



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Inspección de 300 horas del Sistema Eléctrico de Arranque y Control de Funcionamiento de la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V de acuerdo al Manual de Empleo y Mantenimiento Técnico del Motor Tipo Turbina de Gas TB3 117BM, del helicóptero MI-171, perteneciente a la Brigada de Aviación del Ejército N.º 15 “Paquisha”.

Carrera Tupiza, Diego Iván

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecánica Aeronáutica Mención Motores

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

Tlgo. Pantoja Montenegro, Darwin Esteban

1 de septiembre del 2021



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía, “**Inspección de 300 horas del Sistema Eléctrico de Arranque y Control de Funcionamiento de la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V de acuerdo al Manual de Empleo y Mantenimiento Técnico del Motor Tipo Turbina de gas TB3 117BM, del helicóptero MI-171, perteneciente a la Brigada de Aviación del Ejército N.º 15 Paquisha**” fue realizada por el señor **Carrera Tupiza, Diego Iván** el cual ha sido revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 1 de septiembre del 2021

Firma:



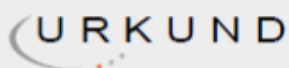
Firmado electrónicamente por:
**DARWIN ESTEBAN
PANTOJA
MONTENEGRO**

.....
Tlgo. Pantoja Montenegro, Darwin Esteban

C. C.:0401531793



REPORTE DE VERIFICACIÓN



Urkund Analysis Result

Analysed Document: CARRERA TUPIZA DIEGO IVAN.pdf (D111928794)
Submitted: 9/1/2021 4:27:00 PM
Submitted By: loretaibarra@yahoo.es
Significance: 9 %

Sources included in the report:

Tesis Andrés Fernando Medina Vaca.pdf (D41054855)
<https://www.kimerius.com/app/download/5783801940/Motores%2Bturboejes.pdf>
<http://repositorio.upsin.edu.mx/formatos/TesinaEdgarBeltranMecatronica102.pdf>

Instances where selected sources appear:

17

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**DARWIN ESTEBAN
PANTOJA
MONTENEGRO**

.....
Tlgo. Pantoja Montenegro, Darwin Esteban

C. C.:0401531793



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

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Carrera Tupiza, Diego Iván**, con cédula de ciudadanía **N° 1723306245**, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **Inspección de 300 horas del Sistema Eléctrico de Arranque y Control de Funcionamiento de la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V de acuerdo al Manual de Empleo y Mantenimiento Técnico del Motor Tipo Turbina de gas TB3 117BM, del helicóptero MI-171, perteneciente a la Brigada de Aviación del Ejército N.º “15 Paquisha”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 1 de septiembre del 2021

Firma:

.....
Carrera Tupiza, Diego Iván

C. C.: 1723306245



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

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Carrera Tupiza, Diego Iván**, con cédula de ciudadanía **N° 1723306245**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” publicar la monografía: **Inspección de 300 horas del Sistema Eléctrico de Arranque y Control de Funcionamiento de la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V de acuerdo al Manual de Empleo y Mantenimiento Técnico del Motor Tipo Turbina de gas TB3 117BM, del helicóptero MI-171, perteneciente a la Brigada de Aviación del Ejército N.º “15 Paquisha”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 1 de septiembre del 2021

Firma:

.....
Carrera Tupiza, Diego Iván

C. C.: 1723306245

DEDICATORIA

El presente escrito está dirigido y dedicado primeramente a Dios, por brindarme su bendición pese a todas las adversidades, por cuidar de mí y de mi familia en todo este tiempo abrumador. A mis padres, quienes estaban, están y estarán en todos mis logros cumplidos y por cumplir, son mi guía mi mayor impulso, sus consejos y enseñanzas siempre han estado determinados hacia mi superación personal en todo sentido, así también como a mi bendición más grande lo son mi hijo y mi compañera de vida, dos personas por las cuales daría la vida sin pensarlo y son mi motivación para sobresalir en todo lo que me proponga, a ellos les debo mi mayor felicidad por haberme convertido en padre. Por último, a mi familia en general, quienes, con algún apoyo, palabra o muestra de cariño han sabido mostrarme el camino muchas veces cuando he errado ya su amor hacia mí ha sido infinito y por ello un Dios les pague.

Carrera Tupiza, Diego Iván

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy gracias a Dios por haberme permitido culminar este proceso académico tan importante, por derramar sus bendiciones sobre mi mente, cuerpo y alma para así afrontar todas las adversidades y metas expuestas, permitiéndome conocer a muchas personas tan valiosas, inteligentes como respetables, y a mi familia por todo el basto y primordial apoyo hacia el estudiante que ahora es hijo, hermano, padre y compañero de vida y ahora profesional. A la tan distinguida y noble institución la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que me ha inculcado tanto en el espacio de conocimiento, valores, disciplina, respeto y sobre todo servicio y humildad hacia los demás. A mi tutor, quien supo dirigirme por el camino correcto del trabajo bien hecho, el conocimiento y la preparación. Y finalmente doy gracias a todos los docentes de la Universidad quienes, con su conocimiento, esfuerzo, dedicación, valores y firmeza al momento de enseñarme tantas cosas en el ámbito científico y técnico, lograron plasmar en mi vivencia y experiencias memorables, las cuales llevaré por siempre.

Carrera Tupiza, Diego Iván

Tabla de contenido

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación	3
Responsabilidad de auditoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Tabla de contenido.....	8
Índice de tablas	11
Índice de figuras.....	12
Resumen	14
Abstract.....	15
Planteamiento del problema de investigación	16
Antecedentes	16
Planteamiento del problema.....	17
Justificación e Importancia	18
Objetivos	19
<i>Objetivo General</i>	19
<i>Objetivos Específicos</i>	20
Alcance	20
Marco teórico.....	21
Historia del Helicóptero.....	21
Principios de funcionamiento de un Helicóptero	25
<i>Controles de vuelo de un helicóptero</i>	25
Control de paso colectivo	26
Control de paso cíclico.....	27
Control de potencia	29
Pedales antipar	29
Principios de funcionamiento de un motor a reacción	31
<i>Ciclo Brayton</i>	31
<i>Descripción</i>	31
Admisión	32
Compresión.....	32
Cámara de combustión	32
Turbina	32
Escape.....	32

<i>Tipos de motores a reacción</i>	33
Motores turbofán	33
Motores turbohélice.....	34
Motores turboeje.....	35
<i>Secciones y sistemas de un motor turboeje</i>	36
Sección compresora.....	37
Sección de combustión.....	37
Sección de turbina.....	37
Sistemas de transmisión.....	38
Helicóptero Mi-171	42
<i>Historia del Mi-171</i>	42
<i>Características generales del MI-171</i>	43
<i>Modificaciones del MI-171</i>	46
<i>Especificaciones técnicas del MI-171</i>	48
Motores Klimov TV3-117.....	48
<i>Historia</i>	48
<i>Características generales</i>	49
<i>Especificaciones técnicas</i>	50
<i>Variantes y mejoras del motor</i>	51
Motor de Turbina de Gas AI-9V	52
<i>Historia</i>	52
<i>Características generales</i>	53
<i>Especificaciones técnicas</i>	54
Compresor.....	54
Controles del motor (APU)	56
Cámara de combustión	58
Turbina	59
Tobera reactiva	60
Recipiente de aire	61
<i>Sistemas del Motor de Turbina de Gas AI-9V</i>	64
Sistema de lubricación	64
Sistema de combustible.....	65
Sistema de regulación de combustible	65
Sistema eléctrico de arranque y control de funcionamiento del motor .	65
Desarrollo del tema	68
Descripción general.....	68
Documentación técnica recopilada para el desarrollo del proyecto	69
Desarrollo del diseño y fabricación del banco de soporte para la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V	70

<i>Diseño en el programa Autocad de acuerdo con las especificaciones de peso y resistencia de los materiales.....</i>	70
<i>Fabricación del banco de soporte para la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V de acuerdo al diseño elaborado en el programa Autocad.....</i>	75
Proceso de corte del material	75
Proceso de construcción del banco de soporte	76
Descripción y características de los componentes que entran a inspección de 300 horas del sistema eléctrico de arranque y control de funcionamiento	79
<i>Generador-arrancador STG-3</i>	79
<i>Válvula de descarga de aire KP-9.....</i>	79
<i>Bobina de ignición KR-12SI</i>	81
Inspección de 300 horas del sistema eléctrico de arranque y control de funcionamiento de la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V.....	82
<i>Procedimiento para la inspección del generador-arrancador STG-3.....</i>	82
Desmontaje y montaje del generador-arrancador STG-3.....	82
Inspección del generador-arrancador STG-3.....	84
<i>Procedimiento de la inspección/lavado de la válvula de descarga de aire detrás KP-9.....</i>	88
Desmontaje y montaje de la válvula de descarga de aire KP-9.....	88
Inspección/lavado de la válvula de descarga de aire KP-9.....	91
<i>Procedimiento para la inspección de la bobina de ignición KR-12SI.....</i>	92
Desmontaje y montaje de la bobina de ignición KR-12SI	92
Inspección de la bobina de ignición KR-12SI	94
Herramientas, dispositivos, equipos de prueba y materiales indispensables para realizar la inspección	97
Análisis de costos.....	98
<i>Costos primarios</i>	98
<i>Costos secundarios.....</i>	99
<i>Costo total del proyecto.....</i>	100
Conclusiones y recomendaciones	101
Conclusiones	101
Recomendaciones	102
Glosario de términos.....	104
Abreviaturas	107
Bibliografía.....	108
Anexos	110

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Características generales del MI-171</i>	45
Tabla 2 <i>Variantes y principales modificaciones del MI-171</i>	46
Tabla 3 <i>Especificaciones técnicas del helicóptero MI-171</i>	48
Tabla 4 <i>Características generales del motor turboeje Klimov TB3-117</i>	50
Tabla 5 <i>Especificaciones técnicas del motor turboeje Klimov TB3-117</i>	51
Tabla 6 <i>Variantes y mejoras del motor turboeje Klimov TB3-117</i>	51
Tabla 7 <i>Rendimiento y desempeño del Motor de Turbina de Gas AI-9V</i>	54
Tabla 8 <i>Especificaciones técnicas del Motor de Turbina de gas AI-9V</i>	62
Tabla 9 <i>Herramientas, dispositivos, equipos de prueba y materiales</i>	97
Tabla 10 <i>Costos primarios</i>	98
Tabla 11 <i>Costos secundarios</i>	99
Tabla 12 <i>Costo total del proyecto de grado</i>	100

Índice de figuras

Figura 1	<i>Tornillo rotatorio de Leonardo Da Vinci</i>	21
Figura 2	<i>Aeronave rotatoria basada en el método coaxial, por D'Amécourt</i>	22
Figura 3	<i>VS-300</i>	24
Figura 4	<i>Plato oscilante fijo y giratorio</i>	26
Figura 5	<i>El aumento del control de paso colectivo</i>	27
Figura 6	<i>Control de paso cíclico</i>	28
Figura 7	<i>Control de potencia</i>	29
Figura 8	<i>Pedales antipar de control de rotor de cola</i>	30
Figura 9	<i>Motores a reacción</i>	31
Figura 10	<i>Diagrama de las etapas del ciclo Brayton</i>	33
Figura 11	<i>Motor turbofán</i>	34
Figura 12	<i>Motor turbohélice</i>	35
Figura 13	<i>Motor turboeje</i>	36
Figura 14	<i>Secciones y sistemas de un motor turboeje</i>	38
Figura 15	<i>Transmisión del rotor principal</i>	39
Figura 16	<i>Sistema de arrastre de rotor de cola</i>	40
Figura 17	<i>Sistema de embrague y unidad de autorrotación</i>	42
Figura 18	<i>Helicóptero MI-171</i>	43
Figura 19	<i>Motor de Turbina de Gas AI-9V</i>	53
Figura 20	<i>Motor de Turbina de Gas AI-9V</i>	53
Figura 21	<i>Compresor del Motor de Turbina de Gas AI-9V</i>	56
Figura 22	<i>Cuerpo de accionamientos del Motor de Turbina de Gas AI-9V</i>	58
Figura 23	<i>Cámara de combustión del Motor de Turbina de Gas AI-9V</i>	59
Figura 24	<i>Sección de la turbina del Motor de Turbina de Gas AI-9V</i>	60
Figura 25	<i>Tobera del Motor de Turbina de Gas AI-9V</i>	61
Figura 26	<i>Recipiente de aire del Motor de Turbina de Gas AI-9V</i>	62
Figura 27	<i>Manuales adquiridos para el desarrollo del proyecto</i>	70
Figura 28	<i>Diseño del banco de soporte</i>	71
Figura 29	<i>Desarrollo del banco de soporte en 3D</i>	71
Figura 30	<i>Análisis de la tensión de Von Mises del banco de soporte</i>	72
Figura 31	<i>Análisis de desplazamiento del banco de soporte</i>	73
Figura 32	<i>Análisis del coeficiente de seguridad del banco de soporte</i>	73
Figura 33	<i>Análisis de la deformación del banco de soporte</i>	74
Figura 34	<i>Análisis de la presión de contacto del banco de soporte</i>	74
Figura 35	<i>Toma de medidas y corte del material</i>	75

Figura 36 <i>Proceso de suelda y construcción del banco de soporte</i>	77
Figura 37 <i>Etapa de construcción final del banco de soporte</i>	78
Figura 38 <i>Proceso de pintura del banco de soporte</i>	78
Figura 39 <i>Generador-arrancador STG-3</i>	79
Figura 40 <i>Válvula de descarga de aire KP-9</i>	80
Figura 41 <i>Accesorios y partes de la válvula de descarga de aire KP-9</i>	81
Figura 42 <i>Bobina de encendido KR-12SI</i>	82
Figura 43 <i>Desmontaje del generador-arrancador</i>	83
Figura 44 <i>Montaje del generador-arrancador</i>	84
Figura 45 <i>Medición de la altura de las escobillas</i>	86
Figura 46 <i>Inspección del generador-arrancador</i>	87
Figura 47 <i>Inspección del conjunto colector del generador-arrancador</i>	88
Figura 48 <i>Desmontaje de la válvula de descarga de aire KP-9</i>	89
Figura 49 <i>Montaje de la válvula de descarga de aire KP-9</i>	90
Figura 50 <i>Lavado de la válvula de descarga de aire KP-9</i>	92
Figura 51 <i>Desmontaje de la bobina de ignición KR-12SI</i>	93
Figura 52 <i>Montaje de la bobina de ignición KR-12SI</i>	94
Figura 53 <i>Inspección de la bobina de ignición KR-12SI</i>	96
Figura 54 <i>Prueba de corriente de la bobina de ignición KR-12SI</i>	97

Resumen

El proyecto, abarca toda la información que compete sobre la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V, y del helicóptero MI-171, así también lo referente a la inspección del sistema eléctrico de arranque y control de funcionamiento, de acuerdo a los manuales de empleo y mantenimiento. Esto se lo debe realizar con las herramientas y equipos demandados en los manuales, necesarios para brindar un mantenimiento técnico muy profesional. Lo que se realiza es una inspección determinada como esencial a las 300 horas en sí de tres componentes principales, que se guía de acuerdo a la documentación técnica de referencia como el Manual de Explotación Técnica del MI-8MT, 3ra edición, el Manual de Explotación Técnica y reparación del generador SGS-40PU, Pasaporte de la bobina de ignición KR-12SI, etc. Es así que se detallan, en conjunto a la correcta utilización de los equipos, herramientas y manuales para realizar, tareas de mantenimiento, inspecciones, chequeos y demás, la inspección de 300 horas como son el; Lavado de la válvula de sangría KP-9, la Inspección de la bobina de ignición KR-12SI del motor auxiliar AI-9V y e Inspección del generador arrancador STG-3, a fin de cumplir con la operación y exigencias técnicas dadas por las cartas tecnológicas y tarjetas de procedimiento suplementarios, así como también, que los técnicos, instructores y estudiantes involucrados provean de acuerdo al mejor estado de aprovechamiento de sus conocimientos, un correcto proceso de mantenimiento tanto en componentes o motores con operatividad como en estado de instrucción.

Palabras clave:

- **Unidad de Potencia Auxiliar AI-9V**
- **Bobina de ignición KR-12SI**
- **Generador arrancador STG-3**

Abstract

The project covers all the information concerning the Auxiliary Power Unit (APU) AI-9V, and the MI-171 helicopter, as well as the inspection of the electrical system startup and control operation, according to the manuals of use and maintenance. This must be done with the tools and equipment required in the manuals, necessary to provide a very professional technical maintenance. What is performed is an inspection determined as essential at 300 hours itself of three main components, which is guided according to the technical reference documentation such as the MI-8MT Technical Operation Manual, 3rd edition, the SGS-40PU Generator Technical Operation and Repair Manual, KR-12SI Ignition Coil Passport, etc. It is thus detailed, in conjunction with the correct use of equipment, tools and manuals to perform, maintenance tasks, inspections, checks and others, the inspection of 300 hours such as the; Washing of the KP-9 bleeder valve, inspection of the KR-12SI ignition coil of the AI-9V auxiliary engine and inspection of the STG-3 starter generator, in order to comply with the operation and technical requirements given by the technological charts and supplementary procedure cards, as well as, that the technicians, instructors and students involved provide according to the best use of their knowledge, a correct maintenance process both in components or engines with operative and instructional status.

Keywords:

- **Auxiliary Power Unit AI-9V**
- **Ignition Coil KR-12SI**
- **Generator Starter STG-3**

Capítulo I

1. Planteamiento del problema de investigación

1.1 Antecedentes

La Universidad de las fuerzas Armadas “Espe” como tal y su carrera antes denominada como Mecánica Aeronáutica Mención Motores y ahora Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica, desde sus inicios ha estado en la búsqueda incansable de formar profesionales y técnicos para desarrollar el campo aeronáutico en el país, desde las bases comenzado con la instrucción y el estudio de las diferentes aeronaves que en el campus se encuentran, hasta las diferentes etapas de prácticas en cada una de las empresas aeronáuticas y/o OMA’s, en dónde se aplican todos los conocimientos y habilidades adquiridas durante toda la instrucción y duración de cada nivel de estudio.

El Servicio Aéreo del Ejército se crea en el año 1954, hecho muy relacionado con la Aviación del Ejército, sustentado con un sistema de gestión en: regulaciones, procedimientos y leyes de operaciones por ello, la necesidad de que la Brigada de Aviación del Ejército N.º 15 “Paquisha” demande según sus regulaciones, las formas y requisitos que el área de mantenimiento de helicópteros posea, es con el fin de que la instrucción se la realice con todos los equipos, herramientas y todo el conocimiento necesario para aumentar la formación profesional y personal de los futuros aerotécnicos y que la misma sea en lo posible completa, ya que todas las tareas de mantenimiento e inspecciones dependen mucho del conocimiento específico y técnico que se desarrolla cada vez más.

Recientemente el Ejército en 2020, realizó unas actualizaciones a una parte de la flota de aeronaves MI-171, de la mano del Centro de Mantenimiento de Aviación del ejército (CEMAE), y del Centro de Mantenimiento y Reparación de Helicópteros

Rusos, a un total de tres aeronaves fueron intervenidas para Overhaul, donde se realizó la respectiva revisión, reparación y actualización de los motores a y varios otros sistemas, La Brigada de Aviación del Ejército N.º 15 "Paquisha", sometió a estrictas pruebas de operación que fueron exitosas y por ello las aeronaves intervenidas E-484, E-485 y E-487, fueron entregadas al ejércitos para comenzar con los posteriores despliegues respectivos, recalcando que el Ejército ecuatoriano opera un total de 11 aeronaves MIL-MI-171.

El motor AI-9B, como Unidad de Potencia Auxiliar, aun se lo viene utilizando desde las primeras actualizaciones hasta las actuales, en producción comercial desde 1974, se utiliza como fuente de energía que efectúa el suministro de aire comprimido al sistema de arranque de los motores de helicópteros y suministro de energía eléctrica al sistema de energía eléctrica del helicóptero al verificar el equipo eléctrico y de radio del helicóptero. Instalado en helicópteros Mi-8 (Mi-8AMT, Mi-8MTV, Mi-17, Mi-171, Mi-172), Mi-24 (Mi-35), ya que constituye estructuralmente un grupo independiente que dispone de su propio equipo de combustible, sistema autónomo de aceite, sistema de regulación de combustible, arrancador-generator y bobina de encendido.

1.2 Planteamiento del problema

En el área de mantenimiento de aviación de la Brigada de Aviación del Ejército N.º 15 "Paquisha" se desenvuelven diferentes actividades en los que se involucran tareas de mantenimiento e inspecciones, pero todo este proceso trae consigo una previa y muy específica preparación en el ámbito técnico que muchas veces no se completa o no se familiariza con buenas bases que van desde el punto teórico/científico hasta el práctico, puntos muy importantes que se enfocan en los materiales de instrucción para la capacitación de los técnicos.

El trabajo en conjunto con el conocimiento muy técnico de cada uno de los motores y componentes de las aeronaves van de la mano del manejo muy eficaz de las diferentes herramientas, materiales y equipos que sirven para realizar las tareas de mantenimiento acorde a los manuales de mantenimiento de cada motor, parte o componente de las aeronaves involucradas.

