realizado el proceso de limpieza, y sirve para retirar los residuos del agente limpiador.

El sistema de enjuague consta de un reservorio cilíndrico vertical, una válvula para llenado de aire, un manómetro, una válvula para la salida del líquido a presión, una válvula para la descarga de aire, y todo interconectado por tubería flexible.

2.6.3 Principales componentes del equipo de lavado de compresores

Las partes que componen el equipo de lavado de compresores son las siguientes:

a. Reservorios o depósitos

Almacena aire comprimido para suministrarlo en los momentos de mayor consumo, además garantiza un caudal constante. Generalmente el acumulador lleva un sensor de presión, que activará el compresor cuando la presión disminuya hasta un cierto límite y que lo desconectará cuando la presión aumente. (villalva, 2009)

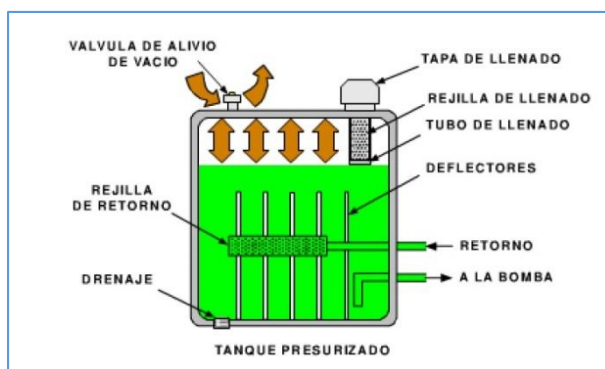


Figura 21. Deposito

b. Elementos de regulación y control

La presión y el caudal del aire comprimido, que se va a utilizar para el movimiento de las partes operativas o motrices del equipo, va a estar controlado mediante distintos tipos de válvulas. (IESVillalba, 2005)



Figura 22. Válvula de seguridad
Fuente (ECUACOMEX, 2020)

- **Válvulas de regulación de presión y caudal:** regulan y estabilizan la presión y caudal del flujo.
- **Regulador o limitador de presión** Se encarga de que la compresión en el circuito se mantenga por debajo de un cierto límite y a presión constante. Dispone de una válvula de escape que libera aire cuando la presión aumenta. (IESVillalba, 2005)

c. Manómetros.

El principio de funcionamiento de todos los manómetros se basa en la deformación de un elemento sensible en función de la presión y la transmisión de esta deformación a un mecanismo que actúa sobre la aguja indicadora.

El valor de la presión se indica habitualmente en una esfera de 270 ° angular con subdivisiones normalizadas. Los instrumentos llenados con un líquido de amortiguación ofrecen una seguridad añadida contra vibraciones y pulsaciones. Los manómetros se fabrican también con contactos eléctricos que emiten un alarma en un valor de presión previamente ajustado, o un transmisor incorporado con una señal normalizada (4...20 mA, 0...5 V). (KG, 2020)

Manómetros Bourdon

Tienen tubos de sección oval y de forma circular que acogen el medio de medición y se deforman a la medida que estén sometidos a presión. El terminal del muelle produce un movimiento en proporción de la presión y transmite la trayectoria mediante un mecanismo a la aguja. Los muelles de forma circular se utilizan para presiones hasta 60 bar, presiones superiores requieren muelles de forma helicoidal. (KG, 2020)

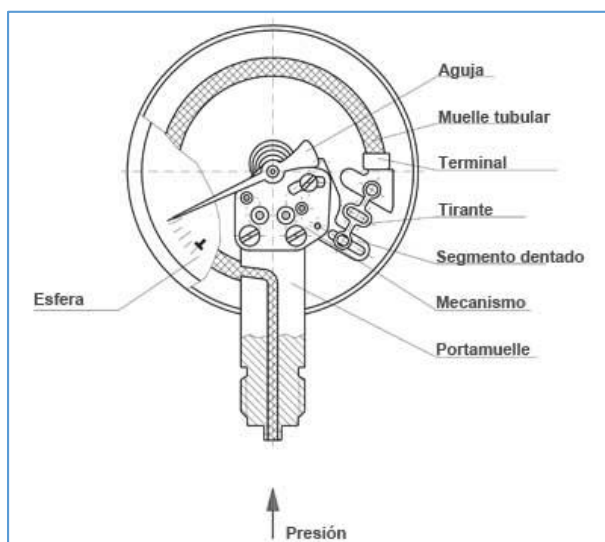


Figura 23. Manómetros Bourdon

Los muelles tubulares no pueden protegerse contra sobrepresiones extremas. Para realizar tareas de medición extremas se debe acoplar un separador. Los rangos de indicación varían entre 0...0,6 y 0...7000 bar con clases de precisión entre 0,1...4,0 %. Este tipo de manómetro es el más habitual en la industria y existe en una gran variedad de ejecuciones en función de su aplicación. (KG, 2020)

Manómetros con membrana.

Las membranas son chapas onduladas de forma circular. La presión empleada sobre un lado de la superficie provoca una deformación cuya trayectoria presenta el volumen de presión del proceso. Del mismo modo como el muelle se traslada este movimiento mediante un mecanismo a la aguja que indica el valor de presión. La ventaja de este sistema reside en la elevada fuerza de regulación muy superior que el muelle tubular y su mayor resistencia contra vibraciones y pulsaciones.

