



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA
MENCIÓN MOTORES**

**TEMA: “INSPECCIÓN DE 3000 HORAS DE LOS MOTORES
ARRIEL 1B DE LAS AERONAVES ECUREUIL AS 350B3e
ACORDE A LA DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL
FABRICANTE TURBOMECA PARA EL CENTRO DE
MANTENIMIENTO DE LA AVIACIÓN DEL EJÉRCITO
ECUATORIANO (CEMAE)”**

AUTOR: CHUQUIMARCA VELA KLEBER ARMANDO

DIRECTOR: TLGO. ANDRÉS ARÉVALO

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPECIALES

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**INSPECCIÓN DE 3000 HORAS DE LOS MOTORES ARRIEL 1B DE LAS AERONAVES ECUREUIL AS 350B3e ACORDE A LA DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE TURBOMECA PARA EL CENTRO DE MANTENIMIENTO DE LA AVIACIÓN DEL EJÉRCITO ECUATORIANO (CEMAE)**” fue realizado por el señor **CHUQUIMARCA VELA KLEBER ARMANDO**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito a acreditarlo y autorizar al señor **CHUQUIMARCA VELA KLEBER ARMANDO** para que lo sustente públicamente.

Latacunga. Febrero del 2019

Tlgo. Andrés Arévalo Rodríguez

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **CHUQUIMARCA VELA KLEBER ARMANDO**, con cedula de identidad N° 1720096336, declaro que este trabajo de titulación **“INSPECCIÓN DE 3000 HORAS DE LOS MOTORES ARRIEL 1B DE LAS AERONAVES ECUREUIL AS 350B3e ACORDE A LA DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE TURBOMECA PARA EL CENTRO DE MANTENIMIENTO DE LA AVIACIÓN DEL EJÉRCITO ECUATORIANO (CEMAE)”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga. Febrero del 2019

CHUQUIMARCA VELA KLEBER ARMANDO

C.I.: 172009633-6



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **CHUQUIMARCA VELA KLEBER ARMANDO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**INSPECCIÓN DE 3000 HORAS DE LOS MOTORES ARRIEL 1B DE LAS AERONAVES ECUREUIL AS 350B3e ACORDE A LA DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE TURBOMECA PARA EL CENTRO DE MANTENIMIENTO DE LA AVIACIÓN DEL EJÉRCITO ECUATORIANO (CEMAE)**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga. Febrero del 2019

CHUQUIMARCA VELA KLEBER ARMANDO

C.I.: 172009633-6

DEDICATORIA

Este proyecto de grado se lo dedico primeramente a Dios, a toda mi querida familia, mis hermanos, mi querida hija, esposa y de manera especial a mis padres que gracias al apoyo incondicional de ellos, que se encuentran día a día pendiente de mí, en los momentos de alegría y tristeza durante toda mi vida profesional como estudiante, padre, hermano, amigo e hijo; todos ellos me brindan la fortaleza, las ganas de seguir adelante sin perder el camino del bien y de lo que es correcto, nunca es tarde para aprender y brindar algo de conocimiento a todas aquellas personas que la necesiten, para ellos mis más sinceros agradecimientos, mil gracias por su ejemplo y amistad.

De igual manera un agradecimiento infinito a todas las personas, que me apoyaron durante toda mi vida académica con sus consejos y experiencias que son más que simples, son experiencias de vida que se quedan para siempre, ayudándome a conseguir mis metas propuestas, al iniciar un nuevo reto.

Dios los Proteja y Bendiga Siempre

CHUQUIMARCA VELA KLEBER ARMANDO

AGRADECIMIENTO

A Dios y mi madre por haber dado la vida; permitiendo conocer gente durante toda mi larga vida que me supieron dar su gran amistad y apoyo incondicional en los momentos de alegría y tristeza, dando gracias a Dios en todo momento, se logró finalizar con este proyecto que me propuse culminar y alcanzado mi meta propuesta hace ya algunos años, que conlleva aplicar mis conocimientos adquiridos en esta gran Unidad de Gestión de Tecnologías-ESPE y con ayuda del Sr. Tlgo. Andrés Arévalo cual me guía en este proyecto propuesto llegue a su finalización y así me permitirá aportar al desarrollo de la institución a la cual pertenezco, como miembro de Fuerzas Armadas, dejando en cada trabajo, misión, encomendada todo lo adquirido y desarrollado con este proyecto.

CHUQUIMARCA VELA KLEBER ARMANDO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Justificación.	3
1.4 Objetivo General	4
1.4.1 Objetivos Específicos.....	4
1.5 Alcance	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Historia de la Aviación del Ejército Ecuatoriano.	6
2.1.1 Flota de la Aviación del Ejército Ecuatoriano	8
2.2 Aeronaves Ecureuil AS350 en Ecuador.....	9
2.2.1 Aeronave Ecureuil AS350-B3a.....	9
2.2.2 Operaciones históricas del Helicóptero Ecureuil.....	10
2.2.3 Desarrollo del Helicóptero Ecureuil.	10
2.2.4 Versiones del Ecureuil.....	11
2.3 Datos generales de la aeronave Ecureuil:	12
2.3.1 Especificaciones de fabricación del Helicóptero Ecureuil AS350.....	12
2.3.2 Capacidades de combustible utilizable.....	14
2.3.3 Rendimiento del Ecureuil AS350 B3.	14
2.4 Motores de Aviación.....	14
2.4.1 Motores tipo alternativos.	15
2.4.2 Motores a Reacción.	15
2.4.2.1 Motor Turborreactor.....	16
2.4.2.2 Motor Turbohélice	17

2.4.2.3 Turbofan.....	17
2.4.3 Motores Tipo Cohete	18
2.5 Introducción a motor Turboeje.....	19
2.6 Motores ARRIEL	20
2.6.1 Características generales del motor ARRIEL 1B	21
2.6.2 Rendimientos mínimos del turbomotor en un banco de ensayo, sin toma de muestras de aire.	23
2.6.3 Características principales del motor ARRIEL 1B.	24
2.6.4 Componentes del motor ARRIEL 1B.....	24
2.6.5 Identificación de las placas del Motor ARRIEL 1B.....	26
2.7 Descripción y funcionamiento de los módulos del motor ARRIEL 1B..	28
2.7.1 Módulo 05 - Reductor	28
2.7.1.1 Características principales del Módulo 05 - Reductor.....	28
2.7.2 Módulo 04 - Turbina Libre.	29
2.7.2.1 Descripción del módulo 04	30
2.7.3 Módulo 03 - Generador.	31
2.7.3.1 Elementos principales del Módulo 03.	32
2.7.3.1.1 El compresor centrífugo.....	32
2.7.3.1.2 Cámara de combustión.....	33
2.7.3.1.3 La inyección principal de carburante,	34
2.7.3.1.4 Turbina generador de gas.	35
2.7.4 Módulo 02 – Compresor.....	35
2.7.4.1 Parámetros de funcionamiento del módulo 02 del compresor axial.	36
2.7.4.2 Los elementos principales del módulo 02 incluyen elementos giratorios, como elementos estáticos.	37
2.7.5 Módulo 01 - Caja de Accesorios.....	37
2.7.6 Tobera de escape equipada del Motor ARRIEL 1B.....	39
2.7.6.1 Elementos principales de la tobera de escape equipada del Motor ARRIEL 1B.	40
2.8 Circuitos del Turbomotor ARRIEL 1B	40
2.9 Circuito carburante de alta presión.	41
2.9.1 Las características principales circuito carburante.	41
2.9.2 Elementos principales circuito carburante	42

2.10 Circuito de ignición.	43
2.10.1 Elementos principales del circuito de ignición.	43
2.10.2 Generadores de Alta Energía (HE) del circuito de ignición del motor ARRIEL 1B.	44
2.10.3 Elementos principales de los generadores de alta energía (HE). ...	45
2.11 Circuito de aire.	45
2.11.1 Circuito de aire interno del motor ARRIEL 1B.	46
2.11.2 Los Circuitos de tomas de aire del motor ARRIEL 1B	47
2.12 Sistema de control del motor.	48
2.13 Circuito de lubricación.	49
2.13.1 Bombas del circuito del motor.	50
2.13.2 Filtro del circuito del motor.	50
2.13.2.1 Tipos de filtros.	50
2.13.2.2 Micras.	52
2.13.3 Filtros de rejilla del circuito del motor.	53
2.13.4 Desgasificador del circuito del motor.	53
2.13.5 Dispositivos de control del circuito de lubricación.	53
2.13.6 Características principales del circuito de lubricación del motor.	53
2.13.7 Elementos que requieren de lubricación en el motor.	54
2.13.8 Funciones del circuito de aceite del motor ARRIEL 1B.	55
2.13.8.1 Alimentación de aceite del circuito.	55
2.13.8.2 Recuperación de aceite del circuito.	55
2.13.8.3 Desgasificación del circuito de lubricación.	55
2.13.8.4 Control del circuito de lubricación.	56
2.14 Circuito eléctrico de arranque.	57
2.14.1 Generador de arranque (pieza del helicóptero)	57
2.14.2 Generadores de alta energía o cajas excitadoras del motor.	57
2.14.3 Válvula eléctrica de arranque.	58
2.14.4 Válvula de purga de la ramba de inyección.	58
2.14.5 Compuerta de descarga (electroneumática).	58
2.15 Especificaciones del manual de mantenimiento N° X 292 65 452 3 del motor ARRIEL 1B.	59
2.15.1 Capítulos del manual de mantenimiento N° X 292 65 452 3 del motor ARRIEL 1B.	59

2.15.2 Designación de páginas del manual de mantenimiento N° X 292 65 452 3 del motor ARRIEL 1B.....	60
2.16 Tipos de mantenimiento al motor ARRIEL 1B	62
2.17 Operaciones de mantenimiento al motor ARRIEL 1B	62
2.18 Operaciones de mantenimiento obligatorias.....	62
2.18.1 Visitas de puesta a punto.....	62
2.18.1.1 La visita "posterior al último vuelo del día"	63
2.18.1.2 La visita "previa al primer vuelo del día"	63
2.18.1.3 Las visitas "previas a los vuelos"	63
2.18.1.4 Las visitas "posteriores a los vuelos".....	63
2.18.2 Visitas periódicas.	64
2.19 Visitas u operaciones de mantenimiento eventuales.....	64
2.20 Potenciales y límites de vida útil del motor ARRIEL 1B.	65
2.20.1 Potencial entre revisiones generales (TBO)	65
2.20.2 Potencial inicial.....	65
2.20.3 Extensión del potencial.	65
2.20.4 Ciclos de funcionamiento del motor.	66
2.20.5 Límites iniciales de vida útil de servicio del motor.	66
2.20.6 Límites de vida útil de servicio del motor y componentes.	67
2.20.7 Extensión de los límites de vida útil de servicio.	68
2.20.8 Potenciales y límites de vida útil para los equipos y accesorios del motor.....	68
2.20.9 Las visitas periódicas por circuitos (ciclos) u horas del motor.	70
CAPÍTULO III.....	71
DESARROLLO DEL TEMA	71
3.1 Preliminares.....	71
3.2 Procedimientos de seguridad para realizar una inspección o un desmontaje del motor ARRIEL 1B.....	71
3.3 Procedimientos para la elevación y fijación del motor (T.C)	73
3.4 Simbología de los diagramas de flujo y su análisis.....	74
3.5 Diagrama de flujo de análisis del tema.	75
3.6 Instalación del motor en el soporte de ensamblaje modular.	76
3.7 Procedimientos generales a realizar una inspección de 3000 horas...76	
3.8 Inspección de 3000 horas al módulo 01.	78