Es así que el mantener en constante desarrollo el conocimiento acerca de todos los sistemas, motores, y componentes de las aeronaves por medio de la preparación técnica - práctica trabajando en unidades de instrucción y equipos especializados para todas estas prácticas, trae consigo el mejoramiento profesional y desarrollo técnico de los involucrados en el área de mantenimiento.

Acorde a las prestaciones que el área de mantenimiento posee sobre el mantenimiento de motores auxiliares (APU), y el estudio y posterior instrucción a los técnicos se mantiene una posición muy objetiva para complementar los espacios de práctica y entrenamiento referidos a las tareas de mantenimiento que estos componentes y/o motores requieran según lo determinado en los manuales de mantenimiento, para esto se pretenderá realizar un trabajo en conjunto con el proceso de investigación muy completo de acuerdo al equipo por desarrollar en cuestión.

1.3 Justificación e Importancia

En la Aviación del Ejército ecuatoriano es importante establecer e implementar tanto procesos de operación como inspecciones o mantenimientos, que garanticen seguridad en las operaciones aéreas con las flotas de helicópteros en este caso específico de las aeronaves MI-171, que respondan a las condiciones objetivas de la Brigada de Aviación del Ejército N.º 15 "Paquisha", acorde a sus realidades, fortalezas y debilidades, utilizando métodos técnico/científicos para

tomar decisiones fundamentadas en el conocimiento, que garanticen decisiones correctas y eficaces, sustentadas en el conocimiento y la experiencia.

Como aporte se ayudará al buen manejo y correcta manipulación de todos los componentes del motor auxiliar AI-9V, por esto será implementada una herramienta que servirá como una plataforma para buenos procesos de inspecciones, mantenimiento y que posteriormente se incluirá dentro de la instrucción y especialización para los técnicos del área de mantenimiento de la Brigada Aérea del Ejército.

Este proyecto es de suma importancia puesto que en el mismo se verán involucrados técnicos profesionales de aviación, estudiantes, a quienes va dirigido el presente proyecto y en especial a las futuras generaciones de estudiantes y técnicos de mantenimiento porque así, formaremos profesionales que estén al tanto de todos los temas correspondientes a inspecciones y tareas de mantenimiento. Una de las razones que traen consigo la relevancia del caso es el observar el funcionamiento de esta unidad auxiliar ya que con el banco de pruebas vamos a realizar las pruebas de funcionamiento dependiendo de las tareas de inspecciones acordes al manual de mantenimiento y especificaciones del fabricante.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Realizar la inspección de 300 horas del sistema eléctrico de arranque y control de funcionamiento de la unidad de potencia auxiliar (APU) AI-9V, para verificar el proceso de funcionamiento acorde a la descripción y referencias determinados en las cartas tecnológicas del manual de empleo y las tarjetas de procedimientos suplementarios, en el Centro de Mantenimiento de la Aviación de la Brigada de Aviación del Ejército N.º 15 "Paquisha".

1.4.2 *Objetivos Específicos*

- Recopilar la información respectiva de documentos, manuales de empleo y mantenimiento tanto de la aeronave MI-171, motores TB3 117BM y motor auxiliar (AI-9V), en la Brigada de Aviación del Ejército.
- Implementar un banco de soporte como herramienta auxiliar para el mantenimiento de la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V, del helicóptero MI-171.
- Realizar la inspección de 300 horas del generador-arrancador STG-3, válvula de descarga de aire KP-9 y bobina de ignición KR-12SI y de la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V.

1.5 Alcance

La implementación de este tipo de banco de prueba, proporcionará una versión de mejora que se evidenciará en los técnicos involucrados en realizar el correcto proceso de inspecciones y/o mantenimientos, como la facilidad de manipulación del motor, componentes y verificación de sus sistemas fuera de la aeronave, aportando en el desarrollo profesional hacia los técnicos al especializarse en las diferentes secciones y sistemas de este tipo de motores, ejecutando las tareas de preservación y mantenimiento con vista al futuro en el cumplimiento de los diferentes objetivos establecidos en los manuales de mantenimiento

Capítulo II

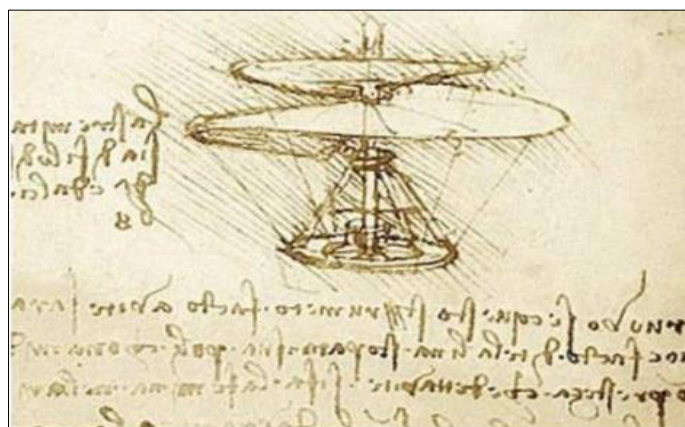
2. Marco teórico

2.1 Historia del Helicóptero

El hombre ha tenido el deseo de volar desde el comienzo de los tiempos y gracias a la inteligencia del ser humano, que se ha ido superando en la historia, inventando, y a la vez dando solución a los problemas que surgían, se ha hecho posible la construcción del helicóptero como tal, hoy en día existen varios tipos de máquinas que lo hacen posible y como lo conocemos ahora, el helicóptero se define como una máquina voladora que hace uso de un rotor para su sustentación en el aire. Durante la historia han surgido gran variedad de modelos de maquina rotativas. Uno de los primeros tipos de los que se tiene constancia es el “tornillo aéreo “de Leonardo da Vinci, que mostro en sus dibujos una máquina que se asemeja a un helicóptero básico capaz de trasladar a un operario. Este dibujo que se muestra en la figura data el año 1483.

Figura 1

Tornillo rotatorio de Leonardo Da Vinci



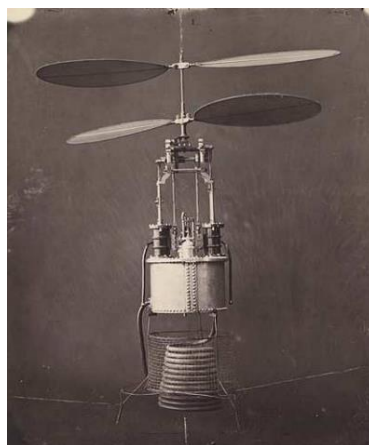
Nota. Se muestra el primer boceto de una máquina giratoria considerada como el primer helicóptero elaborado por Leonardo Da Vinci en 1483. Tomado de (Blanco, 2019)

En el 1840 un científico inglés empezó a abordar uno de los primeros obstáculos asociados con el vuelo rotatorio; la neutralización del par motor, este problema hacía que el helicóptero girara sobre sí mismo, alrededor del eje del rotor principal. La respuesta fue diseñar un helicóptero con dos rotores situados uno frente a otro. Cada rotor giraría en dirección opuesta respecto al otro para neutralizar la fuerza de par motor entre los dos. Pero esta nave no se construyó, pues parecía imposible que aquello fuera a funcionar.

Hasta que 1860, un ingeniero Frances, Ponton d'Amécourt decidió demostrar que el vuelo rotativo era posible. D'Amécourt construyó una nave rotativa en miniatura que utilizaba un nuevo método para neutralizar el par motor, este método se conoció como el método coaxial del par motor; se basaba en dos rotores montados en un eje común. El francés logró construir modelos a escala de helicópteros los cuales pudieron elevarse en el aire y llamo a sus máquinas hélicoptères, que es una palabra derivada del adjetivo greco elikoeioas, que significa espiral o viento, y el sustantivo pteron, el cual significa pluma o ala.

Figura 2

Aeronave rotatoria basada en el método coaxial, por D'Amécourt.



Nota. Se muestra el modelo de una aeronave a escala, el creador utilizó el término helicóptero para denominar a este tipo de artefactos. Tomado de (Blanco, 2019)

En 1909 Ígor Sikorski ya había construido prototipos fallidos de helicópteros, pero más tarde diseñaría un tipo único hasta entonces, basado en un único rotor principal. Hasta finales de los años treinta la mayoría de los helicópteros que habían conseguido elevarse eran de diseño coaxial, es decir, con dos ejes, o tenían al menos dos rotores principales como el de Focke. En 1939, Sikorski inicio los modelos de prueba de su helicóptero VS-300 de un solo rotor principal.

El control de este lo consiguió mediante el rotor de cola, que se controlaba mediante los pedales del piloto, como actualmente ocurre. Mediante los pedales se controla la inclinación de las aspas del rotor de cola que hacen que el helicóptero gire hacia la derecha o hacia la izquierda alrededor del eje del rotor principal. Para girar a la izquierda, se presiona el pedal izquierdo, que disminuye el ángulo de las aspas, y el fuselaje gira a la izquierda. Al presionar el pedal derecho, aumenta la inclinación de las aspas del rotor de cola causando un aumento de su tracción aérea y una compensación de las fuerzas del par motor, de manera que la aeronave gira a la derecha.

El VS-300 fue el primer helicóptero que alcanzo el éxito en América y su diseño se convirtió en la base para los futuros helicópteros modernos. Hacia el final de la segunda guerra mundial, el VS-300 resulto ser un elemento fundamental para salvar vidas en lugares inaccesibles, en finales de la segunda guerra mundial, diversas compañías empezaron a trabajar en el desarrollo de helicópteros, originando así una industria que se basaba en la necesidad de aeronaves para salvamento y vigilancia.

Más tarde, los militares se centraron en hacer la aeronave más ligera, y llevar así una mayor carga. Para ello incorporaron el motor de turbina que sustituyó a los motores de pistones. La turbina era una fuente de potencia que en los años cincuenta se encontraba aún en fase experimental, y que se consiguió su fabricación

en los años sesenta. El helicóptero francés Alouette, fue el primer helicóptero que incorporó una turbina de gas como un grupo motor. A partir de este momento se fue mejorando el diseño del helicóptero.

En aerodinámica, por ejemplo, se perfeccionaron los perfiles de las palas, para permitir una mayor sustentación con menor resistencia. Surgieron también diversos tipos de rotores que hacen que hoy coexistan distintos tipos de helicópteros. Los helicópteros resultaron de gran utilidad para la guerra, pero su función más esencial era el rescate, incluso en tiempos de paz. Hoy en día estos son esenciales Estudio de aeronaves de alas giratorias. Helicópteros. Clasificación según tipo de rotor. Diseño en Catia V5 del sistema rotor. (Blanco, 2019)

Figura 3

VS-300



Nota. Se muestra el primer vuelo de la aeronave VS-300, prototipo tripulado para una sola persona. Tomado de (Blanco, 2019)

2.2 Principios de funcionamiento de un Helicóptero

El helicóptero se define como una máquina voladora que hace uso de un rotor para su sustentación en el aire. Este empuje es generado por fuerzas de sustentación aerodinámicas creadas por las alas giratorias. Además, el helicóptero debe ser capaz de volar hacia delante, elevarse, y poder descender, lo que incluye complejos requerimientos mecánicos, aerodinámicos. Para lograr comprender el funcionamiento de estas aeronaves, necesitamos entender el funcionamiento de los controles de los helicópteros en general:

2.2.1 Controles de vuelo de un helicóptero

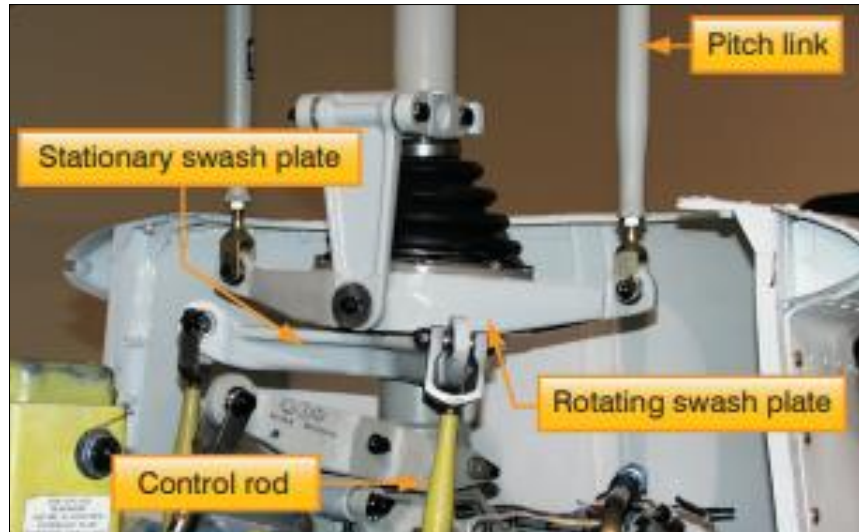
El propósito de cada uno de los diferentes controles de vuelo de un helicóptero los cuales se derivan y se ubican hacia el plato oscilante, es transmitir entradas de control desde los controles colectivos y cíclicos hasta las cuchillas del rotor principal, consta de dos partes principales: el plato oscilante estacionario y el plato oscilante giratorio. La placa oscilante estacionaria está montada alrededor del mástil del rotor principal y conectado a los controles cíclicos y colectivos mediante una serie de varillas de empuje, está impedido de girar por un enlace antidrive pero puede inclinarse en todas direcciones y moverse verticalmente.

La placa oscilante giratoria está montada en el plato oscilante estacionario por una manga uniball, está conectado al mástil por los eslabones impulsores y se le permite girar con el principal mástil del rotor, ambos platos oscilantes se inclinan como una unidad y se deslizan hacia arriba y hacia abajo, la placa oscilante giratoria está conectada al eje principal por los ejes conectores. Hay tres controles principales en un helicóptero que el piloto debe usar durante el vuelo, son el control de paso colectivo, control de paso cíclico y pedales antipar o control del rotor de cola, además de estos controles principales, el piloto también debe usar el control del

acelerador o de potencia, que se monta directamente en el control de paso colectivo para volar el helicóptero. (Federal Aviation Administration, 2018)

Figura 4

Plato oscilante fijo y giratorio.



Nota. Se muestran las partes principales encargadas en el control durante el vuelo de un helicóptero. Tomado de (Federal Aviation Administration, 2018)

a. Control de paso colectivo

El control de paso colectivo se encuentra en el lado izquierdo del asiento del piloto y se maneja con la mano izquierda, el colectivo se utiliza para realizar cambios en el ángulo de inclinación de todas las palas de rotor simultáneamente, o colectivamente, como el nombre implica, a medida que se eleva el control de paso colectivo, hay un aumento simultáneo e igual en el ángulo de inclinación de todos los principales álabes del rotor; a medida que se baja, hay una simultánea e igual disminución en el ángulo de inclinación. Esto está hecho a través de una serie de enlaces mecánicos, y la cantidad de movimiento en la palanca colectiva determina la cantidad del cambio de paso de la pala, un control de fricción ajustable ayuda a evitar el movimiento colectivo inadvertido del paso.

Figura 5

El aumento del control de paso colectivo



Nota. Se muestra el sistema de posicionamiento del control colectivo que aumenta el ángulo de paso en la misma cantidad en todas las palas. Tomado de (Federal Aviation Administration, 2018)

b. Control de paso cíclico

El control de tono cíclico está montado verticalmente desde el suelo de la cabina, entre las piernas del piloto o, en algunos modelos, entre los dos asientos del piloto, este el control de vuelo principal permite al piloto volar el helicóptero en cualquier dirección horizontal, proa, popa y lateral. La fuerza de sustentación total es siempre perpendicular al lugar de la trayectoria de la punta del rotor principal, el propósito del control de paso cíclico es inclinar el plano de la trayectoria de la punta en la dirección de la dirección horizontal deseada, el control de paso cíclico cambia la dirección de esta fuerza y controla la actitud y velocidad del helicóptero.

El disco del rotor se inclina en la misma dirección que el control de paso cíclico se mueve, si el control de paso cíclico se mueve hacia adelante, el disco del

roto se inclina hacia adelante; si el control de paso cíclico se mueve hacia atrás, el disco se inclina a popa, y así sucesivamente, debido a que el disco del rotor actúa como un giróscopo, los enlaces mecánicos para las barras de control cíclico están montados de tal manera que disminuyan el ángulo de paso de la pala del rotor aproximadamente 90° , antes de que alcance la dirección de desplazamiento cíclico, y aumentar el ángulo de paso de la pala del rotor aproximadamente 90° , después de que pasa la dirección de desplazamiento.

Figura 6

Control de paso cíclico



Nota. Se muestra el control de paso cíclico que se puede montar verticalmente entre las rodillas del piloto o en una barra oscilante de un solo cíclico ubicado en el centro del helicóptero. Este control puede pivotar en todas direcciones. Tomado de (Federal Aviation Administration, 2018)

c. Control de potencia

La función del acelerador es regular las rpm del motor, si el correlador o sistema de gobernador no mantiene el deseado rpm cuando el colectivo se sube o baja, o si esos los sistemas no están instalados, el acelerador debe moverse manualmente con la empuñadura giratoria para mantener las rpm, el control del acelerador es muy parecido al acelerador de una motocicleta, y funciona casi de igual manera; girar el acelerador hacia la izquierda aumenta las rpm, girando el acelerador a la derecha disminuye las rpm. El control de un acelerador de empuñadura giratoria generalmente se monta en el extremo de la palanca colectiva, los aceleradores de algunos helicópteros de turbina se montan en el panel superior o en el suelo de la cabina.

Figura 7

Control de potencia



Nota. Se muestra la posición generalizada de la palanca de potencia y la relación entre la presión del colector, rpm colectivo y acelerador. Tomado de (Federal Aviation Administration, 2018)

d. Pedales antipar

Los pedales antipar se encuentran en el suelo de la cabina junto a los pies

del piloto, controlan la potencia y por lo tanto el empuje de las palas del rotor de cola se aplica la tercera ley de Newton al fuselaje del helicóptero y cómo gira en el sentido opuesto de las palas del rotor principal a menos que se contrarreste y controle. Para hacer posible el vuelo y compensar esto, la mayoría de los diseños de helicópteros incorporan un rotor antipar o rotor de cola.

Los pedales antipar permiten al piloto controlar el ángulo de paso de las palas del rotor de cola en vuelo hacia adelante, pone el helicóptero en trimado longitudinal y mientras está en vuelo estacionario permite al piloto girar el helicóptero 360 °, los pedales antipar están conectados al mecanismo de cambio de potencia en la caja de cambios del rotor de cola y permite que el ángulo de paso en el las palas del rotor de cola pueda aumentar o disminuir.

Figura 8

Pedales antipar de control del rotor de cola



Nota. Se muestra la posición de los pedales antipar compensan los cambios de par y controlan el rumbo en un vuelo estacionario. Tomado de (Federal Aviation Administration, 2018)

2.3 Principios de funcionamiento de un motor a reacción

2.3.1 Ciclo Brayton

Un ciclo Brayton (o Joule) ideal modela el comportamiento de una turbina, como las empleadas en las aeronaves, este ciclo está formado por cuatro pasos reversibles según se indica en la figura, puede que el rendimiento de este ciclo viene dado por la expresión:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{(\gamma-1)/\gamma}}$$

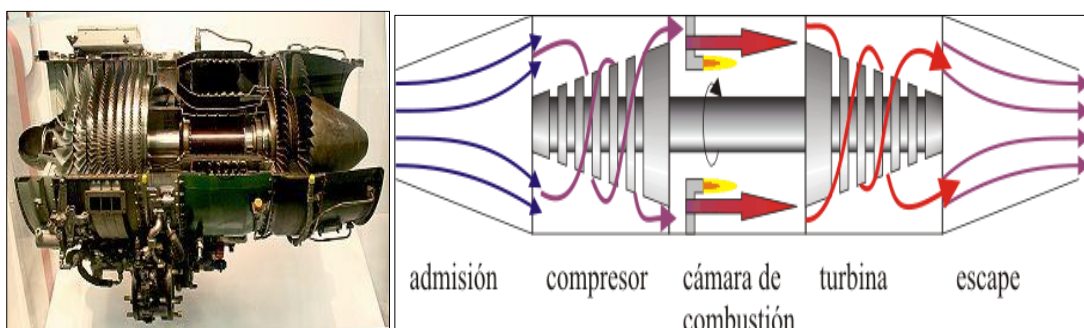
Siendo $r = p_B / p_A$ la relación de presión igual al cociente entre la presión al final del proceso de compresión y al inicio de él, el método para obtener este resultado es análogo al empleado para el Ciclo Otto.