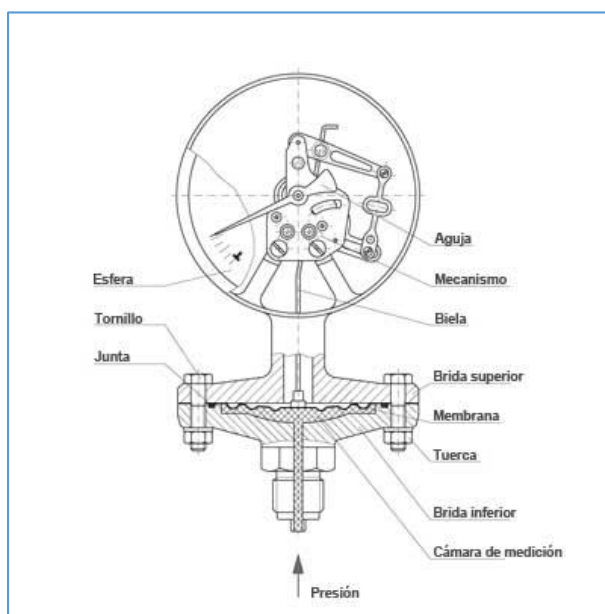


Figura 24. Manómetros con membrana.

Además este sistema ofrece una mayor protección contra sobrecarga dado que la membrana se apoya bajo presión extrema sobre un asiento de la brida superior y dotada de materiales especiales es aplicable también para la medición de medios agresivos. Esta construcción permite también la aplicación con medios viscosos, sucios, cristalizantes o medios con alto contenido de partículas en suspensión.

En estos casos se utiliza conexiones de brida abiertas con taladros de purga. Los rangos varían entre 0...16 mbar y 0...40 bar con clases de protección entre 0,6 hasta 2,5 %. Este tipo de manómetro se encuentra sobre todo en aplicaciones con fuertes golpes de ariete, típicos en los sectores de química y tratamiento de agua. (KG, 2020)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares

En el presente capítulo se pormenoriza los procedimientos para la fabricación y empleo del equipo para lavar los conductos gas-aire de los motores TB3-117BM del helicóptero ruso MI171, en base a los manuales técnicos, a la carta de trabajo N° 308 y al catálogo de herramientas, este proyecto tiene el objetivo de facilitar el trabajo del personal técnico, extender la operatividad de la aeronave y reducir los costos de mantenimiento.

3.1.1 Normas de seguridad para ejecutar un lavado del motor

Para ejecutar tareas de mantenimiento o inspecciones periódicas de los motores o aeronaves, en primer lugar se tomar en cuenta las normas de seguridad ya sea en los talleres, en el hangar o en la plataforma para evitar accidentes o causar daños a los componentes o a las aeronaves.

- Utilizar equipo de protección personal (EPP).
- Respetar la señalética de precaución e identificación.
- Emplear el AMM 72-00-00 del motor TB3 117BM.
- Utilizar la carta de tarea N° 308.
- Manipular diligentemente el equipo para lavar compresores.
- Mantener una limpieza del taller y la herramienta.
- Evitar el ingreso de FOD en el motor.
- Revestir las entradas de las tomas desarticuladas.
- Dar énfasis a los carteles de ATENCIÓN, NOTA, PRECAUCIÓN O PELIGRO.

3.1.2 Herramientas y materiales.

Tabla 3

Herramientas y materiales

HERRAMIENTAS	MATERIALES	
	Consumibles	Expendables
Soldadura Eléctrica	Ardorx 6367	Acople Rápido ¼ MTP Hembra
Taladro Pedestal	Agua desmineralizada	Válvula Bola Italy
Esmeril	Metil-etil-cetona (MEK)	Manómetros 0 - 11 bares
Taladro de mano Eléctrico	Pintura amarilla Caterpillar	Manguera Aire ¼ max 300 psi
Amoladora	Primer	Neplo Hexagonal ¼
Sierra Manual	Electrodos 2 lbs.	Ruedas garrucha 2.5" 70 kg
Calibrador Pie de Rey		Válvula de alivio
Escuadra		
Flexo metro		
Entenalla		