3.8.1 Verificación del módulo 01 - Caja de accesorios en una inspección de 3000 horas	78
3.8.2 Equipo y material para la inspección de 3000 horas del módulo 01 .78	
3.8.3 Procedimiento de verificación y control en la inspección de 3000 horas.....	79
3.9 Inspección de 3000 horas al módulo 02.	82
3.9.1 Verificación y control del módulo 02 a las 3000 horas.	83
3.9.2 Equipos y material para verificación y control del módulo 02.	83
3.9.3 Procedimiento de verificación del módulo 02 a las 3000 horas.....	84
3.9.4 Procedimiento de control con la herramienta N° 8814768000	88
3.9.5 Procedimiento de control con la herramienta N°TM0131G003 ó N°TM0131G004	90
3.10 Inspección de 3000 horas al módulo 04.	93
3.10.1 Equipos y material para verificación del M04 a las 3000 horas.	94
3.10.2 Procedimiento de verificación.	94
3.11 Implementación de las herramientas especiales.	102
3.11.1 Eslinga motor.	102
3.11.2 Soporte de ensamblaje modular.	106
3.12 Análisis económico.....	112
3.12.1 Análisis de gasto del proyecto.	112
3.12.2 Gastos principales.....	112
3.12.3 Gastos secundarios.	114
3.12.4 Costo total del proyecto de grado.....	114
CAPÍTULO IV.....	115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	115
4.1 Conclusiones	115
4.2 Recomendaciones.	115
GLOSARIO.....	116
ABREVIATURAS.....	118
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 Helicóptero Ecureuil AS 350B3	9
Figura 2 Aérospatiale Alouette II.....	10
Figura 3 Helicóptero Ecureuil AS 350B3 dimensiones.	13
Figura 4 Helicóptero Ecureuil dimensiones con palas plegadas.	13
Figura 5 Motor Alternativo	15
Figura 6 Motor Turborreactor.	16
Figura 7 Motor Turbohélice.....	17
Figura 8 Motor Turbofan G.E	18
Figura 9 Componentes principales de un cohete V2.....	19
Figura 10 Esquema de un motor turboeje de turbina libre.	20
Figura 11 Motor ARRIEL 2B1	21
Figura 12 Designación del motor ARRIEL 1A2.	22
Figura 13 Medidas del motor ARRIEL 1B.	23
Figura 14 Turbomotor ARRIEL 1B.....	25
Figura 15 Identificación por placas en los módulos	26
Figura 16 Placa de identificación de los módulos	27
Figura 17 Módulo 5 – Reductor.....	29
Figura 18 Módulo 04 – Turbina Libre	30
Figura 19 Módulo 03 – Generador de Gas.	31
Figura 20 Módulo 03 – Compresor Centrífugo.	32
Figura 21 Módulo 03 – Cámara de Combustión.	33
Figura 22 Módulo 03 – Inyección de combustible.....	34
Figura 23 Módulo 03 – turbina generadora de gas.....	35
Figura 24 Módulo 02 – Compresor.....	36
Figura 25 Módulo 01 – Caja de accesorios.....	37
Figura 26 Módulo 01 – Fases de funcionamiento.....	38
Figura 27 Módulo 01 – Tobera equipada.	39
Figura 28 Elementos de la tobera de escape.	40
Figura 29 Circuito de combustible del motor ARRIEL 1B	41
Figura 30 Elementos del circuito de combustible del motor.	43
Figura 31 Circuito de ignición del motor ARRIEL 1B.....	44
Figura 32 Partes del Generador de Alta Energía (HE).	45

Figura 33 Circuito de aire del Motor ARRIEL.	46
Figura 34 Circuito de aire interno del motor.....	47
Figura 35 Circuitos de tomas de aire del motor.	47
Figura 36 Diferentes tipos de controles del motor ARRIEL.....	48
Figura 37 Circuito de lubricación.	49
Figura 38 Filtro tipo cartucho recambiable	52
Figura 39 Medida de micrones al ojo humano.....	52
Figura 40 Elementos lubricados en el motor ARRIEL 1B.....	54
Figura 41 Partes del circuito de lubricación del motor ARRIEL 1B.....	56
Figura 42 Funcionamiento de los generadores de alta energía.	58
Figura 43 Pantalla de protección del motor.	73
Figura 44 Piezas consumibles, juntas tóricas.....	73
Figura 45 Eslinga del motor y puntos de fijación.	74
Figura 46 Simbología del diagrama de flujo	74
Figura 47 Motor instalado en el soporte.	76
Figura 48 Modulo 01 y módulo 05 Inspección visual.....	79
Figura 49 correcto estado del eje de potencia.....	79
Figura 50 Piñón de salida del módulo 05	80
Figura 51 Tubos de aceite del M01	80
Figura 52 Tubo de enlace (08)	81
Figura 53 Inspección de ovalización en el M05.	81
Figura 54 Verificación del módulo 01	82
Figura 55 Juego de plantillas de control de la erosión.	84
Figura 56 Partes fijas del compresor axial	85
Figura 57 Búsqueda de anomalías en el M02.....	85
Figura 58 Zona III del álabe del compresor axial	86
Figura 59 Zonas de los álabes del compresor axial.	87
Figura 60 Alabes del estator	87
Figura 61 Herramienta de control de la erosión N° 8814768000.....	88
Figura 62 plantilla de control de erosión.....	88
Figura 63 uso de la plantilla y calibrador.	89
Figura 64 Límites de la erosión a ser aplicados.....	89
Figura 65 plantilla de control de la erosión (30).	90
Figura 66 Herramienta N°TM0131G003.....	90

Figura 67 Procedimiento de control de la erosión.	91
Figura 68 Verificación de los cárteres.....	92
Figura 69 Cono de la entrada de aire del M02.	92
Figura 70 Marcas de rozamiento del módulo 02	93
Figura 71 Brazos del soporte parte interna.	95
Figura 72 Brazos de soporte del módulo 04	96
Figura 73 Suelda del módulo 04	96
Figura 74 Verificación y control de la turbina libre	97
Figura 75 Verificación de los álabes de turbina	98
Figura 76 Búsqueda de impactos en el módulo 04	98
Figura 77 Módulo 04 álabes (04) (x27)	99
Figura 78 Rodamiento (01) del módulo 04.....	99
Figura 79 Inspección de la tuerca (02)	100
Figura 80 la tuerca de la izquierda (02)	100
Figura 81 Inspección del tope (03).	101
Figura 82 Inspección del M04 y sus herramientas	101
Figura 83 Eslinga motor	103
Figura 84 Travesaño de iza	104
Figura 85 Anillo rápido.....	105
Figura 86 Gancho tipo mosquetón (x3)	105
Figura 87 Soporte de ensamblaje modular	107
Figura 88 Efecto del carbono en la soldabilidad del acero	108
Figura 89 Diagrama de resistencia y ductibilidad	108
Figura 90 Chasis (20).	109
Figura 91 Dos brazos (030) y (040),	109
Figura 92 Soporte trasero (050)	110
Figura 93 Soporte delantero (060).	110
Figura 94 Ruedas del soporte de ensamblaje.....	111
Figura 95 Soporte de ensamblaje modular adaptado en Ecuador.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Versiones del Helicóptero Ecureuil.	11
Tabla 2 Datos generales del Helicóptero Ecureuil AS350/ AStar.....	12
Tabla 3 Especificaciones del fabricante para el Ecureuil AS350	12
Tabla 4 Capacidades de combustible utilizable	14
Tabla 5 Rendimiento del Ecureuil AS350 B3.....	14
Tabla 6 Designación del motor ARRIEL 1B1	22
Tabla 7 Rendimientos mínimos del turbomotor en un banco de ensayo, sin toma de muestras de aire	23
Tabla 8 Características principales del motor ARRIEL 1B.	24
Tabla 9 Identificación de los módulos del motor ARRIEL 1B.	25
Tabla 10 Referencia de los módulos.....	27
Tabla 11 Características principales del Módulo 05 - Reductor	28
Tabla 12 Parámetros de funcionamiento del módulo 02.	36
Tabla 13 Características principales de la tobera equipada en el motor.	39
Tabla 14 Elementos principales circuito carburante	42
Tabla 15 Características principales de los generadores de alta energía	44
Tabla 16 Circuitos de aire utilizados para el funcionamiento del motor.	45
Tabla 17 Características principales del circuito de lubricación.	53
Tabla 18 Elementos que requieren de lubricación en el motor.	54
Tabla 19 Capítulos del manual de mantenimiento N° X 292 65 452 3.....	59
Tabla 20 Designación de páginas según sistema ATA.....	60
Tabla 21 División de páginas del manual de mantenimiento del motor ARRIEL.	61
Tabla 22 Valores de los límites de vida útil de los principales componentes del motor ARRIEL 1B.....	67
Tabla 23 Operaciones de mantenimiento de visitas periódicas por horas	69
Tabla 24 Operaciones de mantenimiento en las visitas periódicas.	70
Tabla 25 Eslinga motor del catálogo de herramientas de mantenimiento ..	103
Tabla 26 Soporte de ensamblaje modular.	106
Tabla 27 Gastos principales.	113
Tabla 28 Gastos secundarios.....	114
Tabla 29 Costo total del proyecto de grado.	114

RESUMEN

Las Aeronaves de ala fija y ala rotatoria utilizadas para el transporte de personal civil y militar, dentro del territorio Ecuatoriano, más aún con una flota de helicópteros Ecureuil y con las más de miles de horas de vuelo de operación, implican desgaste de sus motores, fuselaje y componentes, en la utilización de los motores se presentan una gran gama de motores ARRIEL utilizados para generar el empuje en estas aeronaves, los cuales tienen que ser periódicamente inspeccionados o reemplazados, según sea el requerimiento de los motores.

Con la inspección de los módulos que posee el motor ARRIEL, se puede asegurar una correcta operatividad de la aeronave Ecureuil, estos motores poseen cinco módulos, que pueden ser reemplazados e inspeccionados indistintamente según se cumpla su tiempo límite de vida útil o en caso de avería de algún componente, asegurando un correcto funcionamiento de los circuitos del motor y en las condiciones climáticas o de altitud que puede operar.

Según la recopilación de la documentación técnica del motor, se efectuó el trabajo práctico, donde se utilizó el catálogo de herramientas especiales, manual de mantenimiento tanto del motor, como de la aeronave, así como procedimientos de inspección y desmontaje de cada uno de los módulos, donde se ocupan las diferentes herramientas especiales para las tareas de mantenimiento, aplicadas por el fabricante TURBOMECA.