2.3.2 Descripción

El ciclo Brayton describe el comportamiento ideal de un motor de turbina de gas, como los utilizados en las aeronaves. Las etapas del proceso son las siguientes:

Figura 9

Motores a reacción



Nota. Se muestra un ejemplar de modelo de un motor a reacción y su par derivado en sus respectivas secciones. Tomado de (Universidad de Sevilla, 2009)

a. Admisión

El aire frío y a presión atmosférica entra por la boca de la turbina.

b. Compresión

El aire es comprimido y dirigido hacia la cámara de combustión mediante un compresor (movido por la turbina). Puesto que esta fase es muy rápida, se modela mediante una compresión adiabática $A \rightarrow B$.

c. Cámara de combustión

En la cámara, el aire es calentado por la combustión del queroseno. Puesto que la cámara está abierta el aire puede expandirse, por lo que el calentamiento se modela como un proceso isóbaro $B \rightarrow C$.

d. Turbina

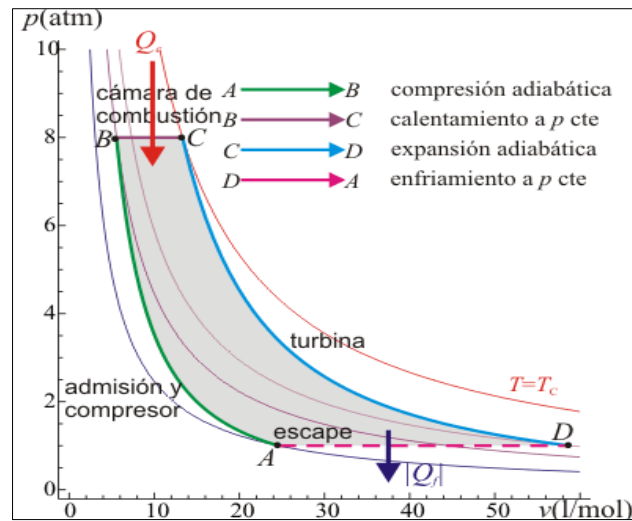
El aire caliente pasa por la turbina, a la cual mueve. En este paso el aire se expande y se enfría rápidamente, lo que se describe mediante una expansión adiabática $C \rightarrow D$.

e. Escape

Por último, el aire enfriado (pero a una temperatura mayor que la inicial) sale al exterior, técnicamente, este es un ciclo abierto ya que el aire que escapa no es el mismo que entra por la boca de la turbina, pero dado que sí entra en la misma cantidad y a la misma presión, se hace la aproximación de suponer una recirculación, en este modelo el aire de salida simplemente cede calor al ambiente y vuelve a entrar por la boca ya frío. En el diagrama PV esto corresponde a un enfriamiento a presión constante $D \rightarrow A$.

Figura 10

Diagrama de las etapas del Ciclo Brayton



Nota. Se muestra el diagrama completo desde la etapa de admisión hasta la de escape y cómo se comportan durante el ciclo y evalúa los resultados. Tomado de (Universidad de Sevilla, 2009)

2.3.3 Tipos de motores a reacción

a. Motores turbofán

El motor de turbina de gas turbofán es en principio el mismo que un turbohélice excepto que la hélice se sustituye por un ventilador de flujo axial con conducto cerrado, el ventilador puede ser parte de las palas del compresor de primera etapa o se puede montar como un juego separado de aspas del ventilador, las cuchillas están montadas hacia adelante del compresor, el principio general del motor turbofán es convertir más de la energía del combustible en presión, con más de la energía convertida a presión, de las principales ventajas del turbofán, es la producción de este empuje adicional sin aumentar el flujo combustible

El resultado final es el ahorro de combustible con el consiguiente aumento de alcance, porque una mayor parte de la energía del combustible se convierte en

presión en el motor turbofán, las etapas adicionales deben ser agregadas en la sección de la turbina para proporcionar la potencia para conducir el flujo, esto significa que queda menos energía y menos empuje desde el núcleo de los gases de escape.

Figura 11

Motor turbofán



Nota. Se muestra un gran ejemplar de un motor a reacción en este caso un motor turbofán. Tomado de (Federal Aviation Administration, 2018)

b. Motores turbohélice

El motor turbohélice es una combinación de un motor de turbina de gas, caja de cambios reductora y una hélice, los turbohélices son básicamente motores de turbina de gas, que tienen un compresor, cámara (s) de combustión, turbina y una boquilla de escape, todos los cuales funcionan de la misma manera que cualquier otro motor de gas.

Sin embargo, la diferencia es que la turbina del motor turbohélice normalmente tiene etapas adicionales para extraer energía para impulsar la hélice, además de operar el compresor y los accesorios de la turbina turbohélice transmite una mayor potencia hacia adelante a través de un eje y un tren de engranajes para

impulsar la hélice, el aumento de la potencia es generada por los gases de escape que pasan a través de las etapas adicionales de la turbina.

Figura 12

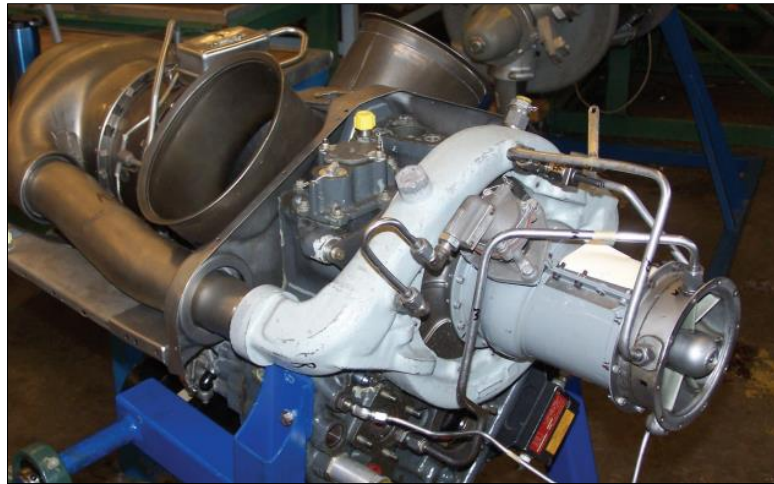
Motor turbohélice



Nota. Se muestra un gran ejemplar de un motor a reacción en este caso un motor turbohélice Pt6. Tomado de (Federal Aviation Administration, 2018)

c. Motores turboeje

Un motor de turbina de gas que entrega potencia a través de un eje para operar algo que no sea una hélice se conoce como un motor turboeje, el eje de salida puede acoplarse directamente a la turbina del motor, o el eje puede ser impulsado por una turbina propia (turbina libre) ubicada en la corriente de escape como se mencionó con el turbohélice, la turbina libre gira de forma independiente, este principio se utiliza ampliamente en la producción actual de motores turboeje, la salida del motor turboeje se mide en caballos de fuerza de empuje porque la salida de potencia es un eje giratorio.

Figura 13*Motor turboeje*

Nota. Se muestra un gran ejemplar de un motor a reacción en este caso un motor turboeje que se utiliza principalmente en los helicópteros. Tomado de (Federal Aviation Administration, 2018)

2.3.4 Secciones y sistemas de un motor turboeje

A un motor de turbina de gas que entrega su potencia a través de un eje para operar a algo que no sea una hélice, se le conoce como un motor turboeje. los motores turboejes son similares a los motores turbohélices, la toma de fuerza puede acoplarse directamente a la turbina del motor, o el eje puede estar arrastrado por su propia turbina (turbina libre) localizada en la corriente de gases de escape. La turbina libre gira independientemente. Este principio es el que se usa ampliamente en los motores turboejes que se fabrican actualmente. Normalmente, el motor turboeje se usa para propulsar helicópteros porque operan más rentablemente a las r.p.m. requeridas, Las ruedas de turbina en un motor turboeje proporcionan potencia para el compresor del motor y para el sistema de rotor principal a través de un eje de extracción de potencia.

a. Sección compresora

El compresor de los motores turboejes puede consistir en un compresor axial, un compresor centrífugo, o una combinación de ambos. El número de escalones del compresor dependerá de la cantidad de aire y elevación de presión requeridas para cada motor en particular.

b. Sección de combustión

Como en todos los motores de turbina de gas, la combustión es continua. Un encendedor se usa solo durante la puesta en marcha del motor para prender la mezcla aire - combustible. Una vez que la mezcla aire combustible ha prendido, esta continuará ardiendo tanto tiempo como esté presente. Si hubiese una interrupción de combustible, aire, o ambos, la combustión cesaría. A esto se le conoce como apagado de llama (flame – out), y es necesario volver a encender el motor. Algunos helicópteros están equipados con un sistema de auto – encendido en vuelo, que automáticamente activa los encendedores para comenzar la combustión si ocurriese un apagado de llama.

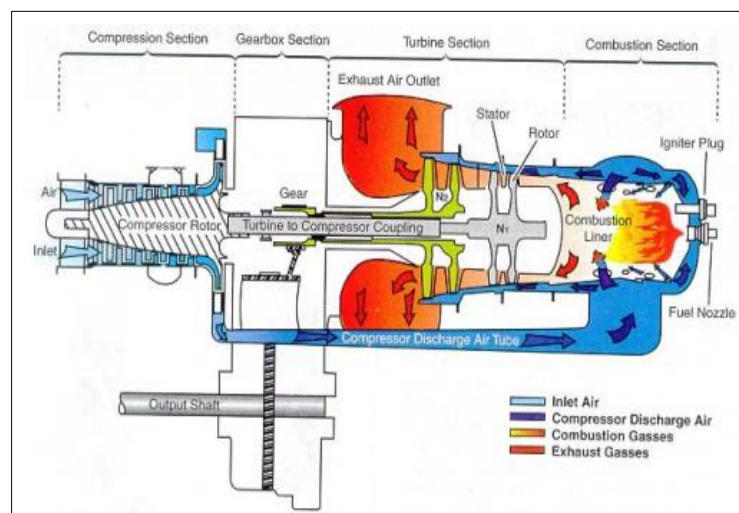
c. Sección de turbina

La sección de turbina consiste en una serie de ruedas de turbina que se usan para arrastrar a la sección del compresor y al sistema de rotor, la primera etapa, a la que normalmente se le conoce como generador de gas o N1 puede consistir en una o más ruedas de turbina, esta etapa arrastra a los componentes necesarios para completar el ciclo del motor haciendo que este se auto mantenga. Los componentes arrastrados normalmente por la etapa de N1 son el compresor, la bomba de aceite, y la bomba de combustible. La segunda etapa, que también puede consistir en una o más ruedas, se dedica a arrastrar al sistema de rotor principal y a los accesorios de la caja de engranajes del motor.

En la mayoría de los conjuntos de turbinas usados en los helicópteros, la primera y segunda etapas de turbina no están mecánicamente conectadas entre sí, más bien, están montadas en ejes independientes y pueden girar libremente una con respecto a la otra. A esto se le conoce como “turbina libre”. Cuando el motor está funcionando, los gases de la combustión pasan a través de la primera etapa de turbina para arrastrar al rotor del compresor, y luego pasan a través de la segunda etapa de turbina independiente, la cual gira a la caja de engranajes para arrastrar al eje de potencia. (Rivas, 2003)

Figura 14

Secciones y sistemas de un motor turboeje



Nota. Se muestra un esquema completo de las secciones y sistemas de un motor a reacción turbo eje y sus etapas en cada proceso de su funcionamiento. Tomado de (Rivas, 2003)

d. Sistemas de transmisión

El sistema de transmisión transfiere la potencia desde el motor al rotor principal, al rotor de cola y a otros accesorios, los principales componentes del sistema de transmisión son la transmisión del rotor principal, el sistema de arrastre

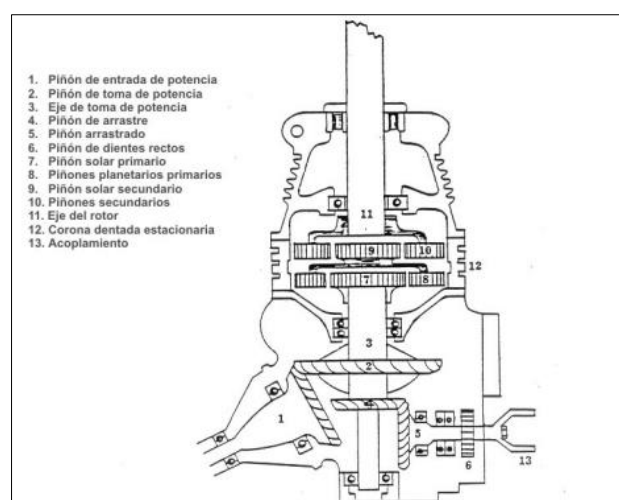
del rotor de cola, el embrague, y la unidad de desembrague del rotor, las transmisiones de los helicópteros están normalmente lubricadas y refrigeradas con su propio suministro de aceite, para comprobar el nivel de aceite se facilita un visor. Algunas transmisiones tienen detectores de partículas localizados en el sumidero del cárter, estos detectores están eléctricamente conectados a luces de aviso localizadas sobre el panel de instrumentos del piloto que se iluminan en caso de presentarse algún problema interno.

- **Transmisión del Rotor Principal**

El propósito de la transmisión del rotor principal es reducir la r.p.m. de salida del eje del motor a las r.p.m. óptimas del rotor. Esta reducción es diferente para los distintos tipos de helicópteros, pero como ejemplo, supongamos que las r.p.m. del motor de un helicóptero específico son 2.700. Para conseguir una velocidad del rotor de 450 r.p.m. se requeriría una reducción de 6 a 1. Una reducción de 9 a 1 significaría que el rotor giraría a 300 r.p.m. (Rivas, 2003)

Figura 15

Transmisión del rotor principal



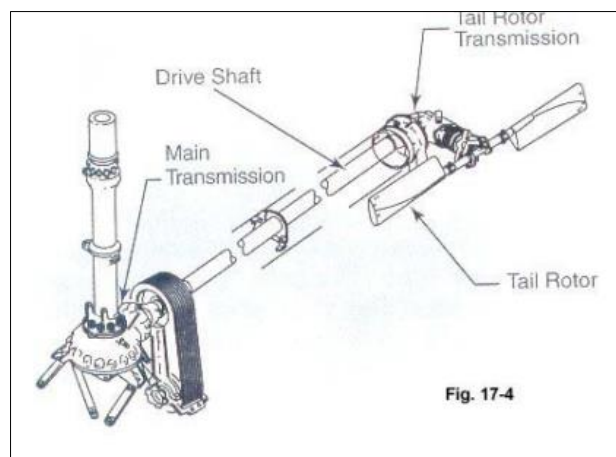
Nota. Se muestran los componentes y partes que componen a la transmisión del rotor principal. Tomado de (Rivas, 2003)

- **Sistema de Arrastre del Rotor de Cola**

El sistema de arrastre del rotor de cola consiste en un eje de arrastre del rotor de cola propulsado desde la transmisión principal y una transmisión de rotor de cola montada en el extremo de la estructura de cola. El eje de arrastre puede consistir en un eje largo o una serie de ejes más cortos conectados a ambos extremos con acoplamientos flexibles, esto le permite al eje de arrastre flexar con la estructura de cola. La transmisión del rotor de cola proporciona un arrastre en ángulo recto para el rotor de cola y también puede incluir engranajes para el ajuste óptimo de las r.p.m. del rotor de cola.

Figura 16

Sistema de arrastre de rotor de cola



Nota. Se muestran el sistema completo de arrastre de rotor de cola con todas sus partes. Tomado de (Rivas, 2003)

- **El embrague**

En un avión convencional, el motor y la hélice están permanentemente conectados. Sin embargo, en un helicóptero existe una relación distinta entre el motor y el rotor debido al mayor peso de un rotor en relación con la potencia del motor, según se compara con el peso de una hélice y la potencia en un avión, el

rotor debe desconectarse del motor cuando se conecta la puesta en marcha. Un embrague permite al motor ponerse en marcha y luego gradualmente recoger la carga del rotor.

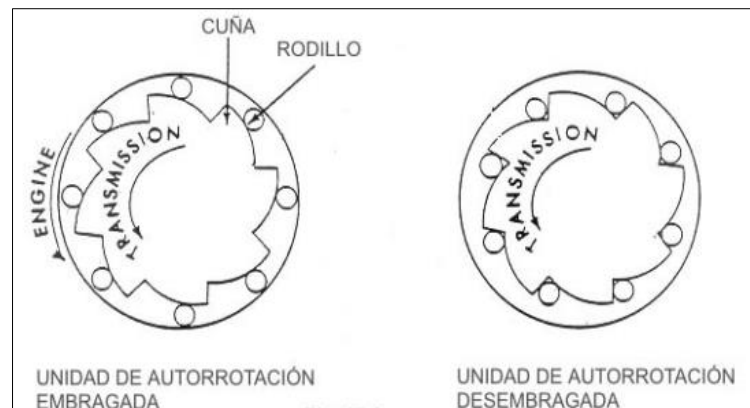
En los motores de turbina libre, no se requiere embrague, ya que la turbina del generador de gas está esencialmente desconectada de la turbina de potencia, cuando el motor se pone en marcha, la turbina de potencia opone poca resistencia. Esto le permite a la turbina del generador de gas acelerar a la velocidad normal de ralentí sin la resistencia impuesta por la carga del sistema de transmisión y de rotor. A medida que la presión del gas aumenta a través de la turbina de potencia, las palas del rotor comienzan a girar, al principio lentamente, y luego acelerando gradualmente hasta las r.p.m. normales de funcionamiento.

- **Unidad de Autorrotación**

En un helicóptero la sustentación se proporciona por medio de la rotación de perfiles aerodinámicos, estos perfiles aerodinámicos deben quedar libres para girar en caso de fallos, la unidad de autorrotación automáticamente desembraga al motor del rotor principal cuando las r.p.m. del motor son menores que las r.p.m. del rotor principal, esto le permite al rotor principal continuar girando a velocidades normales de vuelo. El conjunto más común de unidad de autorrotación consiste en un embrague tipo cuñas localizado entre el motor y la transmisión del rotor principal sobre la caja de engranajes del motor, cuando el motor arrastra al rotor, los planos inclinados en las cuñas del embrague fuerzan a los rodillos contra un tambor exterior, esto evita que el motor exceda las r.p.m. de la transmisión. si el motor falla, los rodillos se mueven hacia dentro, permitiendo que el tambor exterior exceda la velocidad de la porción interior, entonces la transmisión puede exceder la velocidad del motor. En esta condición, la velocidad del motor es menor que la del sistema de arrastre, y el helicóptero se encuentra en estado de autorrotación. (Rivas, 2003)

Figura 17

Sistema de embrague y unidad de autorrotación



Nota. Se muestran la posición y funcionamiento del sistema de transmisión de autorrotación del embrague. Tomado de (Rivas, 2003)

2.4 Helicóptero Mi-171

2.4.1 Historia del Mi-171

Desarrollado por diseñadores soviéticos, para transporte de civiles, pero también existió una modificación diseñada para la Fuerza Aérea de Rusia, ejemplar de ventas internacionales de operación rusa, es un bimotor con capacidad para transportar desde cohetes hasta misiles guiados antitanque con su tripulación y personal. El Mi-171 se le consideró como una modificación mejorada del Mi-8, la máquina fue actualizada por Kazan Helicopter Plant en 1977, los principales cambios afectaron a en su totalidad de las piezas y conjuntos de máquinas así también se alargó el fuselaje del helicóptero aumentando la carga de la bodega siendo posible transportar hasta 29 paracaidistas en plena marcha, los mayores cambios se produjeron con el equipo de a bordo de la máquina. (Avia.pro, 2015)

La versión militar del Mi-171 tenía un uso muy extendido en diversas misiones de combate. Esta máquina ha sido creada en la ciudad de Ulan-Ude con el

apoyo directo de oficina MI de diseño, en el desarrollo y fabricación del helicóptero se tuvieron en cuenta los deseos de los clientes, en este modelo era la central eléctrica, que evitó el poder de su predecesor. tiene significativamente mejores características de rendimiento y es capaz de operar en condiciones climáticas difíciles, con respecto a la aparición de la máquina, es casi el mismo que el Mi-8. Sin embargo, debido a un hardware nuevo y más potente, que puede elevarse por encima y tiene una mayor capacidad de elevación. Este voló por primera vez en 1961 y se utilizó como base para desarrollar el helicóptero de ataque Mi-24 Hind, (Avia.pro, 2015)

Figura 18

Helicóptero Mi-171



Nota. Se muestra un Helicóptero Mil-Mi-171, con algunas modificaciones, pertenece a la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

2.4.2 Características generales MI-171

es un helicóptero biturbina, pesado y de largo alcance para el transporte de tropas o carga, tiene un tren de aterrizaje fijo con tres ruedas, capacidad de portar tanques de combustible externos, disipadores de calor para reducir firma calórica, también puede ser artillado y blindado con extensiones alares a los costados del

fuselaje para operaciones de combate y apoyo aéreo cercano, pero a costa de reducir la capacidad de carga. Existen versiones para el transporte de pasajeros civiles, carga, guerra electrónica, radar, vigilancia naval, combate y apoyo de soldados en tierra, para la lucha contra la insurgencia, narcotráfico, terrorismo, piratería, combatir incendios, escolta de aviones de combate de ataque a tierra y rescate de soldados heridos en el campo de batalla. El objetivo principal de la Mi-171 es la destrucción de objetivos blindados ambas subterráneas y superficiales. El fuego puede destruir tantos objetos fijos y los objetos que se mueven. Además de estas capacidades, la máquina puede mantener y pelear. El ejército utiliza este helicóptero también para el aterrizaje y el transporte de material militar.