3.2 Análisis de la construcción del equipo

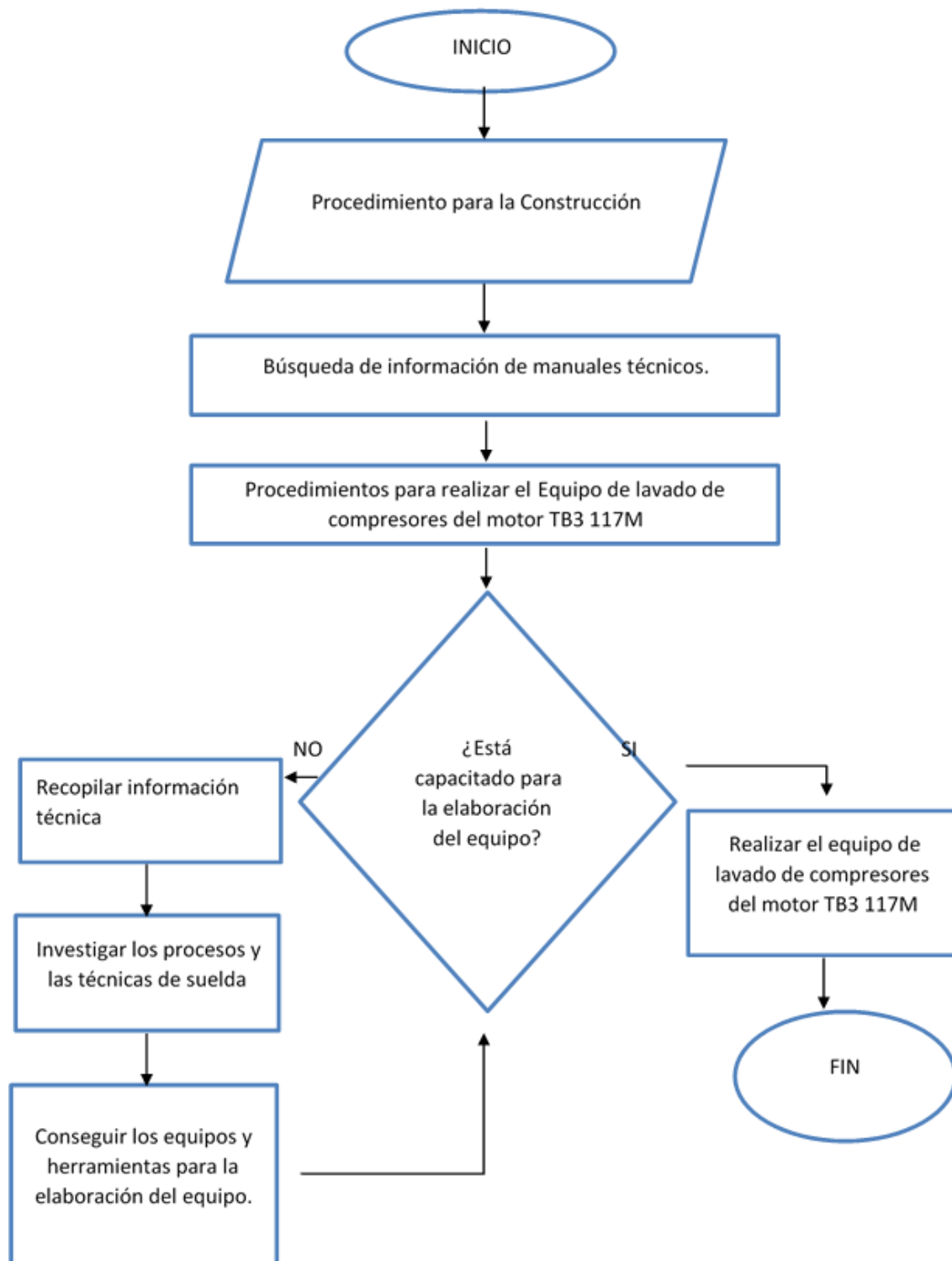


Figura 25. Análisis de la construcción del equipo

3.3 Fabricación de los tanques

El lavador de compresores está construido principalmente por dos reservorios de hierro galvanizado de 5 galones de capacidad cada uno, estos reservorios pertenecen a un sistema diferente, solución limpiadora (ADROX 6367) y solución de enjuague (agua desmineralizada o agua potable) la función de estos tanques es contener la solución correspondiente a cada sistema y acumular aire hasta la presión determinada (presión de trabajo 5 bares).

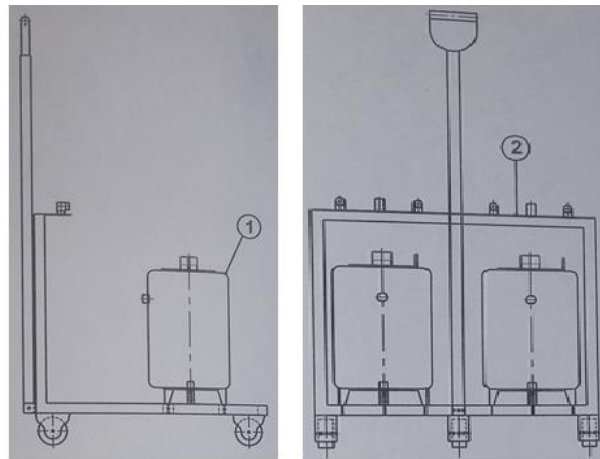


Figura 26. Tanques

Esta presión es aprovechada para que impulse el líquido por la tubería que conecta la maquina con el fuselaje del helicóptero para que luego se traslade por cañerías a la parte interior de los motores hacia los anillos inyectoros que se encuentran instalados en la primera etapa del motor (Toma de Aire) como también se encuentran en la sección del compresor de los mismos, realizando así el proceso de lavado, limpieza y protección de los compresores de los motores.

3.3.1 Tratamiento con líquidos penetrantes a los tanques

Una vez adquirido los tanques se procedió a aplicar NDI para lo cual se utilizó equipos de protección personal y herramientas adecuadas para este trabajo.

Se lijo todo el contorno para retirar impurezas y rebabas con una lijadora neumática, lo cual facilito el trabajo, además de los equipos de protección personal como gafas, protectores de oídos, mascarillas y guantes



Figura 27. Lijado de tanques

Posteriormente se lavó con detergente y agua para luego secar y limpiar íntegramente los tanques con una tela pañal humedecida con metanol, lo que permitirá una correcta aplicación de los tintes penetrantes.



Figura 28. Lavado y limpieza de tanques

Una vez limpio y seco los tanques se ubicaron en una mesa de trabajo libre de polvo para proceder a aplicar uno de los tres líquidos penetrantes que es el limpiador y se dejó secar por 15 minutos.



Figura 29. Aplicación de limpiador

Transcurrido los 15 minutos se aplicó el segundo de los tres líquidos penetrantes que es el penetrador, evitando que se adhiera el polvo en la superficie del tanque y se dejó reposar 15 minutos más.