PALABRAS CLAVE:

- MÓDULO.
- TIEMPO LÍMITE
- FABRICANTE
- FUSELAJE

ABSTRACT

Fixed-wing and rotary-wing aircraft used for the transport of civilian and military personnel, within the Ecuadorian territory, even more with a fleet of Ecureuil helicopters and with more than thousands hours of operating flight, imply wear of their engines, fuselage and components, in the use of the engines a large range of ARRIEL engines are presented used to generate the thrust in these aircraft, which have to be periodically inspected or replaced, according to the requirements of the engines.

With the inspection of the modules that the ARRIEL engine possesses, it is possible to ensure the correct operation of the Ecureuil aircraft, these engines have five modules, which can be replaced and inspected without distinction as their time limit of useful life is reached or in case of breakdown of some component, ensuring a correct operation of the motor circuits and in the climatic or altitude conditions that can operate.

According to the compilation of the technical documentation of the engine, practical work was carried out, where the catalogue of special tools, maintenance manual of both the engine and the aircraft was used , as well as inspection and disassembly procedures for each of the modules, where the different special tools for maintenance tasks are used, applied by the manufacturer TURBOMECA.

KEYWORDS:

- MODULE.
- LIMIT TIME
- MAKER
- FUSELAGE

Checked by:

LCDA. MARÍA ELISA COQUE

DOCENTE UGT

CAPÍTULO I

“INSPECCIÓN DE 3000 HORAS DE LOS MOTORES ARRIEL 1B DE LAS AERONAVES ECUREUIL AS 350B3e ACORDE A LA DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE TURBOMECA PARA EL CENTRO DE MANTENIMIENTO DE LA AVIACIÓN DEL EJÉRCITO ECUATORIANO (CEMAE)”

1.1 Antecedentes

La Brigada de Aviación del Ejército N°15 “PAQUISHA” (15-BAE “PAQUISHA”), situada en la Provincia de Pichincha en el cantón Rumiñahui, cuenta con un Centro de Mantenimiento de la Aviación del Ejército (CEMAE) que presta instalaciones de calidad para los trabajos de mantenimiento aeronáutico en aviones y helicópteros, una unidad operativa de la Fuerza Terrestre, la cual dio sus inicios en el año 1954 y llega a constituirse en 1978 como la Brigada de Aviación del Ejército, creada para prestar servicios de transporte y abastecimiento aéreo a todas las unidades del Ejército Ecuatoriano, con el traslado de personal militar y civil brindando un servicio aéreo hacia todas las regiones del Ecuador.

El Centro De Mantenimiento De La Aviación Del Ejército (CEMAE) cuenta con un departamento de mantenimiento aeronáutico, con áreas de motores, estructuras, soldas, pinturas, aviónica y electrónica disponiendo de técnicos especializados en aeronaves de ala fija y rotatoria, con los más altos estándares de preparación técnica y humanística, que con los avances de la ciencia y tecnología nos obliga al mejoramiento continuo de la educación para así brindar un mejor servicio a la sociedad y al país, es por esta razón, el proyecto permitirá desmontar y ensamblar el motor ARRIEL 1B, comprobando su correcto funcionamiento en el Helicóptero ECUREUIL que nos permite asegurar una correcta aeronavegabilidad.

Con la gran demanda de prestación de servicios aéreos y cumpliendo con las diferentes tareas de mantenimiento aeronáutico en los motores, se presentan diferentes necesidades, como la ausencia de bancos de prueba, herramientas especiales de desmontaje y ensamblaje modular, en el momento de realizar inspecciones complementarias y/o periódicas, en los diferentes componentes del motor, por lo cual se determinó en la implementación del equipo y herramientas de desmontaje de los motores ARRIEL, para realizar chequeos, inspecciones y comprobaciones, así mantener una óptima operatividad de las aeronaves y sus componentes reduciendo los tiempos de trabajo y aumentando la vida útil de cada componente del motor.

1.2 Planteamiento del Problema

Desde el momento que una aeronave inicia su funcionamiento se suma su tiempo de vida útil en vista que la mayoría de operadores aéreas no cuentan con herramientas especiales para verificar el funcionamiento de sus componentes como son los motores ARRIEL 1B de fabricación francesa, los cuales se encuentran en proceso de mantenimiento e inspecciones programadas de acuerdo a los manuales de mantenimiento, que reposan en la biblioteca técnica de las instalaciones del Centro de Mantenimiento de la Aviación del Ejército (CEMAE), por lo cual al no contar con las herramientas para el desmontaje y ensamblaje modular de los motores, se observa la necesidad de implementar las herramientas adecuadas para este tipo de inspecciones periódicas

Los equipos y herramientas especiales para un desmontaje y ensamblaje modular para los motores ARRIEL, no se encuentra disponible dentro del Centro de Mantenimiento, por lo que se requiere de suma importancia la implementación de la misma, ya que esta permite un correcto posicionamiento del motor para trabajos de mantenimiento e inspecciones así como para el transporte dentro del taller de motores; o desde y hacia la aeronave.

La implementación de una eslinga motor con P/N 881997400 y de un soporte de ensamblaje modular con P/N TM00386001, que simplificara al personal de aerotécnicos del CEMAE, un mejor conocimiento acerca del motor ARRIEL 1B, ya que nos permitirá desmontar y ensamblar el motor en una correcta posición, así como colocar los motores para un montaje adecuado en las aeronaves, permitiendo que el personal de técnicos pueda realizar las tareas de mantenimiento e inspecciones requeridas del motor evitando retrasos y posibles fallas en las tareas.

1.3 Justificación

El Centro de Mantenimiento de la Aviación del Ejército (CEMAE) es considerado como uno de los mejores centros de mantenimiento de aviación militar a nivel nacional e internacional, posee los mejores talleres de motores, estructuras, electrónica y aviónica, por esta razón que se debe proporcionar instalaciones, equipo y material adecuado, para mejorar la capacidad de operación permitiendo que las aeronaves y sus componentes se encuentren en óptimas condiciones para su puesta en servicio y en condiciones aceptables de operación, para cumplir con la misión encomendada por la Institución.

La necesidad de implementar las herramientas especiales que permite el desmontaje y ensamblaje modular de los motores ARRIEL 1B utilizados en los helicópteros ECUREUIL AS350 del Centro de Mantenimiento, servirá para realizar las diferentes tareas de mantenimiento e inspecciones en el menor tiempo posible, permitiendo una eficiente y eficaz optimización de los recursos humanos y materiales, logrando mantener aeronaves listas y disponibles en el menor tiempo posible.

El Centro de Mantenimiento cuenta con motores específicos de las aeronaves de fabricación Francesa, Rusa, Estadounidense y Canadiense por lo que es primordial mantener una adecuada organización de dichos motores que se encuentran en sus talleres, cada motor posee su propia y adecuada herramienta especial para los diferentes trabajos de

mantenimiento e inspecciones, logrando aportar con la operatividad de trabajo del CEMAÉ.

1.4 Objetivo General

Ejecutar el mantenimiento periódico de 3000 horas de los motores ARRIEL 1B de la sección de Motores acorde a la documentación técnica del fabricante TURBOMECA N X292654523 para el Centro de Mantenimiento de Aviación del Ejército (CEMAE).

1.4.1 Objetivos Específicos

- Identificar la información técnica necesaria del manual de herramientas especiales y de mantenimiento de los motores ARRIEL N X292654523, mediante las especificaciones del fabricante del motor como peso y número de módulos que este posee.
- Determinar los diversos tipos de mantenimiento e inspecciones, que se le brinda a los módulos del motor ARRIEL 1B, acorde con el manual de mantenimiento N X292654523 y las normas de seguridad, para desmontar los diferentes módulos que posee el motor, para que el operario realice el trabajo de manera más segura y confiable.
- Implementar las herramientas especiales, eslinga motor con P/N 881997400 y soporte de ensamblaje modular con P/N TM038G001 para el desmontaje y ensamblaje por módulos del motor ARRIEL 1B.

1.5 Alcance

Este proyecto busca la adquisición e implementación de las herramientas especiales, no disponibles en la Aviación del Ejército, que permiten el desmontaje y ensamblaje por módulos de los motores ARRIEL 1B utilizados en helicópteros ECUREUIL AS350, que se construirá juntamente con los manuales disponibles del motor, tomando en cuenta las recomendaciones del fabricante, que permitirá un correcto mantenimiento e inspecciones del motor, para el uso del personal aerotécnico en el Centro de Mantenimiento de la Aviación del Ejército.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Historia de la Aviación del Ejército Ecuatoriano

El arma de Aviación del Ejército nació en 1954, con el inicio del Capitán de Infantería Colón Grijalva H., quien inició la gestión necesaria para materializar el apoyo aéreo que los soldados y personal del ejército necesitaban. Los primeros tres aviones monomotor llegaron a Guayaquil como una donación extranjera, con lo que empezó el programa Alas para la Frontera con el Servicio Aéreo del Ejército – SAE con los aviones Piper Tripacer, Taylor Craft y Piper PA-18-150.

Para 1960, se adquirieron aviones monomotor Cessna L-19 en versión militar para operar en la región Oriental del país, pero ese proyecto no se concretó y finalmente llegaron nuevos aviones Piper bimotor Aztec y cinco monomotores Comanche. Con estas nuevas incorporaciones iniciaron operaciones militares en la provincia de Pastaza operando a pistas cortas y rústicas con el objetivo de aportar con ayuda humanitaria a las poblaciones más alejadas de la región, comunidades indígenas y compañías petroleras.

Para diciembre de 1964, el Comando del Ejército adquiere dos aviones Cessna 185 con capacidad para seis personas, con el objetivo de potenciar las operaciones en la Amazonia, que había sido suspendida por falta de equipos, pilotos y por lamentables accidentes que se dieron años antes. Ya en 1971, el SAE adquirió nuevas y modernas unidades de vuelo, dando un paso trascendental en la vida de la institución. Se compró un avión turbohélice SKYWAN y dos avionetas Heli-Porter, con características Stall. Estas sirvieron para dar mayor atención a las unidades de la Región Oriental.

En 1972, se inició la operación de helicópteros en el Ejército Ecuatoriano, cuando, por una necesidad propia del I. G. M. en sus trabajos topográficos de campo, se aprovechó la invitación que hizo la Aviación Ligera del Ejército

Francés. Al evento concurren dos pilotos del Ejército que, posteriormente, continuarían los trabajos con este instituto. En 1975, se adquirió aviones tipo Arava (con armamento), ayudando, de esta manera, a solucionar el problema logístico y administrativo de las unidades de todo el país. Se utilizaron en el lanzamiento de paracaidistas y en operaciones de contrainsurgencia.