Después de las terminaciones del helicóptero quedó equipado con un motor más potente en altitud de propulsión, la máquina con el nuevo motor demostró probarse bastante bien en vuelo en el año 85, después de dos años, la máquina es rediseñada, lo que le permite llevar a cabo un aterrizaje en altitudes de hasta 4 kilómetros, y el movimiento horizontal de esta máquina se, produce incluso a la altura de 6 kilómetros sobre el nivel del mar, todas las innovaciones también han dado lugar a un aumento en el rango de los vuelos y la velocidad de ascenso. (Avia.pro, 2015)

Es una unidad de vuelo de la nueva generación, que incorpora las características más positivas de los modelos anteriores de helicópteros militares de este tipo, para cumplir eficazmente las misiones de combate, el helicóptero Mi-171, está equipado con todo un conjunto de varias armas. Para luchar contra el poder de las ametralladoras y misiles están instalados en él. Además, el helicóptero está equipado con una protección activa. La máquina tiene un gran arsenal de equipos para misiones especiales, debido a las operaciones militares recientes en el equipo Mi-171 se puede realizar en cualquier momento y bajo cualquier condición climática,

la ventaja de este modelo es el hecho de que puede ser utilizado en todas las zonas climáticas de nuestro planeta, mediante el establecimiento de un sistema de EVU del helicóptero, que protege el tubo de escape, la aeronave tiene una gran supervivencia de combate, el helicóptero está equipado también con unos reflectores de reposición automática.

El Mi-171 tiene placas de armadura previstas que se pueden retirar en caso de inutilidad, en el tramo o para aumentar la autonomía de vuelo del helicóptero puede ser equipado con tanques de gota adicionales, así como es posible instalar el depósito adicional en el interior del compartimiento de carga. Es un helicóptero de transporte de doble turbina, mediano diseñado por los soviéticos. También hay versiones armadas con cañones, se encuentra entre los helicópteros más producidos del mundo, es utilizado por más de 50 países, Rusia es el principal productor y el mayor operador del helicóptero Mi-171. (Avia.pro, 2015)

Tabla 1

Características generales del Mi-171

CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DEL MI-171	
Tripulación:	4 (Piloto, copiloto, ingeniero de vuelo y técnico)
Capacidad:	32 pasajeros
Consumo de combustible:	600 kg/h
Planta motriz:	2x Turbopropulsor Klimov TV3-117VM.
	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia: 1633 kW (2251 HP; 2221 CV) cada uno.
Peso máximo al despegue:	13 000 kg (28 652 lb)
Peso cargado:	11 100 kg (24 464,4 lb)
Peso cargado:	11 100 kg (24 464,4 lb)
Peso vacío:	7100 kg (15 648,4 lb)
Área circular:	356 m ² (3832,1 ft ²)
Altura:	4,8 m (15,6 ft)
Diámetro rotor principal:	21,4 m (70 ft)
Longitud:	18,4 m (60,4 ft)
Carga:	4000 kg (8816 lb)

Nota. La tabla muestra las características generales de la aeronave Mi-171. Tomado de (Stone, 2018)

2.4.3 Modificaciones del MI-171

Existe una amplia variedad de máquinas de esta clase que están diseñados y contruidos para asignaciones especiales, la aeronave más común un Mi-171SH, este es un helicóptero de transporte militar, que está diseñado para transportar 16 paracaidistas y carga militar, esta máquina tiene las armas que pueden destruir objetivos en tierra y mar, así como la mano de obra. Una modificación más moderna, es considerado como un helicóptero, que tiene una planta de energía de turbina de gas y un nuevo sistema de navegación.

Para trabajar en el Ártico y al operar en condiciones climáticas muy difíciles creado una máquina Mi-171-BA, volando es posible incluso en la noche polar. El modelo de exportación del Mi-171A1 Estados Unidos tiene los certificados de calidad y cumple con todos los requisitos del vuelo, básicamente, el coche se entrega a Brasil. Esta máquina tiene un mucho mejor uso de la seguridad. El desarrollo más reciente es un Mil Mi-171A2. En el corazón de esta máquina estaban involucrados en los últimos acontecimientos y tener en cuenta todos los inconvenientes anteriores de helicópteros. Las pruebas de vuelo esta máquina ha comenzado solamente 2014 años.

Tabla 2

Variantes y principales modificaciones del Mi-171

VARIANTES Y MODIFICACIONES DEL MI-171	
MI-17	Versión mejorada del Mi-8 aunque básica, propulsado por 2 motores turboeje Klimov TV3-117MT.
Mi-17-1B	Versión artillada.
Mi-17-1M	Versión para operar a gran altitud, propulsado por 2 motores turboeje Klimov TV3-117VM.
Mi-17KF	Versión de exportación equipado con nueva aviónica.
Mi-17P	Versión de exportación para transporte de pasajeros.
Mi-19	Versión para comando de MBT's e infantería motorizada (basado en el fuselaje del Mi-8MT/Mi-17).

VARIANTES Y MODIFICACIONES DEL MI-171

Mi-19R	Versión similar al Mi-19, pero para comando de artillería (basado en el fuselaje del Mi-8MT/Mi-17).
Mi-8AMT	Versión del Mi-17 Hip-H desarmada para transporte civil.
Mi-8MT	Versión actualizada del Mi-8T, propulsado por dos Klimov TV3-117MT turboeje de 3846 shp
Mi-8MTV	Versión Hot and High, equipado con cabina presurizada y 2 motores turboeje Klimov TV3-117VM.
Mi-8MTV-1 (Mi-17-IV)	Versión del Mi-8MTV de transporte militar, artillado y equipado con radar, para operaciones en altura.
Mi-8MTV-2	Versión militar del Mi-8MTV, equipado con radar, 6 pilones, porta cohetes, misiles y otras armas.
Mi-8MTV-3	Versión militar del Mi-8MTV-2, equipado con 4 pilones de armas.
Mi-8MTV-5-Ga	Versión civil del Mi-8MTV-5.
Mi-8MTV-5 (Mi-17-V5)	Designación de exportación Mi-17MD o Mi-17-V5. Versión militar de transporte y utilitario. La diferencia con el Mi-17-1V está en la estructura del fuselaje.
Mi-8MTV-6 (Mi-17-V6)	Versión de transición entre el Mi-17-V5 y el Mi-17-V7. Fue presentado por Kazan Helicopters en la Ferie Aeroespacial Internacional MAKS-2001. Aviónica a base de pantallas multifuncionales, grupo propulsor totalmente modernizado con los motores VK-2500 (limitación de hasta 2050 HP.
Mi-8MTV-7 (Mi-17-V7)	Fuselaje del MH-17-V5, pero provista con motores VK-2500 con potencia máxima de despegue de 2400 HP, rotor sustentador de mayor rendimiento y palas fabricadas en materiales compuestos; el rotor de cola es en X
Mi-8MTO	Versión de ataque nocturno derivado del Mi-8MT y Mi-MTV.
Mi-8AMTSh	Variante del Mi-8AMT construido en Ulan-Ude, con puerta larga en el lado derecho, placas de kevlar en toda el área de la cabina y los motores.
Mi-17MD	Versión de exportación del Mi-8MTV-5, propulsado por 2 motores turboeje Klimov TV3-117VM.
Mi-171	Equipada con motores turboeje más potentes.
Mi-171E	Transporte multipropósito, es el más moderno producido especializado para operaciones de búsqueda y rescate (SAR) con un cable de rescate, lucha contra incendios, patrullaje terrestre y marítimo.
Mi-171 Sh	Variante de exportación del Mi-8AMTSh, con aviónica de última generación, propulsado por 2 motores Isotov TV3-117M de 2200 CV, velocidad de crucero de 250 km/h., alcance de 580 km.
Mi-171A2	Modernización profunda del Mi-171A1. Es el helicóptero-base para las futuras versiones del nuevo HIP.

Nota. La tabla muestra las *principales variantes y modificaciones detalladas* de la aeronave Mi-171. Tomado de (Stone, 2018)

2.4.4 Especificaciones técnicas del MI-171

Desarrollado a partir de la base del fuselaje del anterior diseño del Mil Mi-8, el nuevo y modernizado Mi-17 fue equipado con los motores más grandes Klimov TV3-117Mt, rotores nuevos y la transmisión desarrolladas para el diseño de la versión más moderna Mil Mi-14, una variante de helicóptero naval y de transporte de tropas, junto con las mejoras del fuselaje para poder transportar cargas más pesadas, el rotor de cola está montado en el lado izquierdo, en el anterior modelo estaba montado en el costado derecho, el nuevo modelo para exportación es más potente, tiene mayor capacidad de carga y velocidad, alimentado por dos turboejes Klimov TV3-117Mt, 1.950 hp, cada uno con una velocidad máxima de 173 mph y un alcance de 280 millas. (Stone, 2018)

Tabla 3

Especificaciones técnicas del helicóptero-MI-171

Especificaciones técnicas del MI-171	
RENDIMIENTO	
Velocidad máxima operativa (V_{no})	250 km/h (155 MPH; 135 kt)
Alcance	950 km (513 nmi; 590 mi)
Techo de vuelo	6000 m (19 685 ft)
Régimen de ascenso	8 m/s (1575 ft/min)
ARMAMENTO	
Puntos de anclaje	6 con una capacidad de 1500 kg, para cargar una combinación de:
Cohetes	Cohetes de 57 mm
Misiles	<ul style="list-style-type: none"> • 9M17 Phalanga • 9K38 Igla

Nota. La tabla muestra las especificaciones técnicas de la aeronave Mi-171. Tomado de (Stone, 2018)

2.5 Motores Klimov TB3-117

2.5.1 Historia

El Klimov TB3-117 es un motor aeronáutico de turbina de gas ruso, se utiliza

en la mayoría de los helicópteros de ataque, utilitarios y de elevación media diseñados por las oficinas de diseño de Mil y Kamov, el motor turbosje TB3-117 se desarrolló en 1974. Más tarde, el Klimov TB3-117 se instaló en el 95% de todos los helicópteros diseñados por Mil and Kamov Engineering Center, el motor se ha producido en muchas variantes.

2.5.2 Características generales

El motor de turbina provista del eje TB3-117 está destinado para ser colocado en el helicóptero. Por sus características técnicas y cualidades de empleo el motor corresponde a las normas técnicas modernas que se plantean ante los motores de esta clase. El motor TB3-117 se emplea formando parte de la planta de poder del helicóptero que se compone de dos motores. Los motores derecho e izquierdo de la planta de poder son intercambiables a condición de que sea virado el tubo de escape. La peculiaridad de la estructura del motor TB3-117 consiste en que este cuenta con 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 rotor. Desde el punto de vista de estructura y empleo esta particularidad tiene una serie de ventajas a saber, como:

- Permite obtener la frecuencia deseada de rotación del rotor de la turbina libre independientemente de la frecuencia de rotación del rotor del turbocompresor del motor.
- Fácil aceleración del rotor del turbocompresor, al arrancar el motor.
- Proporciona los consumos óptimos de combustible en distintas condiciones de empleo del motor.
- hace necesario el empleo del acoplamiento de fricción en la planta de poder del helicóptero.

Tabla 4

Características generales del motor turboeje Klimov TB3-117

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Tipo:	Turboeje de turbina libre
Longitud:	2.055 mm (80,9 pulgadas)
Diámetro:	728 mm (28,7 pulgadas) (altura)
Peso en seco:	294 kg (648 lb)

Nota. La tabla muestra las características generales del motor TB3-117. Tomado de (Brassey, 2000)

2.5.3 Especificaciones técnicas

El motor se puede emplear en el helicóptero tanto con el protector contra el polvo (PCP) montado a la entrada, como sin el PCP. El motor consta de los siguientes conjuntos y sistemas principales:

- Compresor axial: doce etapas con los álabes guías de entrada (AGE) y álabes guías (AG), componen: estator, conjunto de álabes guías de entrada, rotor, primer soporte y segundo soporte, (apoyos del motor).
- Cámara de combustión circular: de flujo directo, se compone de los siguientes conjuntos: cuerpo de la cámara de combustión o cuerpo exterior del difusor, cuerpo interior del difusor, tubo de llamas y colector de combustible con doce inyectores.
- Conjunto de turbinas: la turbina libre es axial, de dos etapas, consta de: cuerpos de los conjuntos de tobera de la tercera y cuarta etapas de la turbina, rotor de la turbina libre, cuarto y quinto soportes.
- Dispositivo de escape: consta del cuerpo del cuarto y quinto soporte, tubo de escape, abrazadera de acoplamiento.
- Accionamientos de dispositivos auxiliares: consta de accionamiento central, caja de accionamientos, accionamiento del regulador de la

frecuencia de rotación de la turbina libre.

- Sistema de lubricación y aeración: o sistema de aceite comprende de: filtro de aceite, unidad de aceite, bomba de evacuación del aceite de la caja de accionamientos, válvula de corte, respiradero, señalador de las virutas, válvula de derivación del sistema de evacuación, filtro protector, radiador, tanque de aceite con depósito de expansión señalizador de presión mínima tuberías.
- Sistema de combustible
- Sistema de toma de aire
- Instrumentos de control del motor
- Sistema de arranque. (Klimov, 2001)

Tabla 5

Especificaciones técnicas del motor turboeje Klimov TB3-117

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Potencia máxima de salida:	1.640 kW (2.200 shp) (despegue)
Relación de presión total:	9,4: 1
Flujo másico de aire:	8,7 kg / s (19 lb / s) mínimo
Temperatura de entrada de la turbina:	920–990 °C
Consumo específico de combustible:	0,308 kg / kW / h (0,507 lb / shp / h)
Relación potencia / peso	5,58 kW / kg

Nota. La tabla muestra las especificaciones técnicas del motor TB3-117. Tomado de (Brassey, 2000)

2.5.4 Variantes y mejoras del motor

Tabla 6

Variantes y mejoras del motor turboeje Klimov TB3-117

VARIANTES Y MEJORAS		
NOMBRE	MODIFICACIONES	AÑO
TV3-117MT	("MT" significa "transporte modernizado") - para helicópteros Mi-8MT / Mi-17 y sus variantes.	1977

NOMBRE	MODIFICACIONES	AÑO
TV3-117KM	("KM" significa "Kamov, marino") - para helicópteros Ka-27	
TV3-117V	("V" significa "gran altitud") - para helicópteros Mi-24 operados en las montañas (particularmente en Afganistán).	1980
TV3-117VK	("VK" significa "gran altitud, Kamov") - un modelo similar al motor TV3-117V, pero adaptado a los helicópteros Ka-27, Ka-29 y Ka-32. Los modelos de helicópteros de exportación estaban equipados con motores TV3-117VKR con una potencia nominal y de crucero más alta ("VKR" significa "gran altitud, Kamov, potencia"); fueron diseñados originalmente para máquinas Ka-28	1985
TV3-117VM	("VM" significa "gran altitud, modernizado") - para helicópteros Mi-28 y posteriormente instalado también en los modelos Mi-8MT / Mi-17. Este motor cuenta con un cambio automático a energía de emergencia.	1986
TV3-117VMA	("VMA" significa "gran altitud, modernizado, modelo A") - para helicópteros Ka-50. Actualmente está instalado en máquinas Ka-27, Ka-29, Ka-31, Mi-24, Mi-28A / N y Ka-32. Este motor recibió certificados de tipo del IAC Aviation Registry y de Transport Canada.	1986
Serie TV3-117VMA 02	Una versión de TV3-117VMA para helicópteros civiles Ka-32. Los certificados de tipo para este motor fueron otorgados por IAC Aviation Register, Transport Canada y Suiza. La producción en masa comenzó en 1993	1993
TV3-117VMA-SBM1	una versión turbohélice de 2000 hp para aviones An-140 producida por la compañía Antonov.	

Nota. La tabla muestra las últimas variaciones y modificaciones más importantes del motor TB3-117MT. Tomado de (Brassey, 2000)

2.6 Motor de Turbina de Gas AI-9V

2.6.1 Historia

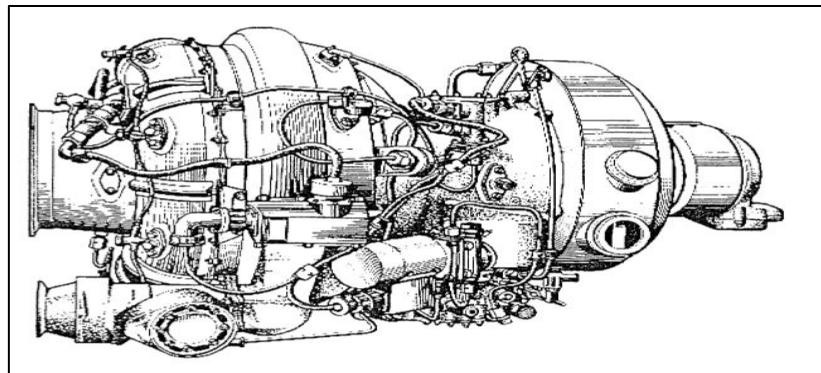
Instalado en helicópteros (Mi-171, Mi-172, Mi-17, Mi-8, Mi-24), estuvo en producción comercial desde 1974, desarrollado y producido por Ivchenko-Progress and Motor Sich, es utilizado como fuente de energía que realiza la entrega de aire comprimido al sistema de arranque de los motores de helicópteros y suministra energía al sistema de energía eléctrica del helicóptero al momento de verificar el equipo eléctrico y radio del helicóptero. (Ivchenko-Progress, 2020)

2.6.2 Características generales

La unidad se utiliza como fuente de energía en tierra y en vuelo que efectúa el suministro de aire comprimido al sistema de arranque de los motores del helicóptero y energía eléctrica a la red eléctrica del helicóptero cuando se verifica el equipo eléctrico y de radio del helicóptero.

Figura 19

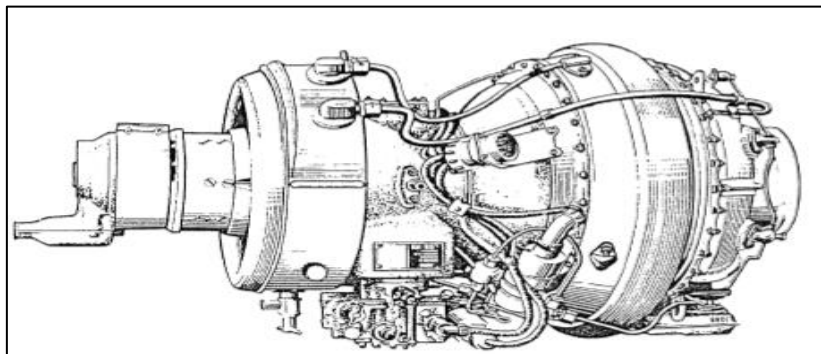
Motor de Turbina de Gas AI-9V



Nota. Se muestra el Motor de Turbina de Gas AI-9V o Unidad de potencia Auxiliar (APU), vista de la derecha. Tomado de (Ivchenko, 2001).

Figura 20

Motor de Turbina de Gas AI-9V



Nota. Se muestra el Motor de Turbina de Gas AI-9V o Unidad de potencia Auxiliar (APU), vista de la izquierda. Tomado de (Ivchenko, 2001).

Tabla 7*Rendimiento y desempeño del Motor de Turbina de Gas AI-9V*

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL APU AI-9V	
Velocidad de rotación nominal, min⁻¹	36,750 ± 475
Flujo de aire sangrado, kg / seg	0,4
Presión de aire de sangrado, total, MPa, no menos de	0,29
Temperatura del aire de sangrado, °C	160
Consumo de combustible, kg / h, no más de	80
Dimensiones, mm	888 x 530 x 490
Peso, seco, kg	65

Nota. La tabla muestra algunas especificaciones tanto del rendimiento como del desempeño del Motor (APU) AI-9B. Recuperado de (Ivchenko-Progress, 2020).

2.6.3 Especificaciones técnicas

El motor AI-9V constituye estructuralmente un grupo independiente que dispone de su propio equipo de combustible, sistema autónomo de aceite, sistema de regulación de combustible, arrancador-generator y bobina de encendido, el motor consta principalmente de los siguientes grupos.

a. Compresor

EL compresor del motor es centrífugo, de una etapa, con rodete dispuesto en forma de cantiléver del tipo semiabierto y difusor radial. El compresor consta de los siguientes conjuntos y piezas principales:

- 1) Cuerpo del rotor
- 2) Envolvente exterior
- 3) Rotor
- 4) Difusor radial
- 5) Cuerpo delantero con amortiguador
- 6) Anillos de inyector.

El cuerpo del rotor es soldado y consta del cuerpo, diafragma, cono y bandeja. La envolvente exterior consta de la envolvente interior, envolvente exterior, montajes que sirven de elementos de unión entre la envolvente exterior e interior, y recipiente de aire. El difusor radial está constituido por un disco cónico con 27 álabes de tope dispuestos uniformemente por la circunferencia. La superficie cónica del disco de difusor junto con el cuerpo delantero forma detrás del rodete del compresor los difusores sin aletas y con aletas.

El amortiguador (dispositivo contra inestabilidad) junto con el cuerpo delantero forma una cavidad que se comunica con el conducto de aire del rodete del compresor mediante 18 orificios. La superficie interior perfilada del cuerpo delantero tiene un recubrimiento especial que permite asegurar una holgura mínima entre la rueda y el cuerpo delantero. En el interior del cuerpo del rotor se colocan a presión dos anillos de inyector que proporcionan el aceite para lubricar el cojinete de bolas delantero y el cojinete de rodillos trasero del rotor.

El conjunto del rotor del motor comprende; árbol con turbina, cojinete de rodillos, cojinete de bolas, piezas de empaquetadura de contacto que no se gasta y rodete del compresor dispuesto en forma cantiléver. El rodete consta del juego de álabes directores de entrada y rueda. La rueda y el juego de álabes directores de entrada disponen de 22 álabes radiales.