Figura 30. Aplicación del líquido penetrador

Se aplicó el último de los tres líquidos penetrantes que es el revelador y se dejó reposar 15 minutos, transcurrido este tiempo los tintes no mostraron fisuras o cordones mal soldados en los tanques, nuevamente se procedió a lavar y limpiar los tanques para pintarlos.



Figura 31. Aplicación de debelador

3.3.2 Tratamiento anticorrosivo y pintura de los tanques

Una vez descartado fisuras en los tanques se preparó para dar tratamiento anticorrosivo el cual es una capa de protección que se aplica a una estructura metálica y así alargar su vida útil, también depende de las condiciones o medios en las que van a estar expuestas y de las operación que va realizar para lo cual se lavó, seco y limpio los tanques nuevamente y se trasladó al taller de pinturas.



Figura 32. Limpieza de tanques

En el taller de pinturas se guindó los tanques a un soporte especial y se preparó un litro de pintura anticorrosivo para aplicarlo inmediatamente, verificando la viscosidad de la mezcla la cual depende del porcentaje de diluyente con el que se mezcló, además se tomó en cuenta que exista una buena ventilación en el taller y una adecuada temperatura mayor 20°C lo que permitirá el secado oportuno.



Figura 33. Aplicación del anticorrosivo

Trascurrido una hora se aplicó por segunda vez el anticorrosivo tomando en cuenta las condiciones de ventilación y temperatura dejándolo secar por 24 horas, esto permite una buena adherencia de la pintura que se va aplicar, además se debe tener cuidado con las impurezas porque se adhieren a la estructura y dañan el grado de anclaje que se obtiene con el lijado y limpieza de la superficie.



Figura 34. Secado de tanques

Por último, se preparó y aplico 2 litros de pintura roja industrial de acuerdo al requerimiento del personal de técnicos utilizando un compresor y una pistola de aire, la que fue regulada por el técnico del taller para obtener un pintado uniforme, además se verifico la viscosidad de la pintura que es dada por la mezcla de la resina y endurecedor, en el caso que no tenga la viscosidad necesaria la pintura se correrá pero si se encuentra muy viscosa se formaran grumos, por tal razón se debe preparar una mezcla con la viscosidad adecuada y probarla en otro objeto.



Figura 35. Aplicación de pintura

3.4 Construcción de coche transportador

La construcción del coche transportador se realizó con un tubo de acero al carbono cuadrado de 1 pulgada de ancho, de 2milímetros de espesor y 6 metros de largo.

3.4.1 Corte y suelda de los tubos

Se midió y cortó en cuatro partes de 600mm, dos partes de 580mm, dos más de 550mm, a continuación se cortó dos pedazos más de 100mm donde se encuentran ubicados los reservorios cilíndricos, el acoplamiento de las secciones cortadas del tubo, va dando la forma a un coche para transporta los tanques.



Figura 36. Corte del tubo cuadrado

Luego se procedió a soldar la toda la estructura con suelda eléctrica y con electrodo E60-11, inmediatamente soldado se procedió a soldar las ruedas al coche, a continuación se cortó un pedazo más de 1000mm esto sirvió para hacer la tiradera del equipo y por último se perforaron seis orificios con una broca de 1/8 y por último se perforó con una broca de 1/4 en estas perforaciones va ir sujetados los reservorios cilíndricos.

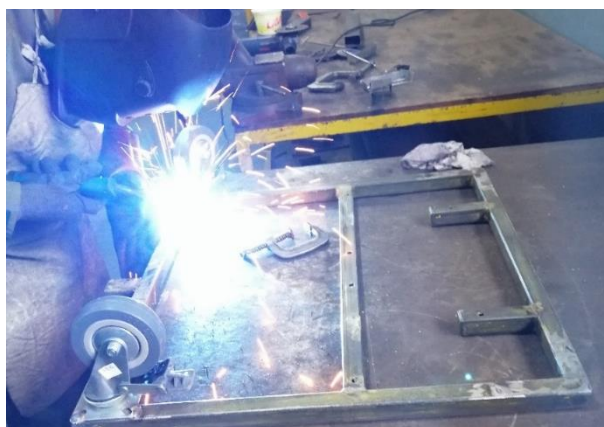


Figura 37. Soladura de ruedas

3.4.2 Tratamiento anticorrosivo y pintura del coche transportador

Pulir toda la estructura soldada utilizando un moladora con disco de pulir para retirar rebabas o chispas de suelda sin asentar mucho porque disminuye las propiedades de la suelda lo que puede ocasionar q se suelten los tunos, una vez verificado la depuración de la estructura, se limpia con alcohol y se seca con tela pañal o un paño absorbente con el fin de que la pintura tenga una buena adherencia a la estructura y evitar que se descascare.



Figura 38. Aplicación del primer.

Cargar el compresor con la presión necesaria para trabajar, lavar la pistola de pintar con líquido diluyente, regular el paso de aire moviendo la boquilla, constatar que la manguera no se encuentre enredada o aplastada, conectar todos los componentes y aplicar la pintura en un objeto diferente para probar su viscosidad y adherencia.

Cargar el contenedor de la pistola con el fondo, mantenerlo batiendo para conservarlo mezclado, utilizar una máscara con filtro para evitar inhalar la pintura pulverizada, así como protectores de oídos y ojos lo que protege del ruido y las salpicaduras.