Con la creación del SAE y la Aviación del Ejército, paralelamente, nació el mantenimiento de aeronaves. Progresivamente, se incrementó el personal y los medios en esta área técnica, para lo cual la Aviación del Ejército formó un Centro de Mantenimiento capacitado, donde se realizan inspecciones mayores a helicópteros Súper Puma, Puma, Gazelle, Lama, mantenimiento profundo a motores, mantenimiento estructural de helicópteros y aviones, mantenimiento de sistemas hidráulicos, electrónica y aviónica.

En 1981 en la Cordillera del Cóndor, la Aviación del Ejército realiza su bautizo de fuego, al desplegar de manera profesional y con gran entrega un pequeño grupo de helicópteros Lama para el transporte y soporte de las tropas que ahí se encontraban. Luego de las operaciones de 1981, se incluyeron aviones de transporte mediano, como el Buffalo, para trabajos de aerofotogrametría; helicópteros de transporte mediano, tipo Puma, de asalto, como el Bell 212; de combate, como los legendarios Gazelles; artillados, adecuados para la lucha antipersonal y antitanque.

Para 1987, la Aviación del Ejército Ecuatoriano contaba con un aproximado de 70 aeronaves. Esto la convirtió en una de las flotas aéreas más numerosas y poderosas de América del Sur, debido, principalmente, a su alto porcentaje de operabilidad y al moderno armamento que se poseía en aquella época, en el conflicto del Alto Cenepa, en 1995 nuevamente la Aviación del Ejército desplegó el 85% de sus aviones para misiones de ataque y defensa del territorio nacional ante el avance de Perú en la frontera sur con más de 5.000 horas de misiones varias.

Años más tarde, se adquieren aviones de instrucción Cessna 172, dos Cessna 175, siete helicópteros C3-FENEC, con su respectivo armamento, tres helicópteros B2-ECUREUIL, dos helicópteros de transporte MI-17. De

esta manera, el Ejército entra a la era de instrumentación digital, ya que todas estas aeronaves llegaron con sistemas EFIS, FMS, GNS, Movmaps y radares meteorológicos. (NICOLÁS LARENAS, 2018).

2.1.1 Flota de la Aviación del Ejército Ecuatoriano

La flota de aeronaves de la Aviación del Ejército, se conforma de una gran variedad de empresas fabricantes de aeronaves, motores y sus diferentes componentes; como son en ala rotatoria, aeronaves de origen Francés y origen Ruso; mientras que ala fija, aeronaves de origen Español, Israelita, Polaco y Americano entre los que se pueden destacar:

- Eurocopter AS550 C3 Fennec
- Cessna 182
- Pilatus PC-6
- Maule M-7 (retirado)
- Bell 212
- Bell 412
- Beechcraft Super King Air
- IAI Arava (fuera de servicio)
- 2 C-212
- 2 CASA CN-235
- 1 DHC-5 Buffalo (retirado)
- Cessna Citation II
- 3 AS550 C3 Fennec
- 10 Aérospatiale Gazelle
- 11 Mil MI-17 (9 Mi-17-1V y 2 Mi-171E)
- 5 SA 330 Puma
- 7 AS332 Super Puma
- 6 AS 532 Cougar
- 6 Aérospatiale SA 315B Lama
- 7 AS350 Ecureuil
- 9 Bell 206

2.2 Aeronaves Ecureuil AS350 en Ecuador

En la ciudad de Quito a los 26 días del mes junio del 2018, la Brigada de Aviación del Ejército Ecuatoriano N° 15 “Paquisha” recibió su segundo helicóptero Airbus Helicopters Ecureuil AS350-B3a, en actos precedidos por el General Roque Moreira, comandante general del Ejército de Ecuador, siendo esta la segunda aeronave de este tipo entregado en cumplimiento del contrato firmado entre Airbus y el Ministerio de Defensa Nacional Ecuatoriano en 2017.

Que tiene como fin aumentar las capacidades operativas de la Aviación del Ejército, en el Ecuador operan más de 40 helicópteros Airbus, tanto por las Fuerzas Armadas, como por clientes civiles, que son destinadas a misiones de transporte comercial, vigilancia aérea y apoyo a la población de casos de desastres naturales. (Saumeth , 2018).

2.2.1 Aeronave Ecureuil AS350-B3a

El Helicóptero de Eurocopter AS350 Ecureuil conocido como "Ardilla" por su traducción en español, es un helicóptero liviano de uno o dos motores, fabricado originalmente por Aerospatale (ahora parte del Grupo Eurocopter). El Helicóptero AS350 se comercializa en Norteamérica y el resto de América como AStar.



Figura 1 Helicóptero Ecureuil AS 350B3

Fuente: (JeffreyGroup Brasil, 2018)

Con su variante más utilizada en Ecuador por la Fuerza Aérea Ecuatoriana y el Ejército Ecuatoriano, el Helicóptero AS355 Ecureuil 2, es comercializado en Norteamérica como TwinStar, esta es una variante de doble motor, siendo capaces de operar en condiciones extremas de altitud y calor. (The Skytamer Archive, 2000).

2.2.2 Operaciones históricas del Helicóptero Ecureuil

El 14 de mayo de 2005, un Helicóptero Ecureuil AS350 B3 piloteado por el piloto de pruebas de Eurocopter Didier Delsalle, aterrizo en la cima del monte Everest, a 8,848 m., este registro ha sido confirmado por la Fédération Aéronautique Internationale.

El 29 de abril de 2010, un AS350 B3 simplificado logro rescatar a tres alpinistas de Annapurna I, Nepal, a 8,091 m. uno a la vez, el rescate más alto registrado por Eurocopter. (The Skytamer Archive, 2000).

2.2.3 Desarrollo del Helicóptero Ecureuil

Todo comenzó a principios de los años 1970, con el diseño de la nueva flota de aeronaves tipo Ecureuil AS350, que sirvieron para reemplazar al Aérospatiale Alouette II, y el primer vuelo fue registrado el 27 de junio de 1974; a partir de este primer vuelo y las nuevas versiones de aeronaves, la producción de Eurocopter sigue siendo sólida en varias partes del mundo y con sus patentes en varios países del mundo. (The Skytamer Archive, 2000).



Figura 2 Aérospatiale Alouette II

Fuente: (Schoeman, 2016)

2.2.4 Versiones del Ecureuil

Tabla 1

Versiones del Helicóptero Ecureuil

Versión	Características
AS350	Prototipo base.
Bombero AS350	Versión para combatir incendios.
AS350 B	Asistido por un motor Turbomeca Arriel 1B.
AS350 B1	Versión mejorada del AS350B original, que funciona con un motor Arriel 1D, Tipo también equipado con aspas de rotor principal y un rotor de cola de la versión AS355.
AS350 B2	Versión de mayor peso bruto propulsado por un motor Arriel 1D1 sobre la versión B1
AS350 B3	Versión de alto rendimiento, está propulsado por un motor Arriel 2B equipado con una unidad de control de motor digital de un solo canal con respaldo mecánico.
AS350 BA	Impulsado por un motor Arriel 1B y equipado con palas de rotor principal AS 355.
AS350 BB	AS350 B2: variante seleccionada para satisfacer las necesidades de entrenamiento del ala giratoria, impulsado por un motor Arriel 1D1.
AS350 C	Variante inicial de la versión con motor Lycoming LTS-101-600A2 desarrollado para el mercado norteamericano como AStar.
AS350 D	Desarrollado por un motor Lycoming LTS-101 para el mercado norteamericano.
AS350 L1	Derivada militar de AS 350 B1, propulsada por un turbosje Turbomeca Arriel 1D de 510 kW.
AS350 L2	Derivada militar de AS 350 B2, propulsada por un turbosje Turbomeca Arriel 1D1 de 546 kW.

Fuente: (The Skytamer Archive, 2000)

2.3 Datos generales de la aeronave Ecureuil

Tabla 2

Datos generales del Helicóptero Ecureuil AS350/ AStar

Característica	Detalle
Nombre comercial	AS-350 Ecureuil
Utilidad	Helicóptero utilitario de transporte ligero.
Fabricante	Aérospatiale Eurocopter Group.
Tipo de Ala	Giratorio; rotor principal de tres palas; rotor de cola de dos palas.
Primer vuelo	26 de junio de 1974
Estado de producción	Activo y en producción.
Fecha de introducción/producción	1975/en la actualidad
Costo	AS350 B2 (US \$ 2.0M.), (€1,5M).
Variantes	Eurocopter AS355, AS550 Fenec.
Desarrollado	Eurocopter EC 130
Motor	Turboeje
Tren de aterrizaje	Tipo Skids

Fuente: (The Skytamer Archive, 2000)

2.3.1 Especificaciones de fabricación del Helicóptero Ecureuil AS350

Tabla 3

Especificaciones del fabricante para el Ecureuil AS350

Especificaciones	Características generales
Tripulación	1
Capacidad	5
Longitud	10.93 m. (35 pies 10 ½ in).
Altura	3.14 m. (10 pies 3 ½ in).
Área del disco	89.75 m ² (966.1 ft ²)
Peso en vacío	1,174 kg (2,588 lb.)
Max. Peso de despegue	2,250 kg (4,960 lb.)

Planta de energía	1 turboeje Turbomeca Arriel 2B, 632 kW (847).
Modelo de motor	Turbomeca Arriel.

Fuente: (The Skytamer Archive, 2000)

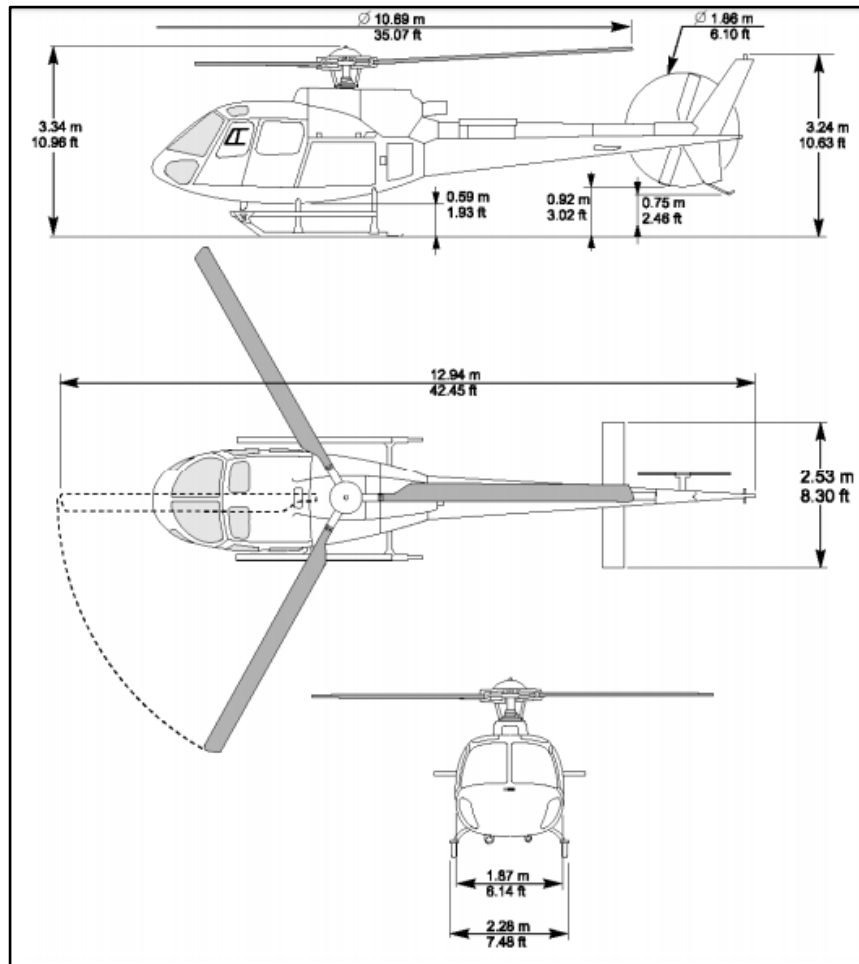


Figura 3 Helicóptero Ecureuil AS 350B3 dimensiones

Fuente: (EUROCOPTER AS350 B, Technical Data, 2009)