La rueda lleva en el tope posterior dos salientes circulares con perfil serriforme que forman con las ranuras circulares del diafragma del cuerpo del rotor una empaquetadura frontal de laberinto. La rueda se coloca con las estrías interiores del casquillo de acero cobre el árbol del turbocompresor y se sujeta mediante la tuerca. En calidad del apoyo delantero del rotor se emplea el cojinete de bolas.

Figura 21*Compresor del Motor de Turbina de Gas AI-9V*

Nota. Se muestra el compresor del Motor de Turbina de Gas AI-9V o Unidad de potencia Auxiliar (APU), en el proceso de desmontaje de su módulo de recubrimiento.

b. Controles del motor (APU)

El cuerpo de los accionamientos sirve para alojar los grupos del motor y sus accionamientos, así como para alojar los apoyos delanteros de fijación del motor al montarlo en el helicóptero (avión). Las paredes del cuerpo de los accionamientos constituyen una zona de flujo que es a la vez el conducto de aire que facilita el suministro de aire al compresor. En la cavidad del cuerpo se disponen el accionamiento (reductor) del arrancador-generator y accionamiento de las bombas de combustible y de aceite.

El cuerpo de los accionamientos consta de los siguientes conjuntos principales:

- 1) Accionamiento central
- 2) Reductor y cuerpo en el cual van montados el reductor y accionamiento central.

El cuerpo de los accionamientos constituye una pieza fundida de aleación a base de magnesio. Las camisas exterior e interior del cuerpo están unidas entre sí mediante cuatro aletas-montantes, los montantes verticales son huecos. El montante inferior sirve para alojar el árbol del accionamiento de la bomba de aceite y bomba de control automático de combustible. En la brida delantera de la camisa exterior del cuerpo va fijado el tanque de aceite en forma de un toro que sirve a la vez de la toma de aire.

En la parte interior del cuerpo hay tres bridas que facilitan la fijación del arrancador-generador, reductor y accionamiento central. En la parte inferior del cuerpo de los accionamientos hay un apéndice de caja desarrollado que sirve de una capacidad de aceite adicional y se comunica con el tanque de aceite mediante dos casquillos. La bomba de aceite se fija a la brida del cuerpo de los accionamientos con ayuda de cuatro espárragos.

La bomba de control automático de combustible se fija mediante espárragos. Cuatro de ellos están montados en el cuerpo de los accionamientos y pasan por el cuerpo de la bomba de aceite. Dos espárragos están montados en el cuerpo de la bomba de aceite. Por la derecha, abajo, al apéndice de la caja del cuerpo de los accionamientos se fija la bomba de combustible de arranque junto con el accionamiento eléctrico.

El reductor está destinado para asegurar el funcionamiento del arrancador-generador tanto en el régimen de arranque como en el régimen de generador. El número de transmisión en el régimen de arranque del arrancador-generador al rotor es $i=4,9844$. El número de transmisión en el régimen de generador del rotor del motor al arrancador-generador es $i=0,2006$.

Figura 22

Cuerpo de accionamientos del Motor de Turbina de Gas AI-9V



Nota. Se muestra el Cuerpo de los accionamientos del Motor de Turbina de Gas AI-9V, que reposa en su base para transporte.

c. Cámara de combustión

El conjunto de la cámara de combustión comprende:

- Cuerpo de la cámara de combustión.
- Cámara de combustión.
- Inyectores operacionales de combustible.
- Ignitor.
- Colector de combustibles.

El cuerpo de la cámara de combustión es de estructura soldada. Está fabricado de acero laminado termorresistente, constituye el conjunto reforzado y sirve a la vez de la envolvente para la cámara de combustión. La cámara de combustión es de tipo anular, de contraflujo, de estructura soldada, fabricada de

acero laminado termorresistente. El uso de la cámara de contraflujo con giro del flujo de aire y gases a 180° permite disminuir considerablemente la longitud del motor. Los inyectores operacionales de combustible son monocanales, centrífugas, con toberas no regulables. Ocho inyectores operacionales están montados en el cuerpo de la cámara de combustión.

El ignitor va colocado en la brida de la cámara de combustión y consta del cuerpo, bujía, inyector y falda con deflector. El colector de combustible está constituido por una tubería entera de forma de anillo no cerrado y sirve para suministrar el combustible de la bomba de control automático y los inyectores operacionales.

Figura 23

Cámara de combustión del Motor de Turbina de Gas AI-9V



Nota. Se muestra el interior de la cámara de combustión del Motor de Turbina de Gas AI-9V de manera que esta se encuentra diseccionada.

d. Turbina

La turbina del motor es axial, reactiva, de una etapa; convierte la energía de calor del flujo de gases en el trabajo mecánico de giro del rotor del motor y de sus

grupos. La turbina consta del estator y rotor. El estator de la turbina consta de la tobera y cuerpo, dos anillos de apoyo elástico, anillos de inyector, laberinto y piezas de lubricación y empaquetadura del cojinete de rodillos de la turbina.

El rotor de la turbina consta del rodete, árbol, cojinete de rodillos, dos anillos de laberinto, casquillo espaciador y anillo de regulación. El rodete de la turbina se enfría por el aire secundario de la cámara de combustión que se hace llegar al disco de la turbina por los ocho orificios de la tobera.

Figura 24

Sección de la turbina del Motor de Turbina de Gas AI-9V



Nota. Se muestra el interior del Motor de Turbina de Gas AI-9V y su sección de turbina de manera que esta se encuentra diseccionada.

e. Tobera reactiva

Esta sirve para la expulsión de los gases de escape de la turbina, consta de una envolvente exterior con una brida y eyector unidos con dos varillas dispuestas en forma de cruz que asegura la libertad de dilataciones radiales de las piezas por cambios en la temperatura. En la envolvente exterior de la tobera, en el sector

horizontal, hay dos bridas para la fijación de los termopares que miden la temperatura de los gases en la salida de la turbina.

Figura 25

Tobera del Motor de Turbina de Gas AI-9V



Nota. Se muestra la tobera reactiva del Motor de Turbina de Gas AI-9V.

f. Recipiente de aire

Este recipiente es de tipo anular, soldado afuera del compresor, la cavidad del recipiente se comunica con la cavidad detrás del compresor, por una serie de orificios. En la parte derecha inferior del recipiente hay una tubuladura sobre la cual se monta la válvula de descarga de aire detrás del compresor.

Esta válvula de descarga de aire funciona automáticamente, que asegura estabilidad cuando entra en funcionamiento el compresor del motor en los regímenes de arranque y marcha en vacío por medio de descargar una parte del aire detrás del compresor a la atmósfera.

Figura 26

Recipiente de aire del Motor de Turbina de Gas AI-9V



Nota. Se muestra el recipiente de aire del Motor de Turbina de Gas AI-9V y su tubuladura en dónde va instalada la válvula de aire detrás del compresor KP9.

Tabla 8

Especificaciones técnicas del motor (APU) AI-9V

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
Designación convencional del motor:	AI-9V	
Tipo de motor:	De turbina de gas	
Dirección de rotación:	A la izquierda (si se mira por el lado de la tobera reactiva)	
Destinación:	Alimentación del sistema de arranque por aire de los motores principales en tierra y en vuelo, alimentación de la red a bordo del helicóptero con corriente continua para el efecto de comprobación del equipo eléctrico y de radio en tierra, alimentación de la red de a bordo con corriente eléctrica durante el vuelo en caso de fallar los generadores principales a temperatura del aire ambiente de -60° a +60° C.	
Revoluciones nominales, r.p.m.	36750±475	
Parámetros principales del motor en el régimen de toma de aire en las condiciones terrestres estándar (H=0, V=0, ASI) n=36750 r.p.m.:	Cantidad del aire tomado, kg/s	0,4
	Presio total del aire tomado, kgf/cm ² de depresión absoluta, no menos de	2,9
	Temperatura del aire tomado, °C, no menos de	160
	Consumo de combustible, kg/h, no más de	80
Compresor:	Tipo Centrifugo	
	Número de etapas 1	

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
Cámara de combustión:	Tipo	Anular
	Número de cabezas	8
	Número de inyectores	8
Turbina:	Inyector	Monocanal
	Tipo	Axial
Tobera reactiva:	Número de etapas	1
	Tipo	Divergente
Combustible (principal y de arranque):	Marca de combustible	T-1, TC-1 y PT GOST 10227-86 y mezclas de los mismos. Jp-1(USA) y ATK (Inglaterra)
	Presión a la entrada en el motor, kgf/cm ²	0,6-1,7
Bomba de control automático de combustible:	Designación convencional	HP-9B ó HP-9K
	Destinación	<ol style="list-style-type: none"> 1) Regular el suministro de combustible desde el inicio de arranque hasta las revoluciones nominales. 2) Cesar el suministro de combustible al motor 3) Cerrar el circuito eléctrico cuando el motor alcance las revoluciones nominales y mantener estas revoluciones.
Bomba de combustible de arranque:	Designación convencional	726
	Destinación	Suministrar el combustible al inyector de arranque e inyectores operacionales durante el arranque
Sistema de aceite:	Tipo	De engranajes, con accionamiento eléctrico.
	Marca de aceite	Autónomo, de circulación, bajo presión Aceite sintético B-3B (TY 38.101295-85), también AeroShell Turbine Oil 750 (Inglaterra)
	Consumo de aceite, lit/h, no más de	0,15
	Cantidad de aceite a llenar, lit	2,5
	Temperatura de aceite, °C, no más de	165
Sistema de arranque:	Tipo	Autónomo, eléctrico, automático
	Alimentación	De dos baterías de acumuladores 12CAM-28 o de la fuente de energía terrestre de corriente continua (de 27V±10%)
Arrancador-generador:	Designación convencional	CTT-3 serie II
	Tipo	De corriente continua
Bobina de encendido:	Número de transmisión	0,2006
	Designación convencional	KP-12CN
	Tipo	De vibración

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
Ignitor	Número de inyectores operacionales	1
	Designación convencional de la bujía de encendido	CA-55AHM-T
	Número de bujías de encendido	1
Masa en seco, kg, no más de	70	
Dimensiones exteriores, mm:	Largo	888
	Ancho	530
	Alto	490

Nota. La tabla muestra los parámetros en rangos mínimos y máximos de funcionamiento del motor TB3-117. Tomado de (Klimov, 2001).

2.6.4 Sistemas del Motor de Turbina de Gas AI-9V

a. Sistema de lubricación

El motor está dotado del sistema de aceite a presión autónomo, cerrado, de circulación que asegura el suministro de aceite para el efecto de lubricación y enfriamiento de todas las superficies en roce muy cargadas; las superficies poco cargadas se lubrican por barboteo. El sistema de aceite está hecho de modo que se asegure una circulación ininterrumpida de aceite, sección de evaluación de la bomba de aceite, separador de aire, tanque de aceite, bandeja del cuerpo de los accionamientos; sección impelente de la bomba de aceite, surtidores de lubricación y enfriamiento de las superficies en roce, sección de evaluación de la bomba de aceite.

La cavidad de los cojinetes del rotor se comunica mediante una tubería con el depósito de aireación que se encuentra en el tanque de aceite. El aceite separado del aire en el depósito de aireación, retorna al tanque de aceite, mientras el aire se canaliza por la tubería al eyector 22 de la tobera reactiva. El aire que contiene el aceite que se bombea, se separa de él en el separador de aire y entra en el depósito de aireación a través de un orificio especial.

b. Sistema de combustible

Este sistema asegura la alimentación del motor con combustible en todos los rangos de funcionamiento y consta del sistema de baja presión, sistema de arranque y sistema de alta presión. El sistema de baja presión está sobrepuesto en el helicóptero (avió) y comprende el tanque de combustible del helicóptero, bomba booster, llave de incendio, filtro de depuración fina y tuberías que unen los grupos mencionados.

El sistema de arranque está montado en el motor y comprende la bomba de arranque de combustible con accionamiento eléctrico, válvula electromagnética del combustible de arranque, inyector de encendido, válvula electromagnética de suministro de combustible durante el arranque a los inyectores operacionales, así como tuberías. El sistema de alta presión comprende la bomba de control automático de combustible, inyectores operacionales y tuberías.

c. Sistema de regulación de combustible

El regulador del sistema de combustible del motor consta de la bomba de control automático de combustible y bomba de combustible de arranque con accionamiento eléctrico, la bomba de combustible de arranque con accionamiento eléctrico es de engranajes y sirve para suministrar el combustible a los inyectores de encendido y operacionales del motor en el proceso de arranque del motor.

d. Sistema eléctrico de arranque y control de funcionamiento del motor

Este motor está dotado de varios grupos que junto con los equipos autónomo de arranque y régimen de generador que se monta en el helicóptero, aseguran el arranque y funcionamiento del motor en todos los regímenes, así como el control de funcionamiento del motor.

- **Arranque falso**

Para ejecutar el arranque falso el conmutador debe colocarse en la posición ARRANQUE FALSO. Este arranque se realiza en forma analógica al arranque del motor, pero sin conectar el encendido del motor. Los grupos del sistema de arranque se desconectan por el programador al pasar el tiempo prefijado. La duración del arranque falso según el ciclograma es de 20 segundos.

- **Giro en frío**

Para efectuar el giro en frío el conmutador debe colocarse en la posición GIRO FRÍO. A diferencia del arranque el giro en frío se realiza sin conectar el encendido ni suministrar el combustible de arranque y el combustible de trabajo. Dura 20 segundos el giro en frío.

- **Parada del motor**

Durante el arranque y funcionamiento en el régimen indicado se realiza a través de pulsar el botón PARADA, al pulsar el botón de parada del motor, se abre el circuito de conexión del relé P₁, y relé P₃. Como consecuencia de esto se desconectan los grupos del sistema de arranque del motor y la válvula de parada del motor. Y posteriormente el motor se para. Adicional el motor tiene parada de emergencia a revoluciones máximas, cuando el rotor del motor alcance las revoluciones máximas, se cierran los contactos del indicador de revoluciones máximas, la alimentación se transmite a la luz indicadora de parada y para la conexión del relé de parada.

Este relé acciona y abre el circuito de autobloqueo del relé P₃. El relé P₃ se desconecta y desenergiza la válvula de parada del motor, aquí también el motor se para. La luz de aviso de parada del motor está encendida ya que el relé se

autobloquea, para arrancar el motor es necesario desconectar y volver a conectar la alimentación de la red de a bordo.

- **Funcionamiento del régimen del generador**

Al terminarse el ciclo "Arranque del motor", el arrancador-generador pasa al régimen de generador, al coplamiento del arrancador-generador a la red de a bordo se realiza con ayuda del aparato complejo AMP, en aquel momento cuando la tensión del generador supere la tensión de la red de a bordo, si está conectado el interruptor y desenergizado el devanado del relé. El regulador de tensión mantiene constante la tensión en los bornes del arrancador-generador, la resistencia auxiliar permite regular la tensión del arrancador-generador dentro de los límites de $\pm 10\%$. Para el efecto de protección de la red eléctrica contra sobretensión se emplea el DAPS.

Capítulo III

3. Desarrollo del tema

3.1 Descripción general

El mantenimiento a la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) específicamente, se lo realiza mediante varias inspecciones determinadas por un rango de horas, en cada rango de horas se dan mantenimiento a un cierto grupo de componentes, partes y piezas en este caso de la Unidad de Potencia Auxiliar. Se realizan inspecciones cada 50 horas y 100 horas y se vuelve a inspeccionar otra vez a las 50 horas y 200 horas, por último a las 50 horas y de ahí a 300 horas hasta llegar a las 1500 horas de TLR (tiempo límite de reparación), las inspecciones programadas que tiene el Motor de Turbina de Gas o Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V, en las 300 horas que involucra al Sistema Eléctrico de Arranque y Control de Funcionamiento se dan en los siguientes componentes: Válvula de descarga de aire detrás del compresor KI-9, Bobina de ignición KR-12SI y el Generador-arrancador STG-39.

Todo el proceso que involucra la inspección de 300 horas de los componentes mencionados del Motor de Turbina de Gas o Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V, está regido o guiado mediante una carta tecnológica específicamente y dos tarjetas de procedimiento suplementario, en donde están descritas el contenido de la operación y exigencias técnicas así como la descripción del trabajo, mediante la documentación técnica de referencia respectiva, incorporada en el respectivo Manual de Empleo de Mantenimiento Técnico. El proceso de intervención respectiva, los encontramos en la tarjeta de Procedimiento Suplementario N° PS-49.40.00-1 (VER ANEXO A Y B), la "Carta tecnológica MM AI-9V" Cap. 6.3.7 (VER ANEXO C) y; la tarjeta de Procedimiento Suplementario N° PS-

49.40.00-2 (VER ANEXO D), también los rangos de trabajo mínimos y límites de funcionamiento de cada accesorio de los componentes para el posterior estado de mantenimiento de los mismos que entran en la inspección de 300 horas.

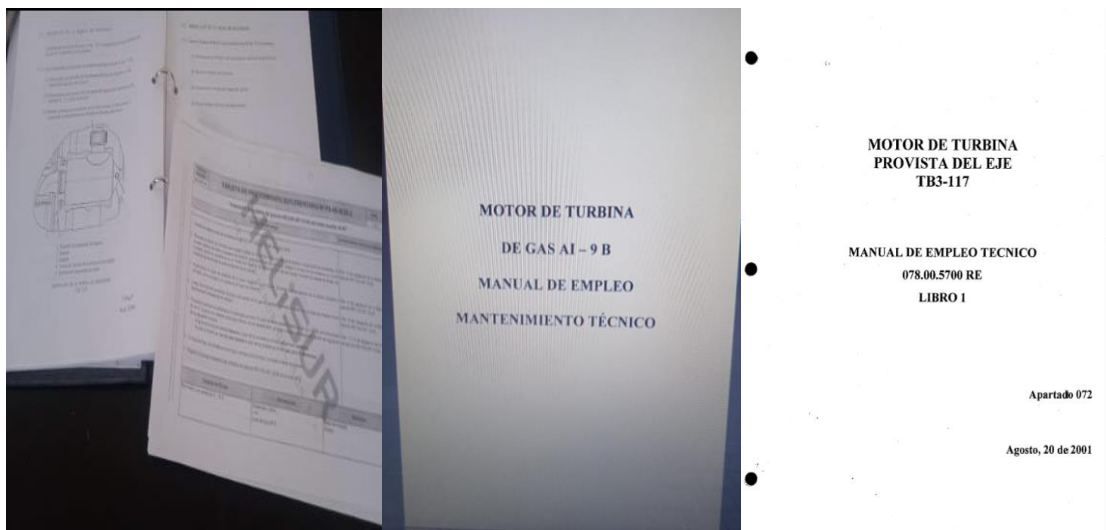
Las herramientas van agrupadas por cada procedimiento descrito de cada componente a inspeccionar, así como los equipos de prueba y materiales que se utilizan en el proceso, para esto y con el fin de realizar la correcta manipulación tanto del motor de turbina de gas o (APU) AI-9V como del desmontaje y montaje de cada uno de los componentes que conforman los sistemas del motor, el comandante del Centro de Mantenimiento de la Aviación del Ejército "CEMAE", emite un documento de requerimiento al supervisor del taller de motores para la construcción de un banco de trabajo para el transporte de la unidad de potencia auxiliar AI-9B (APU), (VER ANEXO E).

3.2 Documentación técnica recopilada para el desarrollo del proyecto

Fue necesario el obtener la mayor cantidad de información tanto en referencia al Motor de Turbina de Gas AI-9V y al Motor de Turbina Provista del Eje TB3.117, así como también las cartas tecnológicas de trabajo y las tarjetas suplementarias para cada tipo de inspección, todo esto como requisitos básicos para el inicio de la investigación, que dará parte al desarrollo del proyecto, la creación del banco de soporte y a la inspección de 300 horas que se dará a los componentes en cuestión. Para esto se ha solicitado al Sgop. de M.A.E, Polo O. Llumiquinga O. nos de una licencia para poder ingresar a la biblioteca tanto virtual como física del área de mantenimiento de motores de la base aérea, en dónde encontramos y reunimos toda la información de todos los documentos, específicamente de los manuales de los motores ya mencionados.

Figura 27

Manuales adquiridos para el desarrollo del proyecto.



Nota. Se muestran los manuales del Motor de Turbina de Gas TB3-117MT, Motor de Turbina de Gas AI-9V, así como también las Cartas Tecnológicas y tarjetas de procedimiento.