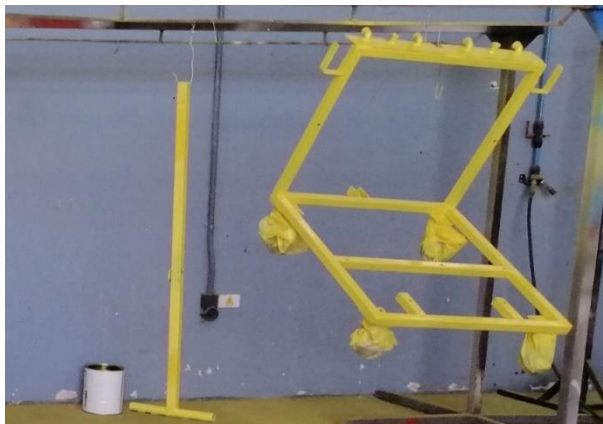


Figura 39. Aplicación de la pintura

Esperar que la pintura se seque en un lugar cubierto para evitar que se moje, libre de polvo para preservar la adherencia cuando se vuelva aplicar otra capa u otro color y con una buena ventilación para que se seque pronto y no sea inhalado por el personal técnico.

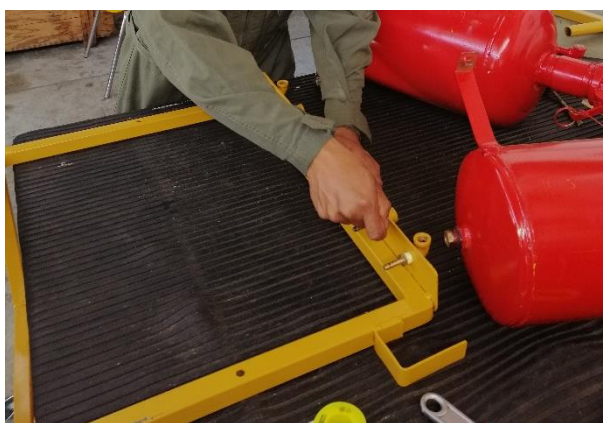


Figura 40. Secado de pintura

3.5 Ensamblaje y señalética

3.5.1 Ensamblaje de equipo de lavado de compresores

Limpiar todos los acoples con desengrasante y alcohol lo que retira impurezas y se recubrió con teflón, el cual sella herméticamente y evita que existan fuga, una vez realizado esto acoplar manualmente hasta que requiera ajustar con una llave o palanca evitando dar demasiado torque loe que dañara el hilo de rosca y aislara el acople.



Figura 41. Colocación de acoples

Colocar los tanques en el coche transportador y asegurar con tornillos tipo mariposa lo que permite el fácil montaje o desmontaje de los mismos, colocar en las uniones de estructura cauchos para amortiguar la fricción entre las mismas al momento de movilizar u operar el equipo, conjuntamente de colocar arandelas auto frenadas lo evitara que los tornillos se aflojen y se salten.



Figura 42. Colocación de tanques

Una vez realizado la calibración de manómetros en el centro de metrología del Ejército, se colocaran manualmente en sus respectivas tomas hasta que requieran ajustar con una llave 9/16, posteriormente suministrar aire con un compresor externo y verificar el funcionamiento y correcta marcación de la presión.



Figura 43. Colocación de manómetros.

3.5.2 Colocación de la señalética en el equipo de lavado

Diseñar la señalética e imprimir en papel adhesivo impermeable para que resista al desgaste y maltrato por el mismo trabajo que realiza en todo tipo de clima y condición, puesto que este equipo debe operar en plataforma durante el corrido y comprobación de parámetros de los motores, además que está expuesto a agentes corrosivos.



Figura 44. Señalética impresa.

Se realizó una limpieza de las partes en las cuales se instalaran las señaléticas con alcohol para retirar todo tipo de impurezas como grasas, aceites, polvo, etc. Para evitar que se levante o dañe porque estas impurezas evitan que se adhiera el papel adhesivo.