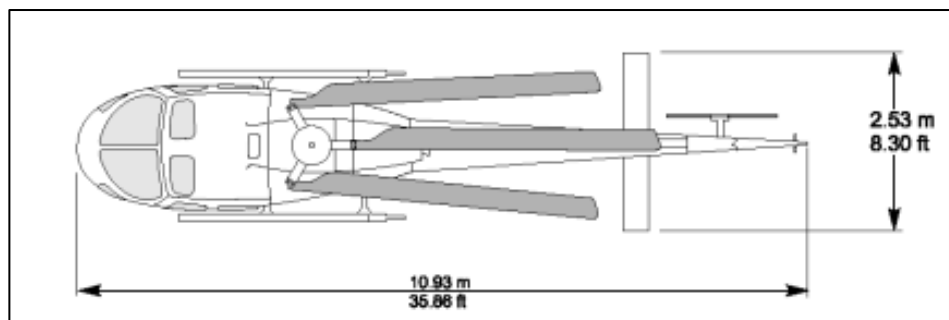


Figura 4 Helicóptero Ecureuil dimensiones con palas plegadas

Fuente: (EUROCOPTER AS350 B, Technical Data, 2009)

2.3.2 Capacidades de combustible utilizable

Tabla 4

Capacidades de combustible utilizable

Tanque	Capacidad
Tanque de combustible estandar	540 litros (143 US gal.); 426 kg (939 lb)
Tanque de combustible auxiliar (opcional)	475 litros (125 US gal.); 375 kg (827 lb)

Fuente: (EUROCOPTER AS350 B, Technical Data, 2009).

2.3.3 Rendimiento del Ecureuil AS350 B3

Tabla 5

Rendimiento del Ecureuil AS350 B3

Condicion	Rendimiento
Nunca exceda la velocidad	287 km/h (155 nudos, 178 mph).
Velocidad de crucero	245 km/h (132 nudos, 152 mph).
Rango	662 km (357 nm, 411 mi).
Resistencia	4.1 horas
Techo de vuelo	4600 m (15,100 pies).
Velocidad de ascenso	8.5 m/s (1.675 ft/min).

Fuente: (The Skytamer Archive, 2000)

2.4 Motores de Aviación

Los motores utilizados en el campo aeronáutico, transforman la energía potencial, contenida en un comburente y un combustible, ya sea en energía cinética o en energía mecánica; la mayor parte de los motores utilizan el aire como comburente sometiéndolo a una serie de transformaciones como son las 3 fases principales de la producción de energía: compresión, combustión y expansión. (TUBOMECA, 1981).

Los más utilizados en el campo aeronáutico son de tres tipos los de tipo alternativo, los de tipo reacción y el tipo cohete.

2.4.1 Motores tipo alternativos

Motores usados en aeronaves de uso deportivo y aeronaves de baja potencia de peso ligero, estos motores tienen un peso demasiado elevado para potencias superiores, lo cual hace inasequible para aviones grandes y de gran velocidad crucero; estos motores están formados por una serie de cilindros, donde se comprime la mezcla aire-combustible y se inflama, cumpliendo los cuatro tiempos o etapas de un ciclo Otto, que son: admisión, compresión, explosión-expansión y el escape. (LA INDUSTRIA AEROESPACIAL, 2007).



Figura 5 Motor Alternativo

Fuente: (ToB, 2012)

2.4.2 Motores a Reacción

Las aplicaciones de la turbina de gas, son los motores a reacción, de un grupo de turborreactores que son los motores empleados normalmente en aviones comerciales, aviones de largo alcance y helicópteros (a excepción de los helicópteros pequeños que tienen aún motores alternativos para su propulsión); debido a su gran generación de potencia. La propulsión de una turbina está basada por la tercera ley de Newton y su funcionamiento es relativamente más simple que el de los motores recíprocos.

Sin embargo las técnicas de fabricación, componentes y materiales son mucho más complejos ya que están expuestos a elevadas temperaturas y condiciones de operación, muy diferentes en cuanto a altitud, rendimiento, y velocidad interna de los mecanismos. Se identifican tres tipos básicos de motores de reacción que son los más utilizados a nivel aeronáutico para propulsar las aeronaves. (LA INDUSTRIA AEROESPACIAL, 2007).

2.4.2.1 Motor Turborreactor

Es el motor que la gran mayoría de los aviones de alta velocidad crucero tiene instalado, a pesar de un consumo más elevado de combustible. Estos motores atmosféricos después de que el aire pase al motor, su presión se aumenta mediante un compresor antes de entrar en la cámara de combustión.

La potencia necesaria para mover el compresor proviene de una turbina situada entre la cámara de combustión y la tobera, seguido, el aire comprimido entra en la cámara de combustión, donde se mezcla con combustible vaporizado y se quema. En la turbina, que actúa de forma inversa al compresor, los gases se expanden parcialmente al pasar de forma alternativa por estatores y rotores. (IES Santa Bárbara, 2008).

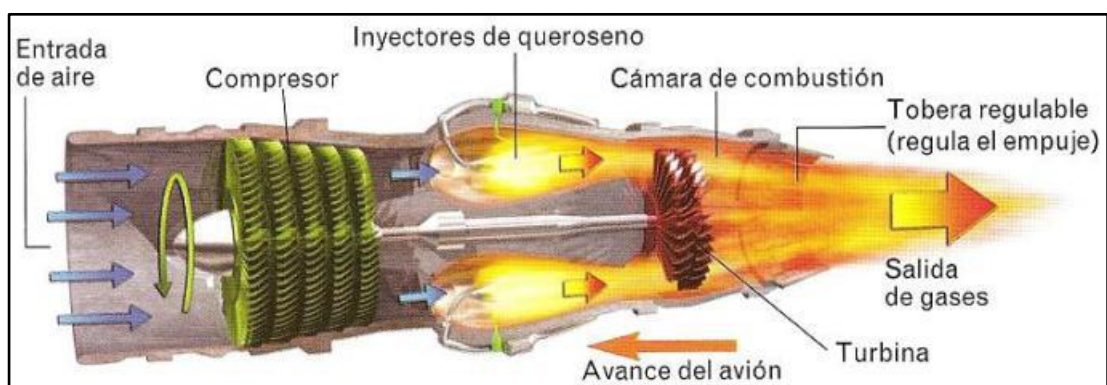


Figura 6 Motor Turborreactor

Fuente: (Vega, 2017)

2.4.2.2 Motor Turbohélice

Dentro de este grupo está incluido al turboeje, motor empleado en helicópteros y que no genera empuje por chorro de aire, sólo genera tracción, el turbohélice produce dos tipos de empuje en una aeronave, uno con la hélice tractora y el otro a través del escape. Se emplean turbohélices en aeronaves de no muy altas velocidades, como transporte militar de tropas o regional para personal civil.

No se pueden alcanzar velocidades muy elevadas de vuelo ya que en la punta de la hélice se puede llegar a la velocidad de desprendimiento del aire. Contiene una caja de engranajes para reducir la velocidad del eje que permitir que la hélice gire a velocidades adecuadas de operación para el funcionamiento. (AERO.UPM.Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, 2011).

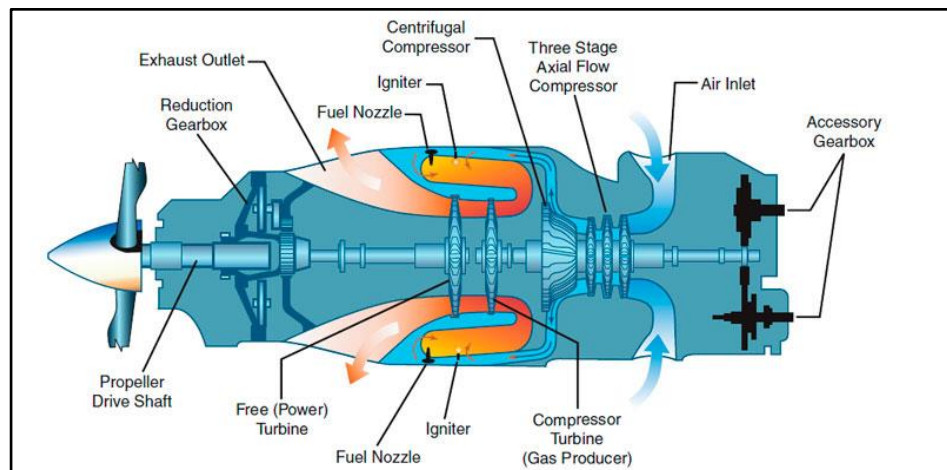


Figura 7 Motor Turbohélice

Fuente: (ToB, 2013)

2.4.2.3 Turbofan

Incluye una gran hélice interna llamada fan y dos corrientes de aire que fluyen a través del motor. La corriente principal viaja a través de todos los componentes como sucede en un turboreactor, básicamente, pasa por la cámara de combustión, mientras que la corriente secundaria generalmente

es impulsada a través de una tobera de expulsión para mezclarse después, o no, con la corriente primaria de escape del motor, es utilizado por la mayoría de los aviones comerciales de transporte de pasajeros que vuelan a velocidades transónicas y alcanzan números de Mach 0.8. (AERO.UPM-Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, 2005).

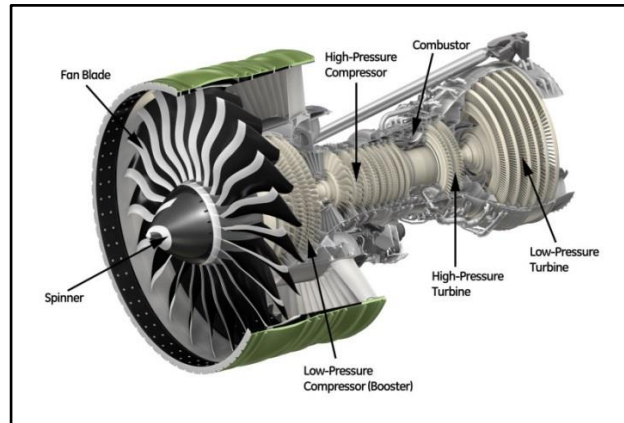


Figura 8 Motor Turbofan G.E

Fuente: (AVIATION, 2015)

Cada uno de estos tipos de motores a reacción, tiene sus ventajas e inconvenientes para velocidades específicas de crucero y propósito de la aeronave a ser utilizado como son en aviones o helicópteros. Para el diseño de estos tipos de motores se enfoca, en dos aspectos: la relación que hay entre el empuje y el peso; y el consumo específico de combustible. (AERO.UPM.Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, 2011).