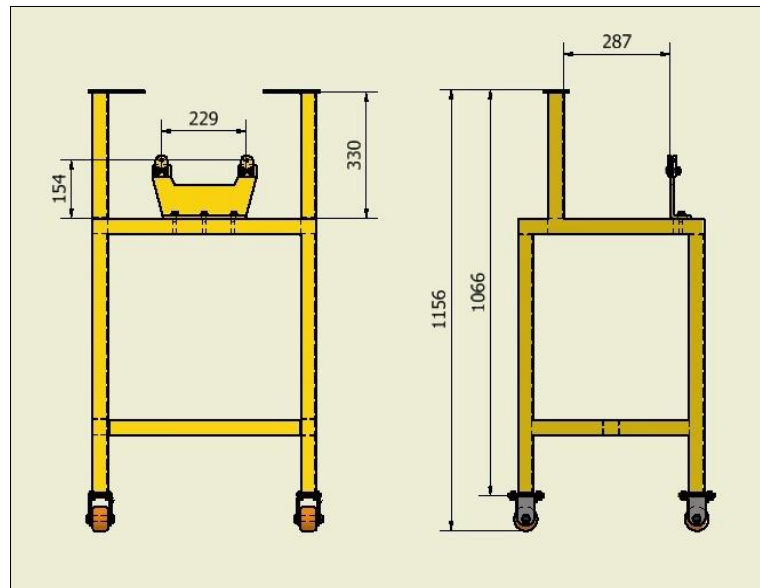
3.3 Desarrollo del diseño y fabricación del banco de soporte para la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V

3.3.1 Diseño en el programa Autocad de acuerdo con las especificaciones de peso y resistencia de los materiales

Desarrollamos el diseño del banco de soporte en el programa AUTOCAD, el cual tiene como medidas: para los 4 perfiles que corresponden a los soportes principales son de 73.6 cm y del travesaño intermedio de fijación es de 51.80 cm y sus paralelas miden 41.80 cm, la base regulable donde se asienta y ajusta el motor tiene como medidas: 22.9 cm (de eje a eje de atornillado) y de 15.54 cm de alto (de la base a los ejes de atornillado), los soportes fijos donde se asienta el motor miden 33 cm de alto, el cuadro principal que forma la base mide 60 cm en su parte posterior y frontal y sus dos laterales miden 50 cm.

Figura 28

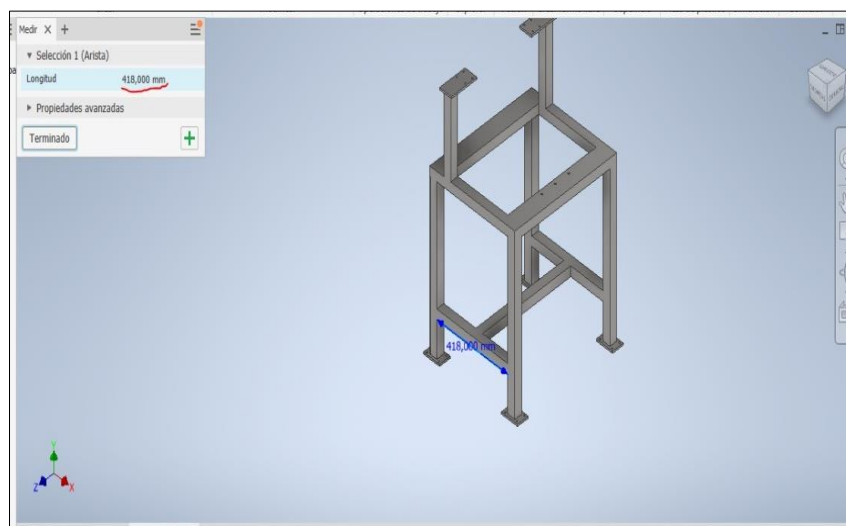
Diseño del banco de soporte



Nota. Se muestra el diseño del banco de soporte para la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V, con las medidas en un solo plano.

Figura 29

Desarrollo del diseño del banco de soporte en 3D

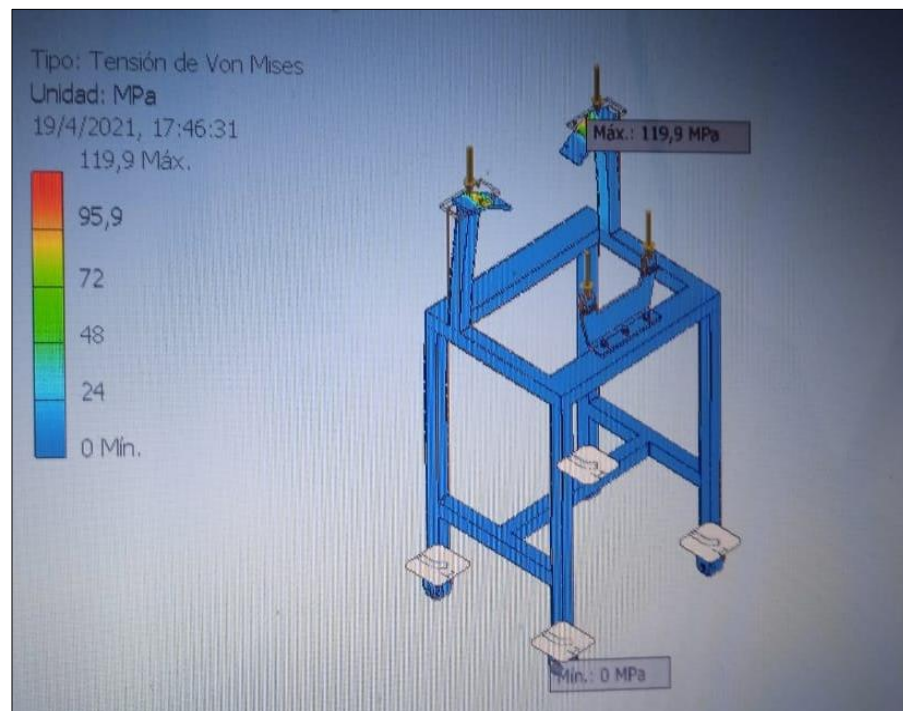


Nota. Se muestra el diseño del banco de soporte en 3D en el programa Autocad, para mejor visualización de sus partes y medidas para su posterior análisis de resistencia.

Después del diseño realizado en 3D se procedió a integrarlo en un análisis estructural de sus partes más importantes, derivando este análisis al programa INVENTOR el cual ayudó en este proceso. Para que nuestra estructura tenga la resistencia necesaria para soportar tanto el peso del motor y el trabajo diario al que será sometido se realizó el análisis pertinente, el cual se lo realiza paso a paso en el programa, que radica esencialmente sobre la tensión de Von Mises, desplazamiento, coeficiente de seguridad, deformación y la presión de contacto, del soporte regulable y los soportes fijos principalmente ya que estas son las bases principales donde la unidad de potencia auxiliar (APU), irá asentada. Todo esto está ilustrado pertinentemente en las figuras en el orden de análisis ya mencionados.

Figura 30

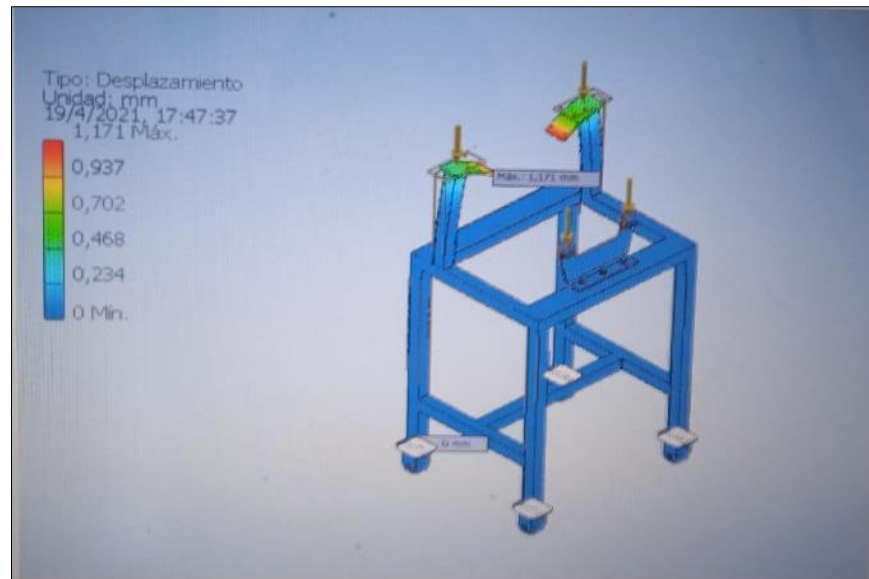
Análisis de la tensión de Von Mises del banco de soporte.



Nota. Se muestra uno de los resultados más importantes en el análisis de componentes metálicos y plásticos, comparamos la tensión de Von Mises con la tensión máxima admisible por el material.

Figura 31

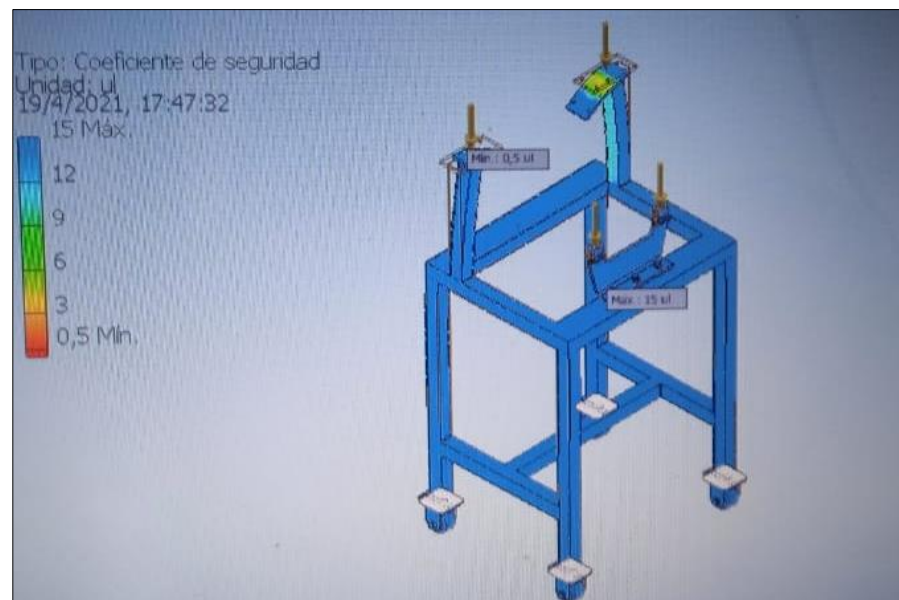
Análisis de desplazamiento del banco de soporte.



Nota. Se muestra el análisis de desplazamiento en mm de los soportes principales del banco de soporte de la unidad de potencia auxiliar (APU).

Figura 32

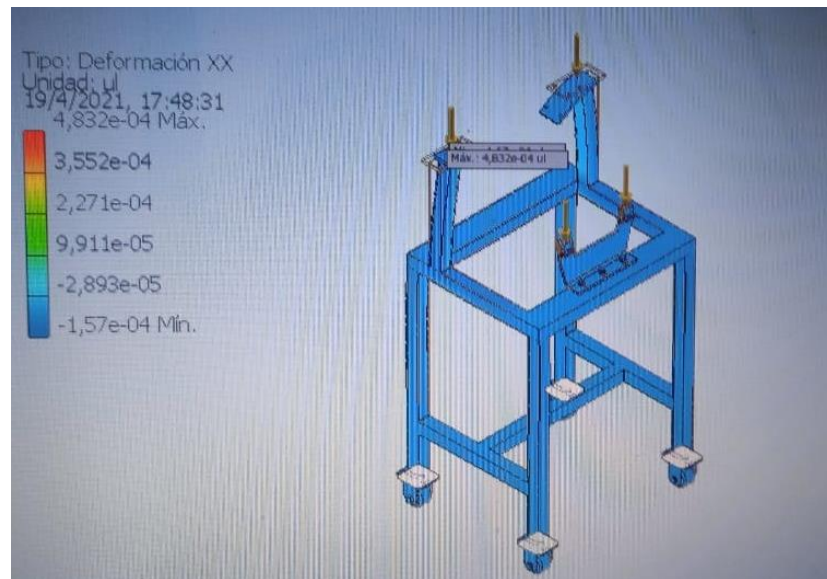
Análisis del coeficiente de seguridad del banco de soporte.



Nota. Se muestra el análisis del coeficiente de seguridad con las cargas mínimas y máximas que soportan las bases principales del banco de soporte de la unidad de potencia auxiliar (APU).

Figura 33

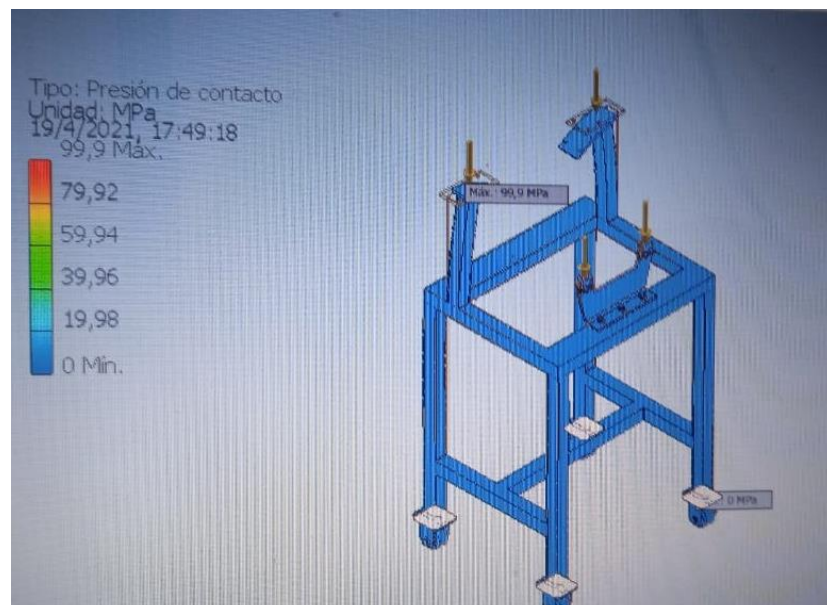
Análisis de la deformación del banco de soporte.



Nota. Se muestra el análisis de la deformación unitaria total que soportan las bases principales del banco de soporte de la unidad de potencia auxiliar (APU).

Figura 34

Análisis de la presión de contacto del banco de soporte.



Nota. Se muestra el análisis de la presión de contacto determinadas en MPA que soportan las bases principales del banco de soporte.

3.3.2 Fabricación del banco de soporte para la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V de acuerdo al diseño elaborado en el programa Autocad

A. Proceso de corte del material

Se inició con la toma de medidas y los cortes del material que para este banco de soporte se utilizó dos perfiles de acero negro A36 de 3 mm de espesor y 1"1/2 (41 mm) de ancho de cada perfil. Las medidas tanto para los 4 perfiles que corresponden a los soportes principales son de 73.6 cm y del travesaño intermedio de fijación es de 51.80 cm y sus paralelas miden 41.80 cm, el soporte regulable donde se asienta y ajusta el motor tiene como medidas: 22.9 cm (de eje a eje de atornillado) y de 15.54 cm de alto (de la base a los ejes de atornillado). Los soportes fijos donde se asienta el motor miden 33 cm de alto, el cuadro principal que forma la base mide 60 cm en su parte posterior y frontal y sus dos laterales miden 50 cm.

Figura 35

Toma de medidas y corte del material



Nota. Se muestra el proceso de toma de medidas de cada parte y pieza que fueron cortadas con la cortadora automática eléctrica, para posterior proceso de suelda y construcción del banco de soporte.

a. Proceso de construcción del banco de soporte

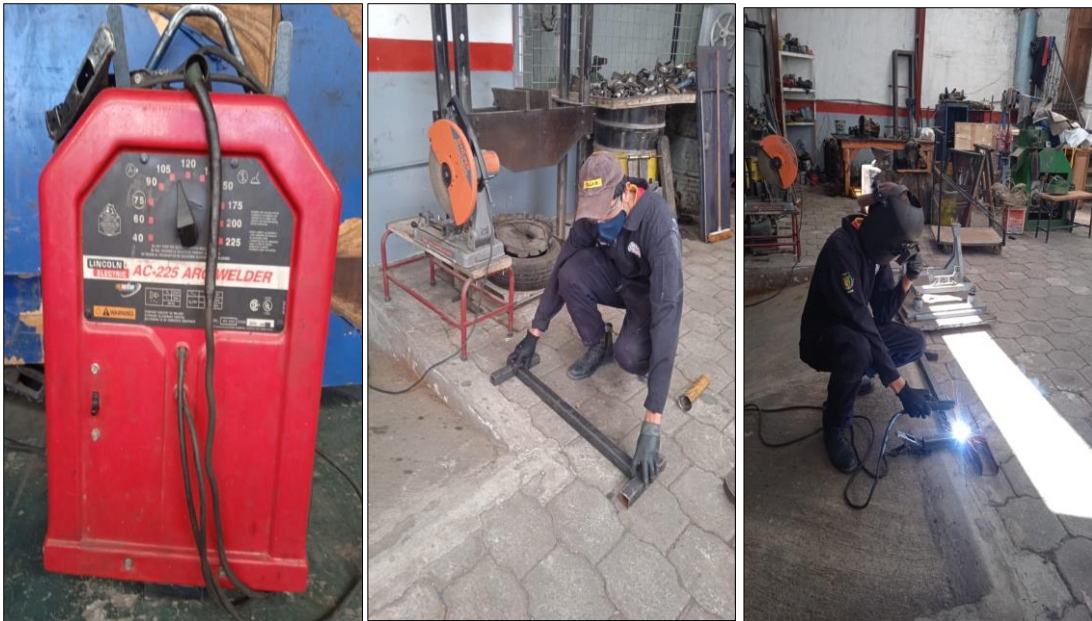
Para ensamblar todas las piezas que cortamos y darle forma al banco de soporte, utilizamos según Lincoln Electric (2021), “un equipo de soldadura eléctrica del tipo AC-225 ideal para la soldadura de uso general incluyendo acero de baja aleación y acero dulce, también aceros inoxidable y hierro fundido para proyectos de reparación, herrería y aficionados a la soldadura”, que nos permitió obtener un cordón de suelda resistente y bien formado para construir nuestro banco de soporte, el amperaje calibrado varía de 60 Amperios a 120 Amperios para alcanzar este tipo de soldadura, que también está determinando por el tipo de electrodo que se va a utilizar, ya que necesitamos obtener un tipo de suelda de penetración y otro tipo de suelda de recubrimiento para un mejor terminado de nuestro proceso de soldadura del banco de soporte.

Se utilizó un electrodo E6011, que en este caso lo utilizamos para penetración del cordón de suelda el cual es óptimo para ser aplicada su soldadura en acero dulce con cualquier tipo de corriente AC/DC, bajo la certificación Canadian Welding Bureau American Bureau of Shipping Lloyd's Register of Shipping, el arco puede ser dirigido fácilmente en cualquier posición, permitiendo altas velocidades de soldadura.

Con una corriente de 120 Amperios, también se utilizó un electrodo AWS E6013, el cual tiene baja penetración ya que su arco es muy suave por ello se lo utilizó tan solo para recubrimiento de suelda, se puede usar con corriente alterna y también con corriente continua, recomendado para trabajos en láminas metálicas delgadas y en toda clase de aceros dulces, en los cuales se tenga como requisito principal la facilidad de aplicación, debido a su baja penetración, se recomienda para soldar planchas de espesores menores de 6,4mm. (Cryogas, 2021)

Figura 36

Proceso de suelda y construcción del banco de soporte



Nota. Se muestra el proceso de construcción y suelda del banco de soporte, cuyo amperaje para soldar la estructura fue de 60 Amperios para la soldadura de penetración y 120 Amperios para la soldadura de recubrimiento, de cada parte y pieza cortada, con el amperaje de suelta utilizado.

Se culminó la construcción y todo el proceso de suelda con la fabricación de la base regulable de soporte del motor, se logró armar todo el banco de soporte de acuerdo al diseño previamente establecido en el programa de Autocad, para la prueba posterior con el motor y verificar la posición de las bases de soporte del mismo, ya que necesitamos que se encuentren en el lugar fijo y preciso, posterior a la prueba con el motor sobre el banco de soporte se determinó que la estructura estaba perfectamente elaborada, desarrollada con sus medidas exactas para proceder a su terminado, se instaló también las cuatro ruedas que corresponden a su zona de desplazamiento que conforman dos ruedas de material de poliuretano que giran completamente y dos ruedas fijas.

Figura 37*Etapa de construcción final del banco de soporte*

Nota. Se muestra la etapa final de la construcción del banco de soporte antes del proceso de pintado total.

Para la etapa de pintura se inició con la aplicación de una capa de fondo denominado “primer” que es un protector antioxidante, posterior se aplicó la pintura que es de color amarillo distintivo para este tipo de estructuras o equipos de trabajo y finalmente se instaló una mesa corrediza para apoyo de herramientas o similares.

Figura 38*Etapa de pintura del banco de soporte*

Nota. Se muestra el proceso de pintado y como quedó finalmente el banco de soporte con el motor instalado sobre él.