Figura 45. Colocación de señalética

3.6 Análisis de la tarea.

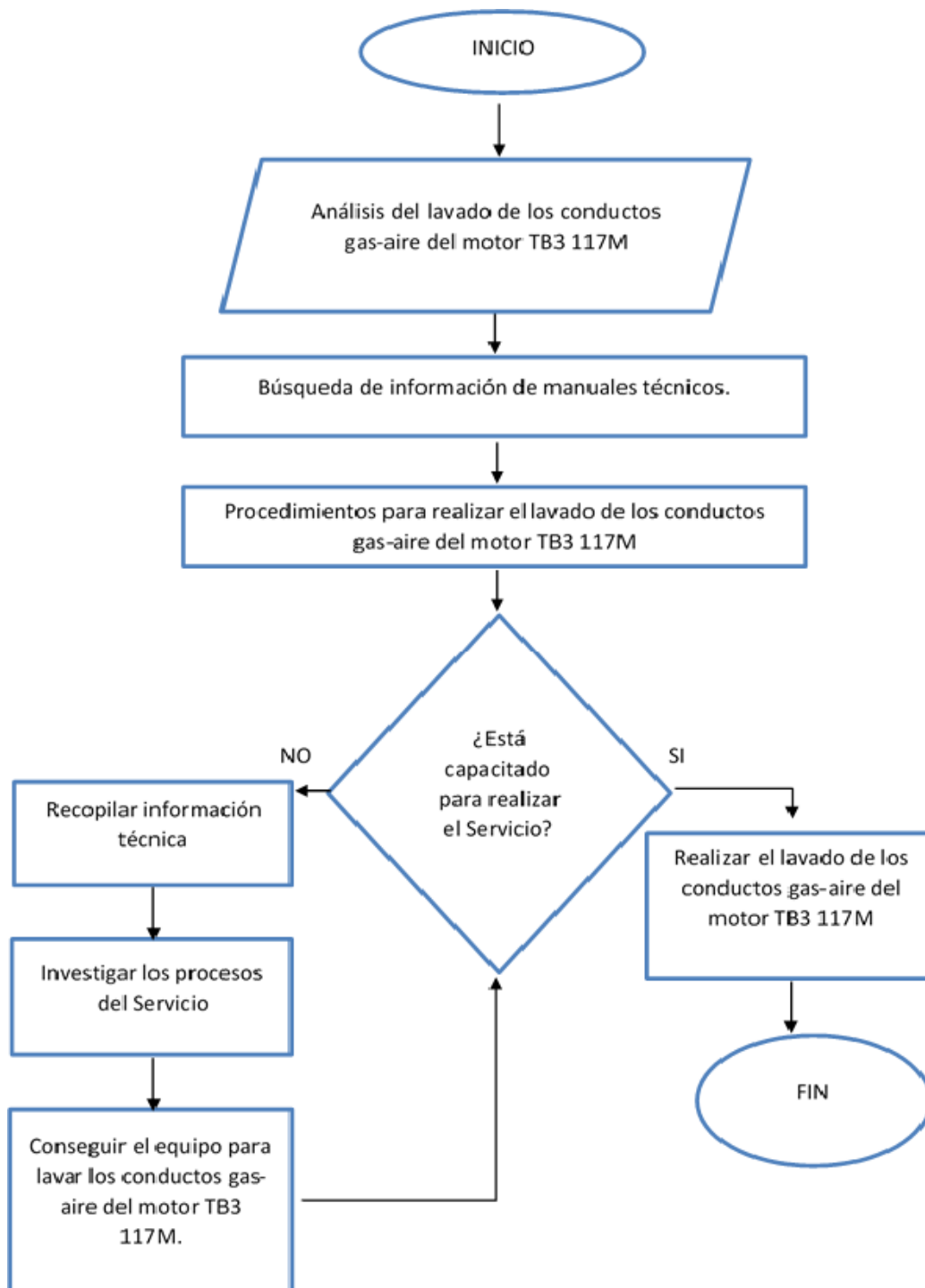


Figura 46. Análisis de la tarea

3.6.1 Operación del equipo de lavado de compresores

Esta herramienta es la fusión de un equipo que lava, limpia y protege la vena de aire, consta de los dos reservorios de hierro galvanizado de 5 galones de capacidad cada uno, estos reservorios son cargados individualmente uno con agua desmineralizada y el otro con la solución limpiadora (ARDROX 6367), la función de estos tanques es contener las soluciones correspondientes para cada uno, luego ser sometidos a la presión indicada (presión de trabajo de 5 bares). Esta presión es aprovechada para impulsar al líquido por las tuberías que conectan al equipo con el motor del helicóptero para que luego se dirija al interior del motor y se desplace por las distintas cañerías y así realizar las operaciones de lavado.

Este producto está diseñado para el lavado de las secciones del compresor, sirve para eliminar impurezas que se encuentran en el interior del compresor como carbono, sales y aceites, para así poder mantener la máxima eficiencia del motor reducir los costos de mantenimiento. (Ver anexo B)

3.6.2 Aplicación de la carta de tarea N° 308

Para aplicar la carta de trabajo N° 308, la cual dispone el lavado de compresores de los motores TB3-117BM del helicóptero MI171 se lo realizó en el Centro de Mantenimiento de la Aviación del Ejército mediante orden de trabajo N° 51, para lo cual se ingresó al taller de motores con la respectiva autorización realizada del personal de técnicos del taller. (Ver anexo C)

En el taller se procedió a comprobar la herramienta para lavar compresores para lo cual el personal de aerotécnicos se colocaron equipos de protección personal, además sacaron herramienta apropiada para la ejecución de la carta de trabajo como la documentación para ejecutar el trabajo. (Ver anexos A y C)

Cargaron por varias ocasiones los tanques con aire a presión para verificar manómetros, tomas de entrada y salida de aire y descartar fugas de presión.

Una vez comprobado el equipo para lavar compresores se midió 150 mml de ardrex 6367 con 10 litros de agua destilada y se los mezcló hasta que tomen una forma uniforme, esta mezcla se utilizara para el lavado de compresor.