2.4.3 Motores Tipo Cohete

Se usan en la industria aeroespacial como en los misiles, lanzadores, vehículos espaciales y transbordadores espaciales. Al parecer los motores cohete cada día tienen más cabida en la aeronáutica e industria espacial. Se están desarrollando motores cohete que emplean aire atmosférico, además de propulsantes convencionales, para llevar material científico a la Estación Espacial Internacional. Se puede señalar los cohetes que son usados en los transportes militares, que necesitan mayor potencia al despegue, sobre

pistas muy cortas y mal acondicionadas. (AERO.UPM.Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, 2011).

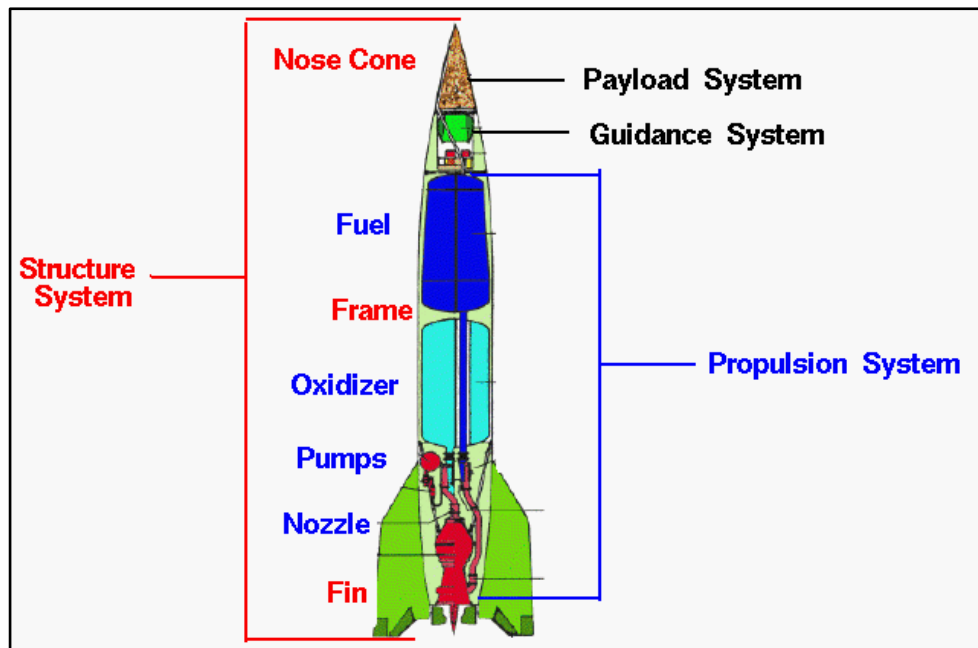


Figura 9 Componentes principales de un cohete V2

Fuente: (Benson, 2015)

2.5 Introducción a motor Turboeje

Los helicópteros se propulsan con motores alternativos o turborreactores. Son unidades que transmiten al rotor del helicóptero la potencia de giro necesaria. En la actualidad, los helicópteros se propulsan en su mayoría con turborreactores, a excepción de los más ligeros que emplean el motor alternativo. Incluso, en estos casos, se ofrece la conversión de motor alternativo a motor turbina.

Los turboejes son motores muy similares a los turbohélices. Se componen, entonces, de un generador de gas al que se añade un grupo de turbina adicional de potencia. Es una turbina que mueve un eje para accionamiento del rotor principal y el rotor anti par del helicóptero, por lo tanto sus elementos principales son: compresor; cámara de combustión; turbina, que acciona el compresor; turbina, que acciona el sistema de transmisión de potencia del rotor del helicóptero; tobera de salida de gases.

Los turboejes, al igual que los turbohélices, pueden ser de turbina fija o turbina libre. La turbina libre proporciona, también aquí, mayor flexibilidad operativa. La tobera de salida sirve para descargar los gases en la atmósfera, al igual que en los turbohélices, el gas no alcanza velocidad tan alta de salida como lo es en un turborreactor, debido a que la mayor parte de la energía se emplea en mover el árbol de transmisión del rotor del helicóptero. (Oñate & Oñate, 2005, pág. 430).

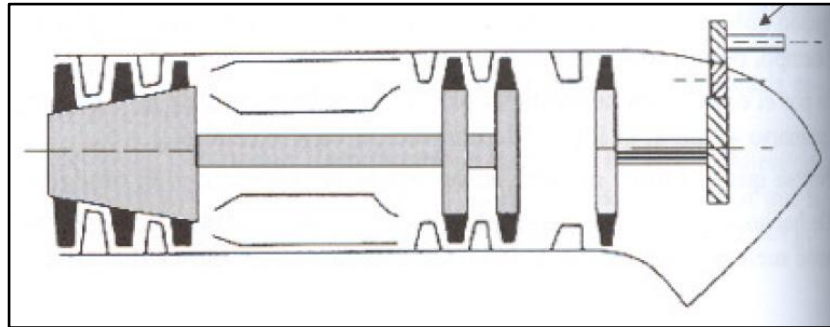


Figura 10 Esquema de un motor turboeje de turbina libre

Fuente: (Oñate & Oñate, 2005)

2.6 Motores ARRIEL

Destinada para helicópteros de dos a cinco toneladas de peso con uno o dos motores bimotores, la familia de motores ARRIEL abarca un rango de potencia de 590 a 1000 shp. El ARRIEL es el motor más vendido de la Grupo Safran Helicopter Engines. Desde que los primeros dos modelos fueron certificados en el año de 1977, más de treinta variantes han sido desarrolladas y certificadas.

Ahora están instaladas en más de 40 tipos diferentes de helicópteros en el mundo. Hasta la fecha, el Grupo Safran Helicopter Engines ha producido más de 12000 motores ARRIEL y la flota mundial ha registrado más de 46 millones de horas de vuelo.

Los motores ARRIEL cumplen con los más altos estándares internacionales del mercado en términos de fiabilidad y potencia. Esta gran familia de fabricantes de motores se divide en dos líneas de productos:

ARRIEL 1 con un rango de potencia 590 a 750 shp y ARRIEL 2 con un rango potencia de 830 a 990 shp.

El ARRIEL 1 presenta un diseño simple, centrado en cinco módulos para un fácil y eficaz mantenimiento. Consta de un compresor axial de una etapa, un compresor centrífugo de una etapa, una turbina generadora de gas de dos etapas y una turbina de potencia de una etapa mientras que el ARRIEL 2 es una variante significativa del ARRIEL 1, que ofrece una mayor potencia y un diseño de turbina de una sola etapa más simple. También cuenta con Full Authority Digital Engine Control (FADEC). (SAFRAN Turbomeca, 2014).

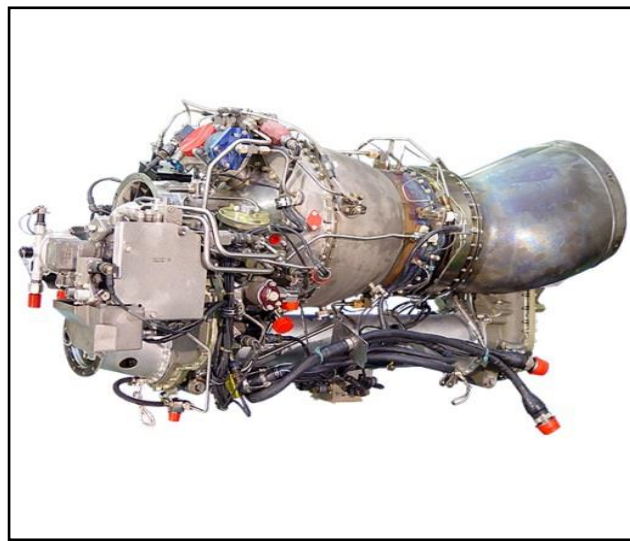


Figura 11 Motor ARRIEL 2B1

Fuente: (SAFRAN Turbomeca, 2012)

2.6.1 Características generales del motor ARRIEL 1B

Los principios de diseño del motor ARRIEL 1B, son diseñados para brindar propulsión a la aeronave, están basados en aprovechar un óptimo ciclo termodinámico cual brinda un alto performance y su un diseño es simple y rentable, ya que se compone en su mayoría por módulos, que permite un mantenimiento rápido y sencillo, reduciendo costos, para la designación del motor, como el nombre, códigos y letras lo designa la casa fabricante que en este caso es TURBOMECA, usando nombres de lagos o

montes representativos del país fabricante (Francia), por ejemplo el motor ARRIEL 1B.

Tabla 6

Designación del motor ARRIEL 1B1

ARRIEL 1B	
ARRIEL	Nombre de un lago de Pyrenean para los motores turboeje.
1	Tipo
B	Variante
1	Versión

Fuente: (TURBOMECA Snecma Group, 2000)

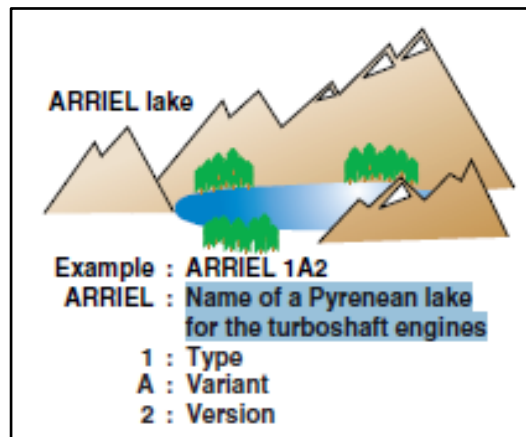


Figura 12 Designación del motor ARRIEL 1A2

Fuente: (TURBOMECA Snecma Group, 2000)

El turbomotor ARRIEL 1B, transforma la energía de la mezcla aire-combustible en potencia mecánica, es un turbomotor de turbina libre que acciona una toma de movimiento, por medio de un mecanismo reductor, donde su turbina libre gira a una velocidad constante de 39.794 r.p.m. es decir: 6 000 r.p.m. para un piñón de salida del reductor. El sentido de rotación, visto desde la parte posterior del motor es:

- Sentido contrario a las agujas del reloj para el modulo del generador de gas,
- Sentido horario para la turbina libre y el piñón de salida del reductor.

El turbomotor está equipado con elementos para permitir su instalación y su utilización en un helicóptero, como dispositivos de arranque y de regulación del turbomotor, circuito de engrase (a excepción del depósito y el radiador), dispositivos de CONTROL y de funcionamiento del turbomotor.