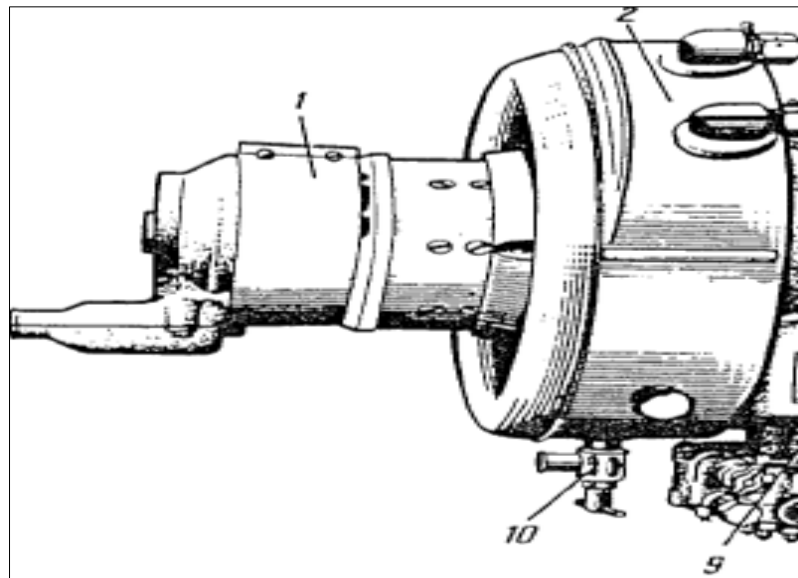
3.4 Descripción y características de los componentes que entran a inspección de 300 horas del sistema eléctrico de arranque y control de funcionamiento

3.4.1 *Generador-arrancador STG-3*

Este está ensamblado en la brida delantera del cuerpo de los accionamientos, alimentado por dos baterías 12 CAM-28 o de una fuente de 27V, aquí se encuentra ubicado su principal accesorio o parte inspeccionable como son las escobillas con una medida de trabajo permisible superior o igual a 18 mm. (Ver la figura 31).

Figura 39

Generador-arrancador STG-3



Nota. Se muestra el generador-arrancador STG-3 ensamblada en el APU, vista de la derecha. Tomado de (Ivchenko, 2001).

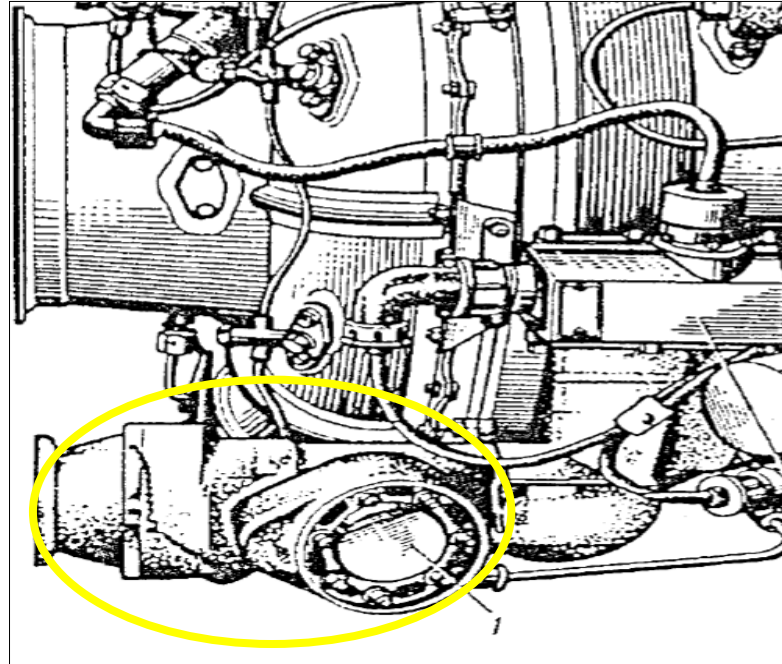
3.4.2 *Válvula de descarga de aire KP-9*

Esta va ensamblada sobre la brida en que termina el recipiente de aire, es de funcionamiento automático asegura un funcionamiento estable del compresor del

motor en los regímenes de arranque y marcha en vacío por medio de descargar una parte del aire detrás del compresor a la atmósfera. (Ver figura 32).

Figura 40

Válvula de descarga de aire KP-9



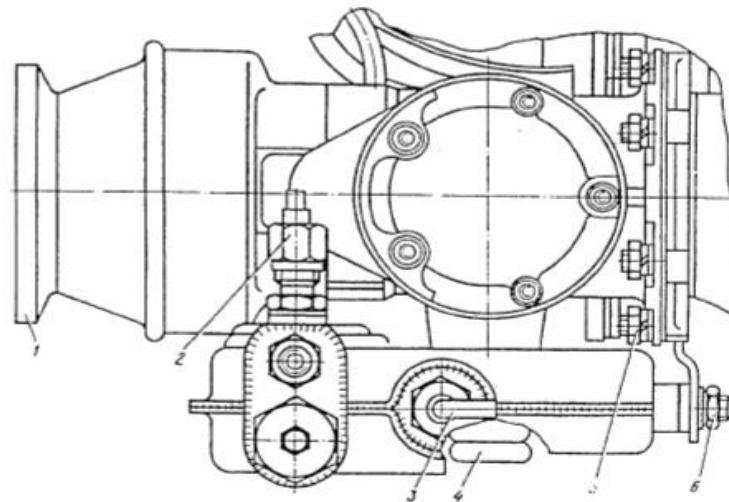
Nota. Se muestra la válvula de descarga de aire KP-9, ensamblada en el Motor de Turbina de Gas AI-9B. Tomado de (Ivchenko, 2001).

La válvula de descarga de aire consta de los siguientes accesorios y partes, que están implicadas en el proceso de reemplazo, desmontaje y montaje:

- Brida de la válvula
- Tubería de salida de combustible al eyector
- Tuerca de drenaje de los grupos de combustible
- Perno hueco
- Tuerca de fijación de la válvula al recipiente de aire
- Tuerca de fijación del depósito de drenaje al soporte. (Ver figura 23).

Figura 41

Accesorios y partes de la válvula de descarga de aire KP-9



1. Brida de la válvula
2. Tubería de salida de combustible al eyector
3. Tubería de drenaje de los grupos de combustible
4. Perno hueco
5. Tuerca de fijación de la válvula al recipiente de aire
6. Tuerca de fijación del depósito de drenaje al soporte

Nota. Se muestra la válvula de descarga de aire KP-9 con sus accesorios y partes.

Tomado de (Ivchenko, 2001).

3.4.3 Bobina de ignición KR-12SI

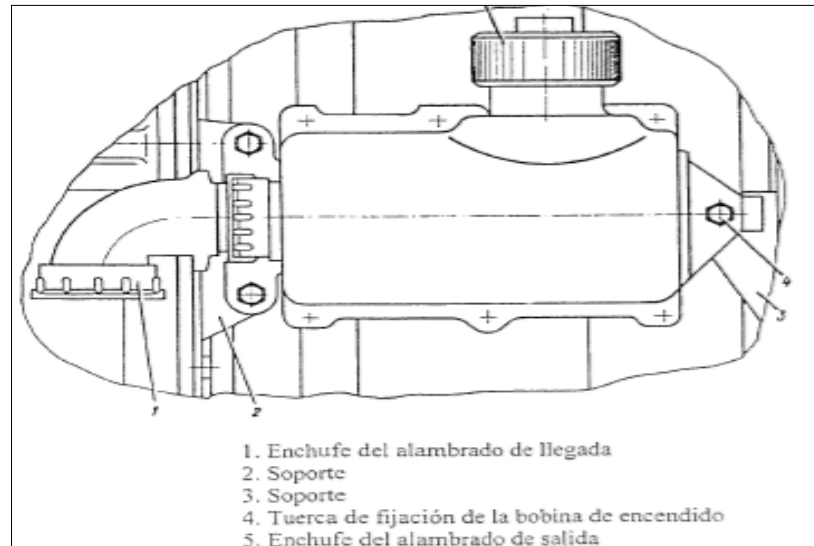
La bobina de encendido va ensamblada por el lado derecho del cuerpo del compresor en dos soportes. En el bobinado primario el valor de la corriente debe ser 2,3-2,5A con una tensión de 24V, cuando los valores no estan en el rango definido, entonces se regulará el tornillo de regulación. La bobina de encendido STG-3 consta de los siguietes accesorios y partes, que están implicadas en el proceso de reemplazo, desmontaje y montaje:

- Enchufe del arnés de cables de llegada
- Soporte 1
- Soporte 2

- Tuerca de fijación de la bobina de encendido
- Enchufe del arnés de cables de salida. (Ver figura 6).

Figura 42

Bobina de encendido KR-12SI



Nota. Se muestra la bobina de encendido KR-12SI en ensamblada en el APU, Tomado de (Ivchenko, 2001).

3.5 Inspección de 300 horas del sistema eléctrico de arranque y control de funcionamiento de la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V

3.5.1 Procedimiento para la inspección del generador-arrancador STG-3

a. Desmontaje y montaje del generador-arrancador STG-3

El manual de empleo y mantenimiento técnico del motor de turbina de gas, (APU) AI-9V en el capítulo 7, página 3, sección 7.2, menciona que es necesario comenzar desenroscando los tornillos y quitar la tapa de la caja de bornes, desconectar los conductores eléctricos de generador-arrancador, luego desenroscar las cuatro tuercas autorretenedoras de fijación de la camisa del eyector y retirar las arandelas, quitar el anillo de goma de empaquetadura del eyector y quitar la camisa

del eyector, desenroscar las doce tuercas autorretenedoras de fijación del arrancador-generator y quitar el anillo y por último desmontamos el generator-arrancador. Para el montaje del generator-arrancador el proceso se lo realiza inversamente, fijándonos que el vástago de fijación del generator-arrancador coincida con el orificio en el cuerpo de los accionamientos y posteriormente verificamos el correcto funcionamiento arrancando el motor.

Proceso ilustrado:

Para desmontar el generator debimos quitar las 4 tuercas con sus arandelas de la camisa del eyector, retiramos la camisa y procedimos a retirar el anillo de goma, levantamos el generator-arrancador después de que quitamos el tanque de aceite ya que se nos facilitó el manejo de las herraminetas para el procedimiento, aquí solo ocupamos una llave de boca número 10 y varios desarmadores para levantar las arandelas y el anillo de goma.

Figura 43

Desmontaje del generator-arrancador



Nota. Se muestra la desinstalación del generator-arrancador, desmontado desde la base del compresor.

Para el montaje del generador-arrancador se realizó el montaje primero del taque de aceite, después se procedió con ayuda de otra persona para el montaje del generador tomando en cuenta la posición de la bomba de control automático de combustible y de la bomba de aceite, de las cañerías y la posición de los espárragos.

Figura 44

Montaje del generador-arrancador



Nota. Se muestra al generador-arrancador ya montado sobre la base del compresor y el resto del motor, lo que fue necesario colocar después fue el tanque de aceite ya que por cuestiones de manejo de herramientas se lo hizo.

b. Inspección del generador-arrancador STG-3

De acuerdo a la tarjeta de procedimiento suplementario N° PS-49.40.00-1, página 1 y 2, (VER ANEXO A Y B), la descripción del trabajo de inspección del generador-arrancador después del desmontaje del mismo, procede de la siguiente manera:

- Verificamos la condición externa del cuerpo del generador-arrancador STG-3, que no exista daños en el recubrimiento de pintura

del cuerpo, limpiamos el polvo y suciedad con un paño humedecido en bencina.

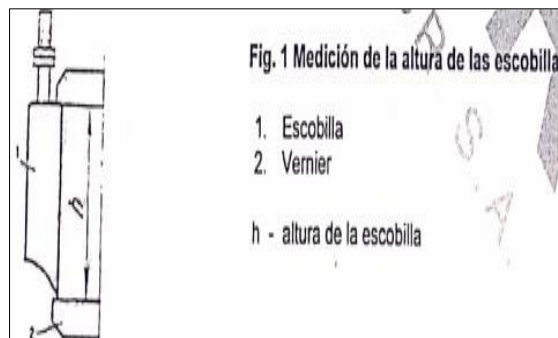
- Retiramos los tornillos que sujetan la tapa de la bornera, retiramos la tapa y verificamos la correcta conexión de los cables eléctricos, no es permisible el ajuste de tuercas débilmente de los bornes ni presencia de hollín en las conexiones.
- Colocamos la tapa, ajustamos y frenamos los tornillos con alambre de freno 0,32.
- Retiramos el alambre de freno y liberamos los tornillos del protector del conjunto colector y retiramos el fleje del conjunto, inspeccionamos su estado para lo que debemos tomar en cuenta que: debemos soplear el conjunto colector con aire a una presión de 1-2 kgf/cm² con las escobillas fuera; el anillo de contacto del rotor no debe presentar rastros de hollín, abolladuras ni rayones en la superficie de contacto; es permitido un ligero oscurecimiento de la superficie de contacto del anillo; en caso de que exista suciedad limpiamos el anillo con un paño humedecido en bencina después de levantar las escobillas; la condición de las escobillas es primordial que se encuentren pulidas con relación al anillo de contacto mínimo de un 70% de la superficie la cual debe estar brillante, estas deben trabajar libremente y sin atascarse en el porta escobillas, así como el cable de las escobillas no debe presentar ninguna clase de tensión; no se permite que el cable se mueva en el lugar de salida de las escobillas ni del terminal del cable, si cualquiera de estas condiciones no se cumplen se debe reemplazar por nuevas escobillas.
- Medimos la altura de las escobillas con ayuda de un vernier, (Ver figura 8); la altura mínima permitida es de 18 mm, si el desgaste es

mayor que el permitido se procede a cambiar por nuevas escobillas del kit de reemplazo del generador-arrancador STG-3; si se realiza este reemplazo las escobillas nuevas se deberán pulir con relación al anillo de contacto, el correcto pulido se determina cuando la superficie de contacto presenta un área brillante tipo espejo no menor al 70% del área total de contacto; luego del pulido sopleteamos el generador-arrancador STG-3 con aire a una presión de 1-2 1-2 kgf/cm².

- Instalamos el fleje protector en el generador-arrancador STG-3, ajustamos los tornillos y colocamos el alambre de freno 0.32.

Figura 45

Medición de la altura de las escobillas



Nota. Se muestra el proceso y simbología de la medición de la altura de las escobillas. (Anexo C).

Proceso ilustrado:

Se retiró la tapa de la bornera para verificar que la pintura interior de la caja se encuentre en buen estado y observamos que sí, lo está, si en el caso estuviera conectado al helicóptero deberíamos fijarnos en el ajuste de las tuercas de las 5 conexiones las cuales no deberían estar flojas, después limpiamos impurezas con aire comprimido de 1-2 kgf/cm², para evitar mayores exposiciones de sus elementos y sellamos en este caso no frenamos los tornillos de la tapa de la bornera.

Figura 46*Inspección del generador-arrancador*

Nota. Se muestra al generador-arrancador y la inspección visual de la bornera y su limpieza total.

Después de haber revisado la bornera lo siguiente fue realizar la inspección de las escobillas del conjunto colector, para esto retiramos el fleje protector del conjunto colector y con ayuda de un desarmador cualquiera retiramos los seguros metálicos para sacar las escobillas, en total son 4 pares de escobillas, una vez fuera todas las escobillas procedemos a sopletear con aire comprimido a 1-2 kgf/cm², así eliminamos el hollín y posibles impurezas, debimos tomar en cuenta de no lastimar la superficie de las escobillas. Después de haber limpiado todo el conjunto colector con sus escobillas, procedimos a verificar el estado de las mismas, es decir que la superficie de contacto este ligeramente brillante y que no presente ninguna clase de desgaste excesivo y la medida de la altura de cada escobilla, la altura de cada escobilla lo vamos a medir con un calibrador “pie de rey” el cual mostró un promedio de casi 2,5 centímetros, por lo que determinamos que están dentro del límite del rango de trabajo permisible.

Figura 47

Inspección del conjunto colector del generador-arrancador



Nota. Se muestra el proceso de limpieza, verificación y medición de las escobillas del conjunto dentro del conjunto colector, de acuerdo al procedimiento.

3.5.2 Procedimiento de la inspección/lavado de la válvula de descarga de aire KP-9

a. Desmontaje y montaje de la válvula de descarga de aire KP-9

El manual de empleo y mantenimiento técnico del motor de turbina de gas, (APU) AI-9V en el capítulo 7, página 19, sección 7.13, menciona que es necesario comenzar con el desacople de la tubuladora de la brida de la válvula de salida de aire al sistema de arranque por aire comprimido, después desenroscar las tuercas de los espárragos de fijación de la válvula al recipiente de aire y quitar la válvula. Por último se debe montar la válvula en el orden inverso al desmontaje, comprobar su funcionamiento durante el arranque del motor y en el régimen de funcionamiento sin y con la toma de aire al sistema de arranque del motor principal por el aire comprimido.

Proceso ilustrado:

Se localiza en el motor la válvula de descarga de aire, el cual está detrás del compresor, ensamblada también sobre la tubuladura de aire, en este caso la brida de la válvula de salida de aire al sistema de arranque por aire comprimido y se verifican las tuercas para desenroscarlas de los espárragos, en total son 5 tuercas, después quitamos los frenos de las tuercas de las cañerías y las desinstalamos ya que algunas interrumpen el libre movimiento al momento de desinstalar la válvula, después de verificar que todas las tuercas, arandelas, pernos y cañerías estén desmontadas, por último se procede a quitar la válvula de descarga de aire de la Unidad de Potencia Auxiliar, (APU) y comenzar con la inspección de la válvula de descarga de aire AI-9, como lo indica la “Carta tecnológica MM AI-9V” Cap. 6.3.7; (Ver anexo C).

Figura 48

Desmontaje de la Válvula de descarga de aire KP-9



Nota. Se muestra el proceso de desajuste de los tornillos de los espárragos y cañerías, para quitar la válvula de descarga de aire KP-9, de la Unidad de Potencia Auxiliar, (APU) AI-9V.

Se realizó el respectivo montaje, tomando en cuenta un procedimiento inverso al desmontaje, para colocar los tornillos antes se debió colocar las arandelas con un poco de grasa para poderlas ubicar en su sitio y evitar que se caigan al momento de ajustar los tornillos en los espárragos, ajustamos las cañerías con mucho cuidado y verificando que estén en la posición adecuada para no dañar la rosca de cada toma de las cañerías, ni doblar las cañerías, evitando un daño mayor por instalarlas en una mala o incorrecta posición.

Se debe tomar en cuenta mucho el tipo de llave o herramienta que se utilizará para ajustar cada cañería cerciorándonos de no aplicar demasiada fuerza ni dejarlas muy flojas, finalmente se frenó en cada sitio donde es necesario para cumplir con la norma de asegurar que cada componente y parte esté fijo en su sitio.

Figura 49

Montaje de la válvula de descarga de aire KP-9



Nota. Se muestra el montaje de la válvula de descarga de aire KP-9, sin la brida de la toma de aire al helicóptero en la en la Unidad de potencia Auxiliar, APU AI-9V.

b. Inspección/lavado de la válvula de descarga de aire KP-9

De acuerdo a la Carta tecnológica MM AI-9V, página 6a 1 de 1, extraído del manual de empleo y mantenimiento técnico del motor de turbina de gas, AI-9V en el capítulo 6, página 7, sección 6.3.7, el lavado de la válvula de descarga de aire se lo realiza en un orden específico muy cuidadosamente enfocado en el lavado esencial de sus partes importantes, después del desmontaje de la misma, que va de la siguiente manera:

- Sumergir la válvula en un recipiente con keroseno o gasolina, cubriéndolo hasta el eje de la mariposa completamente, menos el pistón de la válvula.
- La válvula debe permanecer sumergida por un tiempo de 10 a 15 minutos y realizar aperturas de la mariposa con una palanca de madera, hasta que el movimiento sea libre sin que se atasque.
- Volver a sumergir la válvula y enjuagar con keroseno o gasolina limpia hasta lograr la salida de la suciedad desde los lugares de fijación del eje de la mariposa, evitar el ingreso de líquido de la vado en el conjunto del pistón de la válvula.
- Sopletear la cavidad de la válvula mediante aire comprimido o secar al ambiente por un tiempo de 10 a 15 minutos.
- Ensamblar la válvula en el sitio al orden inverso al desmontaje, comprobar el desempeño de la misma durante el funcionamiento del motor en los regímenes.

Proceso ilustrado:

Colocamos gasolina o keroseno en un recipiente lo suficientemente grande para sumergir la válvula de descarga de aire, evitando sumergir el pistón de

accionamiento de la válvula, dejándolo por unos 15 minutos, se observó un poco de impurezas y hollín, por ello lavamos muy cuidadosamente y se verificó que el movimiento de la mariposa esté libre, esto con un bastón de madera de un martillo para no dañarla y hacemos una ligera presión para verificar el estado de la misma.

Se enjuagó con gasolina o keroseno limpio, y se dejó secar al ambiente, sopleteamos el conjunto del pistón y todo el proceso se finalizó satisfactoriamente sin novedad alguna, determinando que todo el componente se encontraba en muy buenas condiciones y para poder seguir con el montaje de la misma en la Unidad de potencia Auxiliar, (APU) se debió seguir en el proceso de ensamblaje en el orden inverso al desmontaje.

Figura 50

Lavado de la válvula de descarga de aire detrás del compresor AI-9



Nota. Se muestra el proceso de lavado de la válvula de descarga de aire, sumergido en gasolina y realizando los movimientos libres de la mariposa de la válvula.

3.5.3 Procedimiento para la inspección de la bobina de ignición KR-12SI

a. Desmontaje y montaje de la bobina de ignición KR-12SI

El manual de empleo y mantenimiento técnico del motor de turbina de gas, (APU) AI-9V en el capítulo 7, página 17, sección 7.11, menciona comenzar con el desacople de los enchufes del arnés eléctrico de llegada y del arnés eléctrico de salida, desenroscar tres tuercas de los pernos de fijación de la bobina a los soportes y quitar la bobina. Por último montar la bobina de encendido en el orden inverso al desmontaje.