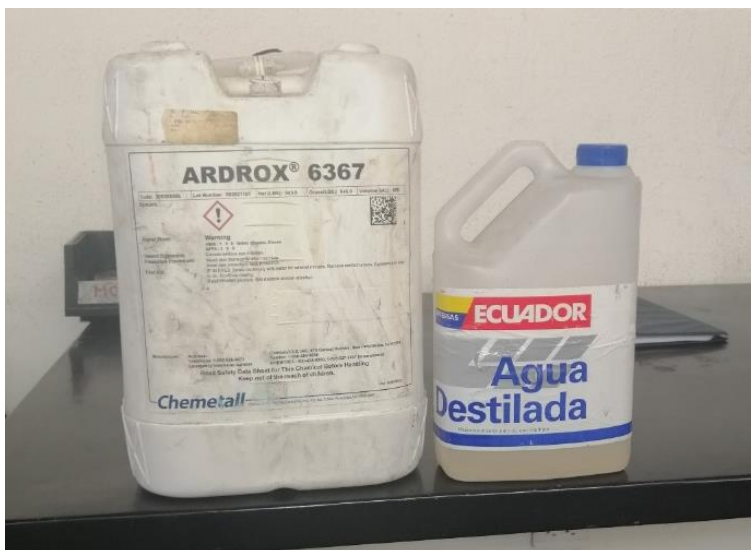


Figura 47. Mezcla ardrex-agua

Seguido se llenó el segundo tanque con agua destilada con su capacidad máxima de 5 galones, este contenido servirá para el enjagüe de los compresores, seguido se tapó y paso los seguros de tapas lo que evita fuga de presión y una mala aplicación de la tarea que se va a realizar.



Figura 48. Introducción de mezcla

Con los tanques cargados de ardrox y agua desmineralizada, se ingresó 75 psi de aire a presión con un compresor externo, verificando los manómetros para que no sobrepase de la presión de trabajo nominal para la que fueron diseñados los tanques, a pesar que los tanques están diseñados para soportar el doble de presión con la que lava los compresores.



Figura 49. Introducción de aire a presión

Una vez transportado el equipo de lavado de compresores al helicóptero MI 171 E-486, el cual se encuentra en la plataforma del Centro de Mantenimiento de la Aviación del Ejército se acoplo las mangueras que suministrarán los líquidos de lavado, limpieza y protección a los compresores y un acople el cual es apropiado para el motor TB3 117BM, además se colocó los equipos de protección auricular y visual



Figura 50. Acople de mangueras

El mejor régimen de lavado en línea y fuera de línea se desarrolla usualmente a través de la experiencia y deber ser específico para cada motor, para este motor se realiza el lavado en la etapa de ventilación del motor en la cual el compresor gira libremente por un tiempo no mayor a 15 segundos a una presión de 75 psi.

Luego se deja actuar al agente limpiador por unos 20 minutos, seguidamente aplicamos el agente de enjuague hasta vaciar su contenido por último se realiza el secado para lo cual retiramos el equipo de lavado y en cabina accionan el motor en relanti lo que permite que se seque los conductos.



Figura 51. Lavado de compresores

3.7 Manuales de Procedimientos.

A continuación se describen los diferentes procedimientos que debe realizar el operador del equipo para su correcto funcionamiento, sin poner en riesgo su seguridad, la de los demás técnicos que intervienen en la tarea de mantenimiento, del equipo de lavado y la aeronave por tal razón se ha elaborado los siguientes manuales:

3.7.1 Manual de seguridad.

El objetivo de este manual es mantener la seguridad del operador del equipo, del personal técnico y de la aeronave para evitar accidentes personales o gastos materiales. (Ver anexo E)

3.7.2 Manual de operación.

Este manual consta con todos los procedimientos que describe la carta de trabajo N° 308, aplicación de agentes limpiadores. (Ver anexo F)

3.7.3 Manual de mantenimiento.

Este manual va ayudar a dar un mantenimiento óptimo al equipo para así poder alargar la vida útil de los accesorios que cuenta dicho equipo. (Ver anexo G)

3.8 Presupuesto

Este presupuesto se realizó en base a proformas adquiridas en ferreterías y talleres, las cuales brindan una información promedio porque varía al momento de adquirir o alquilar un servicio.

3.8.1 Análisis de Costos

Para la elaboración del equipo para lavar los conductos gas-aire de los motores TB3-117BM del helicóptero ruso MI171, se detallan a continuación los materiales y herramientas y su total de costos.

a. Costos totales

- Materiales y herramientas Total de Costos.

Tabla 4

Total de costos.

Descripción	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Reservorios neumáticos	2	90	180
Tubo Cuadrado 1 ½" (mts)	6	18	108
Ruedas 32x100	4	14	56
Manómetros presión	2	15	30
Válvulas de alivio de presión	2	14	28
Cañería flexible mts	6	5	30
Acoples macho	6	5	30
Acoples hembra	6	5	30
Suelda lbs	3	2	6
Brocas 1/8, 1/4, 1/2, y 1"	1	20	20
Disco de corte	2	5	10
Disco de pulir	2	5	10
Pintura lts	4	10	40
Costo total del proyecto de grado			578

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La información técnica de la carta de trabajo N°308, manual de herramientas facilitó realizar, ensamblar y probar el equipo para lavar los conductos gas-aire y así poder realizar el lavado, limpieza y protección de los motores TB3-117BM del helicóptero ruso MI171.
- El equipo para lavar compresores cumple con las especificaciones descritas en el manual de herramientas sobre seguridad y operación ya que soporta a una presión de 5 bares o 75 psi plácidamente, además lava, limpia y protección el compresor de acuerdo a los procedimientos descritos en la carta de trabajo N° 308.
- La aplicación de la carta de tarea N° 308 preserva y prolonga la vida útil del motor porque limpia residuos de hidrocarburos, sales minerales o FOD impregnadas en los alabes del motor, impidiendo que el motor sufra una daño mayor y tenga que realizarse un overhaul o reparación mayor.