La masa (peso) del turbomotor ARRIEL 1B suministrado por TURBOMECA es igual o inferior a 115 kg (253lbs) según sea la versión del motor y el propósito de la aeronave a ser utilizada. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

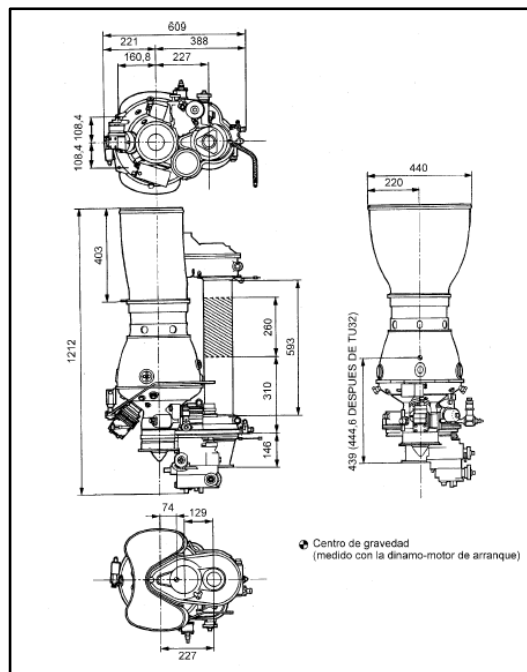


Figura 13 Medidas del motor ARRIEL 1B

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.6.2 Rendimientos mínimos del turbomotor en un banco de ensayo, sin toma de muestras de aire.

Tabla 7

Rendimientos mínimos del turbomotor en un banco de ensayo, sin toma de muestras de aire

Régimen de utilización	Potencia en kW	Consumo específico g/kW.h
Régimen de despegue	478	353,5
Régimen máx. continuo	440	358

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.6.3 Características principales del motor ARRIEL 1B.

De acuerdo con la norma, el sentido de rotación es el que se ve desde la parte posterior del motor.

Tabla 8

Características principales del motor ARRIEL 1B

Datos	Característica
Tipo	Turbomotor de turbina libre con toma de fuerza delantera por eje exterior
Consumo específico de combustible al régimen continuo máximo	358 g/kW.h
Velocidad del generador de gas N1 (NG)	52.000 r.p.m. (100 %) con el sentido de rotación anti horario.
Velocidad de la turbina libre N2 (NTL/NR)	39.794 r.p.m. al (100 %), antes del reductor de velocidad
	41.856 r.p.m. (100 %), después del reductor de velocidad, con el sentido de rotación horario.
Velocidad del eje de salida	6.000 r.p.m. (100 %) con el sentido de rotación horario.

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.6.4 Componentes del motor ARRIEL 1B

El turbomotor ARRIEL 1B está conformado por cinco módulos, un módulo es un subconjunto intercambiable y cada módulo se identifica mediante una placa colocada en las guías que van fijadas a los conjuntos modulares del motor, el subconjunto que forma parte de un todo independiente, es decir, que una vez ensamblado y controlado puede montarse en cualquier motor sin necesidad de adaptación.

Este diseño modular permite inspeccionar y si de ser necesario, sustituir sus piezas principales del motor (incluidas turbinas de alta presión y la

cámara de combustión correspondientes a sus respectivos módulos) en las bases, sin tener que devolver el motor completo a la casa fabricante y se identifican de la siguiente manera, de acuerdo al manual del turbomotor: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

Tabla 9

Identificación de los módulos del motor ARRIEL 1B

Módulos del motor ARRIEL 1B y su numeración		
Módulo	Nombre del componente	Numeración
MÓDULO N° 1	Caja de accesorios + transmisión.	M01
MÓDULO N° 2	Compresor axial	M02
MÓDULO N° 3	Generador de gas, parte de alta presión.	M03
MÓDULO N° 4	Turbina libre	M04
MÓDULO N° 5	Reductor	M05
Elementos No Modulares	Forman parte la tobera de escape, adicional a los módulos las piezas de adaptación y algunos accesorios del motor	ENM

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2006)

Separar los módulos unos de otros resulta sencillo, ya que normalmente basta con desarmar una corona de tornillos, en el caso de las partes estáticas, mientras que una tuerca del eje central en el de las partes giratorias del motor. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2006).

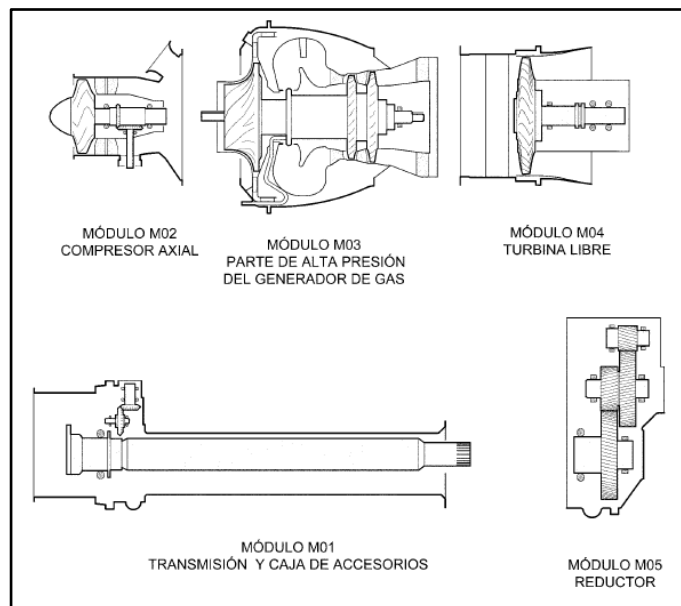


Figura 14 Turbomotor ARRIEL 1B

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2006)

2.6.5 Identificación de las placas del Motor ARRIEL 1B

Cada módulo lleva una placa de identificación colocada en las guías previstas en los conjuntos modulares. El sistema de guías permite sustituir fácilmente la placa en el caso de una modificación importante que conlleve una ruptura de la intercambiabilidad de cada componente

El módulo es sometido a seguimiento, tanto en la casa fabricante como en las instalaciones del usuario, mediante una “FICHA DE MATRÍCULA DE MÓDULO” en la que se recogen las modificaciones efectuadas, las diversas intervenciones, el tiempo de utilización y los motivos de desmontaje de cualquier parte del módulo. Cada módulo tiene asignado un potencial para el funcionamiento. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2006).

La placa, representada en la Figura, incluye: la razón social del fabricante, el tipo de motor, el número individual del módulo y la referencia del módulo esto aplica para cada módulo del motor. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2006).

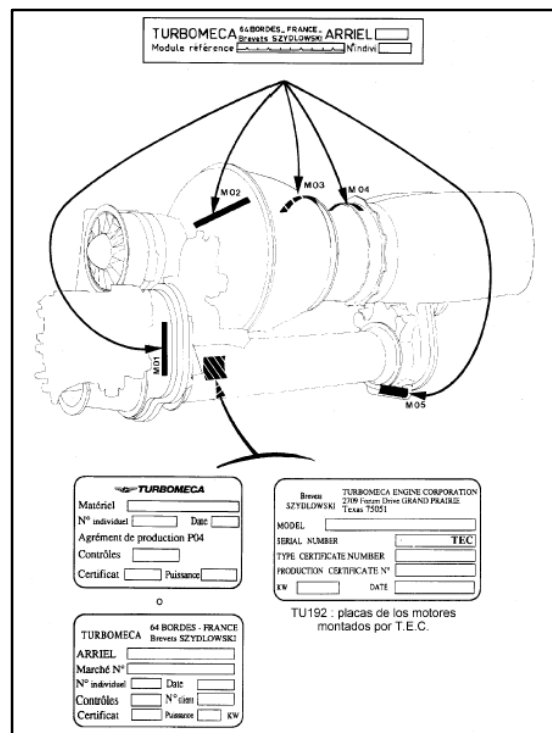


Figura 15 Identificación por placas en los módulos

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2006)

La referencia del módulo consiste en un número de código de 10 caracteres; dicho número de código se divide en cinco grupos:

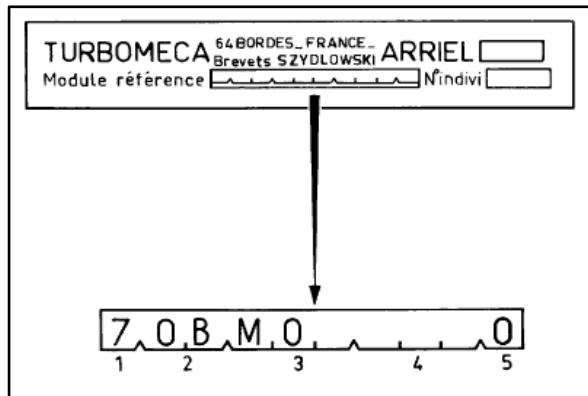


Figura 16 Placa de identificación de los módulos

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2006)

Tabla 10

Referencia de los módulos

Grupo	Identificación	Referencia
Grupo 1	Es siempre la cifra 7	Que caracteriza un conjunto especial de recambio.
Grupo 2:	Grupo de dos letras que designa la máquina en cuestión.	Las letras OB son las asignadas al ARRIEL 1 B.
Grupo 3:	Grupo de tres caracteres (una letra y dos cifras)	Que designa el módulo en cuestión: M01, M02, M03, M04 o M05.
Grupo 4:	Indica el estándar del módulo correspondiente y únicamente cambia en la medida en que una modificación importante cuestiona la intercambiabilidad del módulo.	Por ejemplo: si el estándar de partida es 100, va pasando a 101, 102, etc.
Grupo 5	Siempre cero (0)	Con el fin de completar el número de código de diez caracteres.

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2006)

2.7 Descripción y funcionamiento de los módulos del motor ARRIEL 1B

2.7.1 Módulo 05 - Reductor

Su principal función del Reductor es reducir la velocidad de rotación del Módulo 04 que comprende la Turbina libre y garantizar la transmisión del movimiento hacia la parte delantera del motor. Este módulo se encuentra situado en la parte posterior del turbomotor, disminuyendo la velocidad de rotación de la turbina según una relación, de 6,63 e impulsa el movimiento hacia la parte delantera del turbomotor.