Proceso ilustrado:

Localizamos la bobina de encendido KR-12SI que se encuentra ubicada en el lado izquierdo de la válvula de descarga de aire montado con tres tuercas y varias cañerías a su alrededor, desenroscamos las tuercas y desinstalamos los arneses eléctricos de salida y de llegada, con las llaves de 8 mm y de 10 mm para las tuercas y para los arneses eléctricos utilizamos un alicate o un playo, separamos la bobina del motor.

Figura 51

Desmontaje de la bobina de ignición KR-12SI



Nota. Se muestra el proceso de desinstalación de los arneses eléctricos, tuercas y posterior desmontaje de la bobina de ignición KR-12SI.

Para el montaje de la bobina primero se instaló el arnés primario y luego el secundario para evitar que se retuerza el arnés primario y después instalamos la bobina ya con las tres tuercas en los espárragos del motor alineando y verificando su posición, ajustamos con la llave o copa de número 10, después instalamos el arnés secundario y ajustamos las cañerías ligadas anteriormente desinstaladas.

Figura 52

Montaje de la bobina de ignición KR-12SI



Nota. Se muestra el proceso de instalación de los arneses eléctricos de entrada y de salida, tuercas y posterior montaje de la bobina de ignición KR-12SI en la Unidad de Potencia Auxiliar, APU.

b. Inspección de la bobina de ignición KR-12SI

De acuerdo a la tarjeta de procedimiento suplementario N° PS-49.40.00-2 (VER ANEXO C), la descripción del trabajo de inspección de la bobina de ignición después del desmontaje de la misma, procede de la siguiente manera:

- Se retiran los tornillos que sujetan la tapa de la bobina, retiramos la

tapa de la bobina e inspeccionamos todos los contactos a ver si se evidencia rastro de hollín y traspaso de material.

- Se procede a limar los contactos con mucho cuidado, evitando un limado excesivo del material de los contactos y de sus bordes, ya que si se excede en el limado se disminuye la vida de servicio de la bobina.
- Inspeccionamos el lugar de contacto de la placa negativa con el cuerpo, si existe material saliente de la bobina, se procede a retirar y limar la placa y el cuerpo en el lugar de contacto y procedemos a limpiar con un trapo de limpieza humedecido ligeramente en alcohol.
- Se verifica la corriente en el bobinado primario, el valor de la corriente es de 2,3-2,5 A, con 24V de tensión; y si los valores son diferentes regulamos por medio del tornillo de regulación: en sentido horario el valor de la corriente del bobinado primario aumenta, y en sentido antihorario el valor disminuye.
- Colocamos la tapa de la bobina en su lugar, enrosquamos los tornillos, frenamos y montamos la bobina de ignición KR-12SI y en el motor AI-9V.

Proceso ilustrado:

Continuamos a desatornillar las 8 tuercas con sus arandelas de seguridad de la tapa de la bobina con una llave Número 6, retiramos con mucho cuidado levantando la ceja que cubre el tornillo de regulación de la bobina y separamos la tapa de la bobina, aquí observamos varias conexiones y el contacto que se encontraron en muy buenas condiciones para lo cual después de realizar una inspección visual procedemos a realizar el siguiente proceso.

Limamos con una lija delgada el contacto, el mismo que no se debe limar mucho ya que podemos limitar la vida útil de la superficie de contacto y limpiamos los bordes negativo y positivo de las conexiones con un trapo humedecido en alcohol para quitar cualquier impureza, en este caso no se encontró casi ninguna evidencia de impurezas, y se pudo limpiar sin ninguna novedad muy fácilmente terminando el procedimiento.

Figura 53

Inspección de contactos y conexiones de la bobina de ignición KR-12SI



Nota. Se muestra la desinstalación de la tapa de la bobina de ignición KR-12SI y el limado del contacto para posterior limpieza y chequeo de corriente del bobinado.

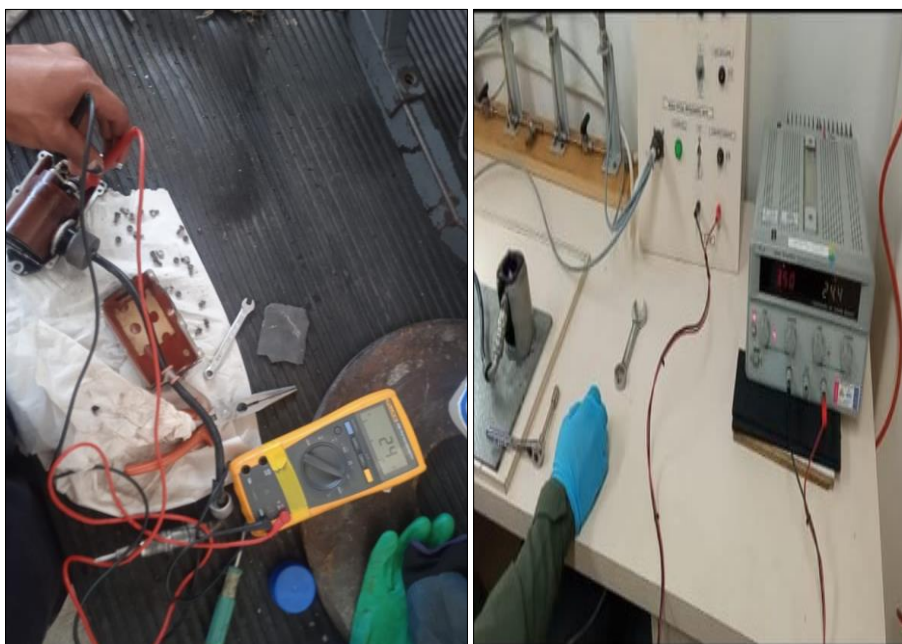
Posterior a las acciones ya desarrolladas se procedió a medir la corriente del bobinado primario, lo cual, para desarrollar el procedimiento, debimos aplicar desde una fuente los 24 Voltios de AC necesarios y especificados tanto en el manual como en la tarjeta de procedimiento suplementario N° PS-49.40.00-2, para medir con un multímetro y obtener en el bobinado primario una corriente de 2,3 a 2,5 A.

Posterior a este procedimiento, se determinó que el valor de la corriente del bobinado estaba en el rango establecido (2,4A) y no fue necesario regular la

corriente desde el tornillo de regulación, el cual de ser necesario debe ser girado con un destornillador, el sistema funciona de manera que girando el destornillador en sentido horario aumenta el valor de dicha corriente y girando el destornillador en sentido antihorario el valor de la corriente disminuye.

Figura 54

Verificación de corriente con fuente y multímetro



Nota. Se muestra la desinstalación el proceso toma de valores de la corriente en el bobinado primario en este caso conectado a una fuente que nos proveía de 24V de AC, y obtuvimos 2,4 A que se encuentra en el rango de valores permisibles.

3.6 Herramientas, dispositivos, equipos de prueba y materiales indispensables para realizar la inspección

Tabla 9

Herramientas, dispositivos, equipos de prueba y materiales

INSPECCIÓN/LAVADO DE LA VÁLVULA DE DESCARGA DE AIRE KP-9			
Herramientas	Dispositivos	Equipos de prueba	Materiales
Martillo con mango de madera			Bencina o keroseno

INSPECCIÓN DE LA BOBINA DE IGNICIÓN KR-12SI

Herramientas	Dispositivos	Equipos de prueba	Materiales
Desarmador plano, lima, llave de boca N°6		Multímetro con escala 0-10 A	Trapo de limpieza, alcohol

INSPECCIÓN DEL GENERADOR-ARRANCADOR STG-3

Herramientas	Dispositivos	Equipos de prueba	Materiales
Vernier, desarmador plano, compresora de aire, Alicata de combinación			Trapo de limpieza, bencina, alambre de frenar 0.32 (0.8 mm)

Nota. La tabla muestra todas las herramientas, dispositivos, equipos de prueba y materiales indispensables para realizar las inspecciones descritas en los apartados anteriores. Recuperado de. (Anexos A, B, C Y D).

3.7 Análisis de costos

El costo del material para la elaboración del banco de soporte del motor, su análisis, diseño y fabricación, así como el costo de todo el proceso de inspección de sus partes involucradas, y finalmente el costo del transporte del material, equipos, personal y de toda la logística en relación al desarrollo del proyecto, se dividió en dos partes.

3.7.1 Costos primarios

- Materiales, equipos y herramientas

Tabla 10

Costos primarios

COSTOS PRIMARIOS			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Calibrador Vernier	\$12,00	\$12,00
1	Multímetro	\$18,00	\$18,00
1 litro	keroseno	\$8,00	\$8,00
1	Disco de corte para metal 4"1/2	\$6,00	\$6,00

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Disco de corte para aluminio 4"1/2	\$10	\$10
3	Tubos angulares de acero negro de 2m c/u	\$20,00	\$60,00
2 libras	Electrodos E6011 y E6013	\$2,00	\$2,00
4	Ruedas de poliuretano	\$20	\$80
1/4	Pintura amarilla	\$8,00	\$8,00
1/8	Primer o fondo para pintura	\$5,00	\$5,00
1/8	Barniz para metal	\$7,00	\$7,00
1/16	Aplicador para barniz	\$4,00	\$4,00
NA	Ferretería en general	\$15	\$15
NA	Equipos alquilados (solda eléctrica, moladora, compresor, mangueras y soplete)	\$130	\$130
TOTAL			\$365

Nota. La tabla muestra los precios de todos los materiales, herramientas y equipos utilizados tanto en la realización de la inspección de 300 horas como en la construcción del banco de soporte para la unidad de potencia auxiliar.

3.7.2. Costos secundarios

- Consignación de manuales digitales y físicos de la unidad de potencia auxiliar, motores y de la aeronave.
- Documentación, requisitos y solicitudes para la universidad.
- Logística

Tabla 11

Costos secundarios

COSTOS SECUNDARIOS			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
3	Manuales	\$60	\$60
NA	Documentos, requisitos y solicitudes	\$20	\$20
NA	Transporte y alimentación	\$200	\$200
NA	Logística	\$80	\$80
TOTAL			\$360

Nota. La tabla muestra los precios de todos los demás gastos tanto en documentación, como en transporte y logística para el desarrollo del proyecto.

3.7.3 Costo total del proyecto

- Costos primarios + costos secundarios

Tabla 12

Costo total del proyecto de grado

COSTO TOTAL		
N°	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL
1	Costos primarios	365
2	Costos secundarios	360
TOTAL		725

Nota. La tabla muestra el costo total del desarrollo y culminación del proyecto de grado sumando los costos primarios más los secundarios.

Capítulo IV

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- La documentación necesaria para la guía del desarrollo de la inspección de 300 horas del Sistema Eléctrico de Arranque y Control de Funcionamiento de la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V, como son la tarjeta de procedimiento suplementario N° PS-49.40.00-1, página 1 y 2, la carta tecnológica MM AI-9V, Cap. 6.3.7 y la tarjeta de procedimiento suplementario N° PS-49.40.00-2, contenían y desarrollaban procedimientos mucho más objetivos y concisos, que lo que el manual de empleo y mantenimiento técnico del motor de turbina de gas, (APU) AI-9V en sus capítulos específicos pudimos encontrar.
- Durante la inspección del generador-arrancador STG-3, se registró que tanto en el conjunto colector como en la bornera de conexión no existía ninguna clase de impurezas, por tanto cada escobilla no presentaba mayor desgaste en su superficie de contacto y se determinó que el rango de medida de la altura de las escobillas está muy por encima del límite mínimo permisible de trabajo.
- En el lavado de la válvula de descarga de sangría KP-9, el proceso más delicado e importante fue la verificación de la válvula mariposa que se encontraba en perfecto estado con libre desplazamiento sin atascamiento, lo que permitió el lavado con el keroseno o combustible rápidamente.
- La inspección de la bobina de ignición KR-12SI arrojó resultados muy positivos que determinaron la vida útil de la misma ya que al momento de proceder a limar el contacto y medir el amperaje llegó al rango de trabajo

establecido por el manual y su tarjeta de procedimiento suplementario N° PS-49.40.00-2.

- La fabricación del banco de soporte para la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) AI-9V, se desarrollo a partir de su modelo de soporte para almacenamiento y transporte ya que no existe ninguna herramienta o equipo dentro del manual que especifique la utilización de este tipo de banco para realizar los mantenimientos, inspecciones y chequeos respectivos.

4.2 Recomendaciones

- Para este tipo de inspecciones en específico es necesario obtener la documentación más actualizada posible, así como también las herramientas y equipos determinados en el manual, cartas tecnológicas y tarjetas suplementarias, ya que todo esto ayudará potencialmente a desarrollar nuestro trabajo de la mejor manera.
- Para cada procedimiento de esta índole se necesita estar bien equipado tanto en manuales, herramientas y en los EPP, (equipos de protección personal), para evitar realizar malos procesos de inspección, mantenimiento y algún tipo de accidente que afecte el normal desarrollo de cada actividad.
- Los bancos de soporte o mesas para trabajo y mantenimiento son necesarios para poder ser utilizados como herramientas o equipos reglamentarios dentro del ámbito de la aviación, bajo aprobaciones o certificaciones.
- Se debe colocar un protector o cubierta por encima de la entrada de aire del compresor centrífugo al momento de extraer el generador, ya que aquí se pueden caer herramientas, pernos, tuercas, arandelas o cualquier tipo de FOD, y comprometer a los álabes del compresor al

momento del montaje y posterior encendido del generador.

- No se debe realizar una prueba de arranque del generador o el motor en general bajo ninguna circunstancia por medio de una fuente convencional electrónica, sabiendo que la fuente puede suministrar los 28 voltios de tensión necesarios para el arranque del generador, esta no soporta los casi 800 Amperios de corriente que el generador proporciona al primer lapso de generación de energía pudiendo dañar a la fuente gravemente o fundirla, ya que la mayoría de estas fuentes en aviación soportan solo hasta los 50 Amperios de corriente continua.

Glosario de términos

Inspección: Se trata de una exploración física a cualquier tipo de objetivo sea desde un conjunto de personas que conformen una organización o compañía hasta una máquina, medio de transporte o cualquier tipo de elemento, que se realiza principalmente a través de la vista.

Bimotor: Término utilizado especialmente en aviación, haciendo referencia a una aeronave que posee dos motores ya sea de turbina o alternativos, así como también en helicópteros.

Cinemáticamente: Relativo a la referencia al aplicar el término de la rama de la física “cinemática”, que estudia el movimiento prescindiendo de las fuerzas que lo producen.

Turbocompresor: El término especialmente utilizado en aviación que refiere a un compresor movido por una turbina que trabajan en conjunto para formar este tipo de motores.

Rotor: Parte giratoria de una máquina eléctrica o de una turbina, pero también se puede referir al sistema giratorio que sirve para la sustentación de los autogiros y de los helicópteros.

Performance: Término utilizado mucho más aun en aviación que se refiere al rendimiento en proporciones entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados, ya sea desde un motor recíproco o a reacción hasta la aeronave en sí.

Válvula: Referencia al mecanismo que regula el flujo de la comunicación entre dos partes de una máquina o sistema o que impide el retroceso de un fluido que circula por un conducto.

Ignición: Como tal, la ignición es empleada en diversos mecanismos para activar procesos que sustentan su funcionamiento en energía calórica y se define como un proceso químico que puede desatarse cuando una sustancia combustible entra en contacto con una fuente de energía (una chispa eléctrica, por ejemplo, puede desencadenar la descarga de un gas), y continúa ardiendo independientemente de su causa original.

Vernier: El vernier o también conocido como pie de rey, es un instrumento de medición que fue diseñado para medir con una gran precisión cualquier tipo de objeto, ya sea que tenga superficies internas, externas y/o profundidades. Cabe mencionar que este instrumento se utiliza principalmente para piezas pequeñas ya que difícilmente supera los 20 cm de largo.

Multímetro: Un multímetro es un instrumento electrónico usado ampliamente por técnicos e ingenieros electricistas, sirve para medir las tres características eléctricas básicas: voltaje, corriente y resistencia, aunque también puede ser empleado para probar la continuidad entre dos puntos de un circuito eléctrico, este dispositivo tiene distintas funcionalidades, ya que puede usarse como amperímetro, voltímetro y óhmetro y es empleado para probar baterías, cableado eléctrico, motores eléctricos y fuentes de energía.

Keroseno: Conocido por Kerosene o combustible doméstico, es un derivado del petróleo recuperado por destilación, considerado como un aceite ligero de color amarillento, su porcentaje de pureza varía de crudo en crudo, de acuerdo a la composición del crudo y al proceso al que se someta, el kerosene contiene algunas impurezas que a su vez deben ser tratadas a fin de mejorar su calidad y utilidad.

Arandela: son elementos de montaje con forma de disco delgado con un agujero usualmente en el centro, el uso principal es para soportar una carga de

apriete, aunque también se utilizan como espaciador, de resorte, dispositivo indicador de precarga y como dispositivo de seguro, siendo su uso más frecuente el sentar tuercas y cabezas de tornillos.

Bobina: dispositivo que proporciona alta tensión para generar la chispa de modo que logre su objetivo. pues permite que aumente la corriente para así crear un campo magnético o lograr que circule una corriente eléctrica a través de la bujía.

Tensión/voltaje: La tensión eléctrica, que se conoce como voltaje, es la magnitud que revela la diferencia que existe en el potencial eléctrico de dos puntos. La unidad de medida de esta tensión recibe el nombre de voltio.

Amperaje/corriente: Una corriente eléctrica consiste en un flujo de electrones a través de un material conductor. Dicha corriente se caracteriza por varias propiedades y parámetros, como la intensidad, la potencia o la tensión, la intensidad de una corriente eléctrica es la cantidad de electrones que fluyen por unidad de tiempo a través del material, y en el Sistema Internacional de Unidades se mide en amperios, cuyo símbolo es A.

Abreviaturas

APU: Unidad de potencia auxiliar

TL: Turbina Libre

PCP: Protector contra el polvo

FOD: Daños por objetos extraños

TLR: Tiempo limite de reparación.

AC: Corriente Alterna

Kgf/cm²: Presión de aire, kilogramos fuerza sobre centímetros cuadrados.

DAPS: Dispositivo automático de protección contra sobretensión.

MTG: Motor de turbina de gas.

Bibliografía

- Avia.pro. (18 de Febrero de 2015). *Noticias de la aviación*. Recuperado el 13 de Marzo del 2021, de Noticias de la aviación: <https://avia-es.com/blog/mi-171>
- Blanco, R. L. (2019). *Estudio de aeronaves de alas giratorias, helicópteros, clasificación según tipo de rotor, diseño en Catia V5 del sistema rotor*. Sevilla: SN. Recuperado el 23 de marzo del 2021, de: <https://idus.us.es/handle/11441/94050>
- Brassey, M. J. (2000). *Directorio mundial de aeronaves y sistemas*. Londres: ISBN. Obtenido de Klimov TV3-117. Recuperado el 20 de Abril del 2021, de: https://tvd.wiki/wiki/Klimov_TV3-117VMA-SBM1
- Company, T. L. (23 de Junio de 2021). *LINCOLN ELECTRIC*. Recuperador el 23 de Junio del 2021, de LINCOLN ELECTRIC: https://www.lincolnelectric.com/es-co/equipment/stick-welders/Pages/ac-225.aspx?utm_referrer=direct/not+provided
- Federal Aviation Administration, F. S. (2018). *Aviation Maintenance Technician Handbook - Airframe Volume 1*. United States: U.S. Department of Transportation. Recuperado el 28 de Junio del 2021, de: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/
- Ivchenko. (2001). Manual de Empleo, Mantenimiento Técnico. *Motor de Turbina de Gas AI-9B*, pag.1; pag.2; pag.3. Recuperado el 5 de Julio del 2021, de: Manual de Empleo, Mantenimiento Técnico
- Ivchenko-Progress, S. (1 de 1 de 2020). *Ivchenko-Progress*. Recuperado el 17 de Julio del 2021, de Ivchenko-Progress: <https://ivchenko-progress.com/?portfolio=ai-9b&lang=en>
- Klimov. (2001). Motor de Turbina Provista del Eje TB3-117. *Manual de Empleo Técnico 078.00.5700 RE LIBRO 1*, pag.1 y pag.2. Recuperado el 28 de Julio

del 2021, de: *Manual de Empleo Técnico 078.00.5700 RE LIBRO 1*

Rivas, A. G. (2003). *Motores de Turbina de Gas*. N/A: N/A. Recuperado el 1 de Agosto del 2021, de: <https://pdfcoffee.com/a-g-rivas-motores-de-turbina-de-gas-pdf-free.html>

Stone, S. (2018). *Fuerzas Especiales: Historias de Heroísmo Alrededor del Mundo*. En S. Stone, *Fuerzas Especiales: Historias de Heroísmo Alrededor del Mundo* (pág. 386). Gateshead: Babelcube Inc., 2018. Recuperado el 20 de Agosto del 2021, de: *Fuerzas Especiales: Historias de Heroísmo Alrededor del Mundo*

Universidad de Sevilla, D. d. (20 de Mayo de 2009). *Media Wiki*. Recuperado el 29 de Agosto del 2021, de Media Wiki:
http://laplace.us.es/wiki/index.php?title=Especial:Entrar&returnto=Ciclo_Brayton

ANEXOS