4.2. Recomendaciones

- Utilizar la documentación técnica del motor y de la aeronave que sea autorizados y actualizados por la casa fabricante, así como herramientas especiales para un lavado y emulsacion de compresores, para no entrar en complacencia debido a que en la carta de trabajo N°308 están descritos todos los pasos a seguir, y evitar daños materiales o personales.
- Realizar mantenimiento del equipo de lavado de compresores para disponer con la herramienta que facilita el trabajo de lavado, limpieza y protección del motor, evitando su malfuncionamiento y una ejecución de la tarea de mantenimiento de los motores inapropiada.
- Efectuar lavados periódicos del motor TB3 117BM, los cuales son requeridos por la alta operatividad del aeronave, expuesta a todo tipo de clima y condición de terreno, tomando en cuenta la información técnica de la tabla de periodicidades de lavado y la carta de trabajo N°308.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.G.Rivas. (Marzo de 2003).

<http://kimerius.com/app/download/5780664401/Compresores>. Recuperado el 20 de mayo de 2019, de

<http://kimerius.com/app/download/5780664401/Compresores>

A.G.Rivas. (marzo de 2003).

<http://kimerius.com/app/download/5780664401/Compresores>. Recuperado el 21 de mayo de 2019, de

<http://kimerius.com/app/download/5780664401/Compresores>

A.G.Rivas. (marzo de 2003).

<http://kimerius.com/app/download/5780664401/Compresores>. Recuperado el 21 de mayo de 2019, de

<http://kimerius.com/app/download/5780664401/Compresores>

A.G.Rivas. (marzo de 2003).

<http://kimerius.com/app/download/5780664401/Compresores>. Recuperado el 21 de mayo de 2019, de

<http://kimerius.com/app/download/5780664401/Compresores>

Benavides, M. (2017). *[https://es.scribd.com/document/352758966/MANUAL-DE-](https://es.scribd.com/document/352758966/MANUAL-DE-INSTRUCCION-MI-17-pdf)*

[INSTRUCCION-MI-17-pdf](https://es.scribd.com/document/352758966/MANUAL-DE-INSTRUCCION-MI-17-pdf). Recuperado el 14 de mayo de 2019, de

[https://es.scribd.com/document/352758966/MANUAL-DE-INSTRUCCION-MI-17-](https://es.scribd.com/document/352758966/MANUAL-DE-INSTRUCCION-MI-17-pdf)
[pdf](https://es.scribd.com/document/352758966/MANUAL-DE-INSTRUCCION-MI-17-pdf)

copco, a. (2019). *[https://www.atlascopco.com/es-ec/compressors/wiki/compressed-air-](https://www.atlascopco.com/es-ec/compressors/wiki/compressed-air-articles/dynamic-compressors)*

[articles/dynamic-compressors](https://www.atlascopco.com/es-ec/compressors/wiki/compressed-air-articles/dynamic-compressors). Recuperado el 10 de octubre de 2019, de

<https://www.atlascopco.com/es-ec/compressors/wiki/compressed-air-articles/dynamic-compressors>

ECUACOMEX. (2020). <https://www.ecuacomex.com/productos#VALVULAS>.

Recuperado el NOVIEMBRE de 2019

HOMJI, M. (2009).

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5030/fichero/2.+Cap%C3%ADtulo+2+-+Descripci%C3%B3n+del+fouling.pdf>. Recuperado el JUNIO de 2019, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5030/fichero/2.+Cap%C3%ADtulo+2+-+Descripci%C3%B3n+del+fouling.pdf>

IESVillalba. (Mayo de 2005).

<https://iesvillabahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/05/neumatica.pdf>.

Recuperado el 23 de mayo de 2019, de

<https://iesvillabahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/05/neumatica.pdf>

itaerea. (2020). <https://www.itaerea.es/mantenimiento-aeronautico>. Recuperado el 8 de enero de 2020, de <https://www.itaerea.es/mantenimiento-aeronautico>

KG, W. A. (2020). <https://www.bloginstrumentacion.com/instrumentacion/construccion-funcionamiento-de-manmetros-mecnicos/>. Recuperado el 16 de diciembre de 2019, de <https://www.bloginstrumentacion.com/instrumentacion/construccion-funcionamiento-de-manmetros-mecnicos/>

MI 171, A. (1996). *MANUAL DE MANTENIMIENTO*.

renovetec. (2019). <http://www.turbinasdegas.com/sistemas-de-lavado>. Recuperado el 5 de noviembre de 2019, de <http://www.turbinasdegas.com/sistemas-de-lavado>

Rivas, A. (MARZO de 2003).

<http://kimerius.com/app/download/5780664401/Compresores>. Recuperado el 2 de OCTUBRE de 2019, de

<http://kimerius.com/app/download/5780664401/Compresores>

scribd. (2020). *<https://es.scribd.com/document/414289478/MOTOR-TV3-117VM>*.

Recuperado el junio de 2019, de

<https://es.scribd.com/document/414289478/MOTOR-TV3-117VM>

villalva, h. (mayo de 2009).

<https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/05/neumatica.pdf>.

Recuperado el noviembre de 2019, de

<https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/05/neumatica.pdf>

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES


CARRERA DE MÉCANICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

CERTIFICACIÓN

Se certifica que la presente monografía fue desarrollada por el señor CBOP. DE A.E DOICELA CUYO, GUIDO FABIAN.

En la ciudad de Latacunga a los 22 días de Enero del 2020.

Aprobado por:


Tlga. Zabala Cáceres, Emmy Samantha
DIRECTORA DEL PROYECTO


Ing. Rodrigo Bautista
DIRECTOR DE CARRERA


Abg. Santa Plaza
SECRETARIA ACADÉMICA