El Módulo 05 que consiste en el reductor, lleva tres piñones montados dentro de un cárter de aleación ligera, que alberga tres piñones, un piñón motriz, un piñón intermedio, un piñón de salida. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.7.1.1 Características principales del Módulo 05 - Reductor

Tabla 11

Características principales del Módulo 05 - Reductor

Tipo	3 etapas de engranajes helicoidales
Velocidad del piñón motriz	41.586 r.p.m.
Relación de reducción de velocidad	6,63
Velocidad del piñón de salida	6.000 r.p.m

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

Mientras que el piñón motriz es accionado directamente por la turbina libre (conexión por manguito de unión), que transmite el movimiento al piñón intermedio, que arrastra el torquímetro hidráulico, que está instalado en el interior del piñón intermedio del Módulo 05, mide el par que se transmite al eje de potencia, es de tipo hidráulico alimentado por el circuito de lubricación del motor. Y que el piñón intermedio engrana con el piñón de salida, que garantiza la toma de potencia principal, hacia delante a una velocidad de

6.000 r.p.m. aproximadamente, en sentido horario. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

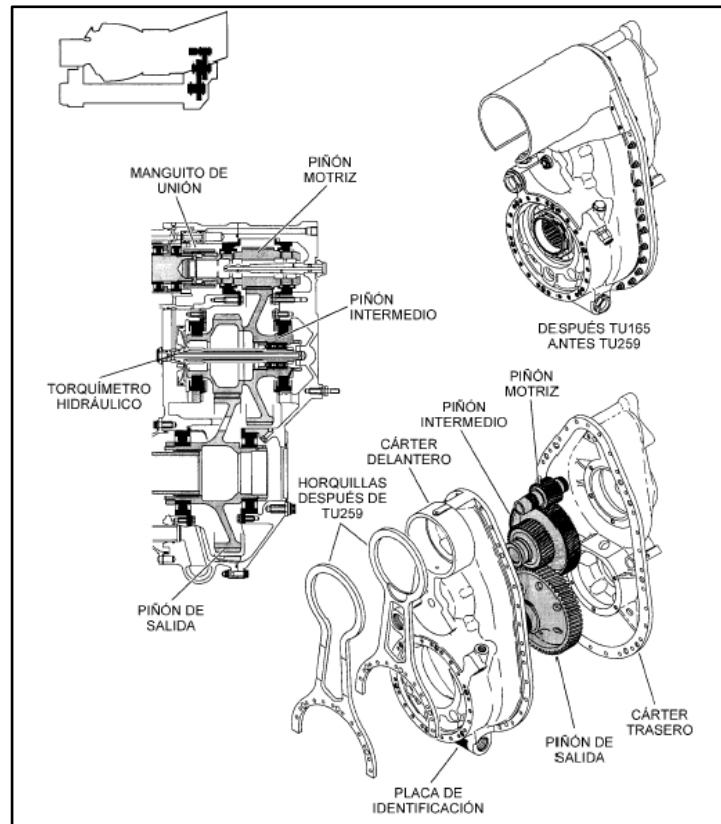


Figura 17 Módulo 5 – Reductor

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.7.2 Módulo 04 - Turbina Libre

El Módulo 04 comprende el componente de la Turbina libre, su función es recuperar la energía de los gases para mover la toma de potencia a través del reductor, este módulo está situado entre el Módulo 03 que es el Generador y el Módulo 05 que es el Reductor.

El funcionamiento se caracteriza por la segunda etapa de parada; los gases salidos del generador de gas fluyen a través del distribuidor, donde la velocidad aumenta debido a la sección de paso convergente, estos gases se dirigen a los álabes de la turbina. La resultante de las fuerzas aerodinámicas debidas al flujo provoca la rotación del rotor, mientras que la tobera evacua los gases hacia el exterior. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.7.2.1 Descripción del módulo 04

El Módulo 04 correspondiente a la turbina libre incluyen elementos rotativos y estáticos; en los elementos rotativos, el elemento esencial es el rotor de turbina solidario con su eje, que está formado por un disco solidario con el eje sobre el que los álabes se montan en forma de raíz de abeto, el eje está soportado por dos paliers, un palier con rodillos en la parte delantera y un palier con rodamientos en la parte posterior.

El eje soporta dos rotores fónicos, y la estanqueidad del palier delantero se consigue mediante laberintos presurizados (presurización por aire compresor conducido por una tubería exterior y canalizaciones internas). La potencia se transmite al reductor por medio de una manga de acoplamiento. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

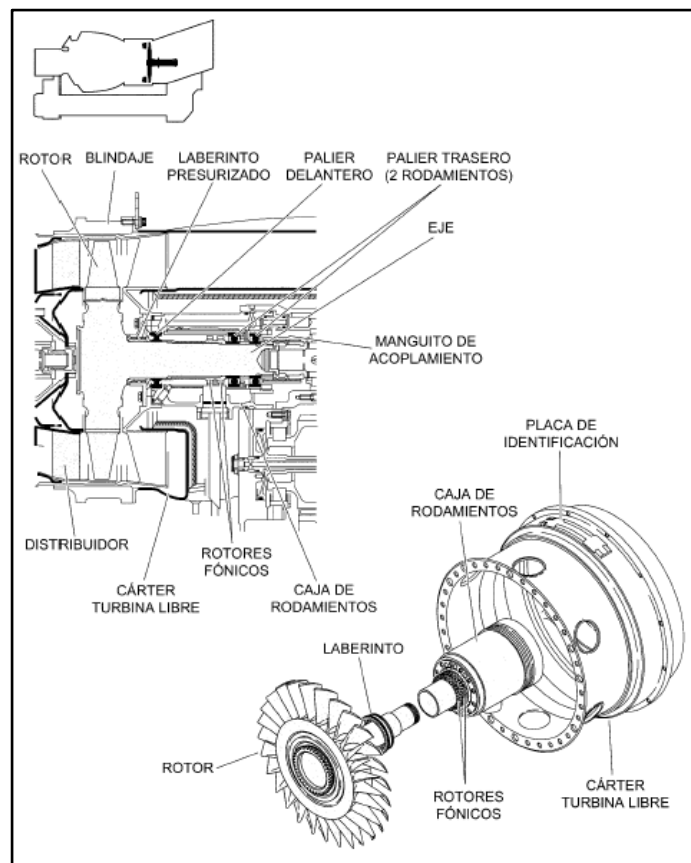


Figura 18 Módulo 04 – Turbina Libre

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.7.3 Módulo 03 - Generador

El Módulo 03 que comprende el Generador, se encarga de suministrar la energía necesaria para la alimentación de la turbina libre, garantizando las siguientes fases en el turbomotor:

- La compresión del aire salido desde el módulo compresor.
- La combustión de la mezcla aire-combustible.
- La expansión de los gases.

El Módulo 03 - Generador alberga, un compresor centrífugo situado en la parte delantera del módulo generador. Que suministra el aire comprimido necesario para la combustión, y un compresor axial que sobrealimenta el compresor centrífugo, garantizando una segunda fase de compresión del generador.

La cámara de combustión forma un continente en el que se quema la mezcla aire-combustible y está situada en la parte central del módulo generador; mientras que la turbina del generador de gas, situada en la parte posterior del generador de gas, extrae de los gases generados por la mezcla aire-combustible, la energía necesaria para poner en movimiento los compresores y accesorios, con la ayuda de dos inyectores de arranque, dos bujías de ignición y el empalme de inyección que no forma parte del módulo 03 - Generador. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

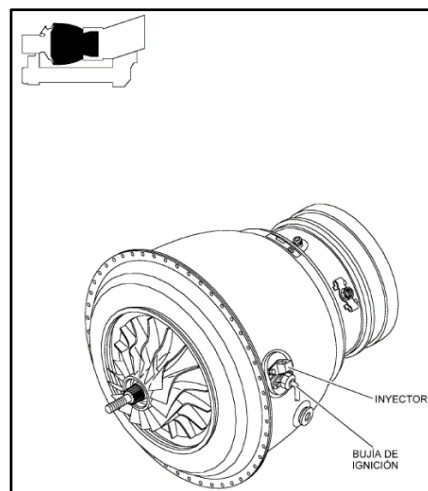


Figura 19 Módulo 03 – Generador de Gas

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.7.3.1 Elementos principales del Módulo 03

2.7.3.1.1 El compresor centrífugo

Garantiza la etapa de compresión principal. El aire procedente del compresor axial fluye entre los álabes del rotor del compresor centrífugo, la presión del aire aumenta debido a la sección de paso divergente y la velocidad aumenta progresivamente debido al caudal centrífugo. El aire abandona el extremo de los álabes a gran velocidad. Pasa a través de los álabes del difusor de 1ª etapa donde la velocidad se transforma en presión.

El aire pasa a continuación por un codo y el flujo se convierte en axial. En el difusor de la 2ª etapa, la velocidad es de nuevo transformada en presión y el aire es admitido en la cámara de combustión, la velocidad de rotación del compresor centrífugo es la del generador de gas. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

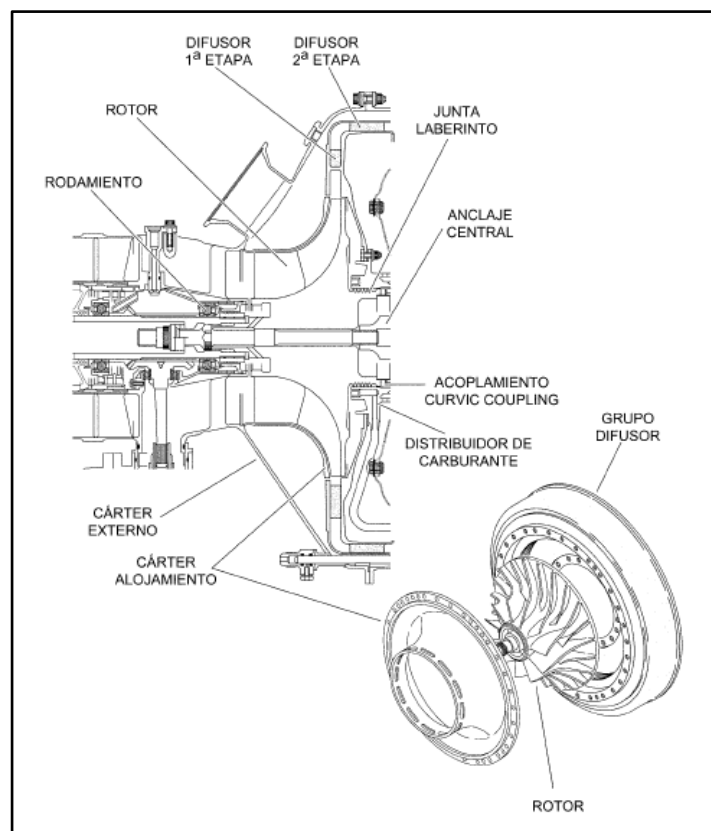


Figura 20 Módulo 03 – Compresor Centrífugo

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.7.3.1.2 Cámara de combustión

Es un cuerpo en el que se quema la mezcla aire-combustible de forma continua. El flujo de aire comprimido en la cámara de combustión, se divide en dos flujos principales, un flujo de aire primario mezclado con el carburante debido a la combustión y un flujo de aire secundario o de dilución para el enfriamiento de los gases quemados.

El flujo primario una parte fluye por los orificios de la placa de turbulencia delantera, mientras que una segunda parte pasa por los álabes huecos del distribuidor de turbina (enfriamiento de los álabes) y por los orificios de la placa de turbulencia posterior; el aire primario se mezcla al carburante pulverizado mediante el rotor de inyección centrífuga, provocando la combustión entre las dos placas de turbulencia.

Mientras que el aire secundario (o aire de dilución) fluye por los orificios del mezclador, está calibrado para conseguir la estabilidad de la llama, enfriar los gases quemados y obtener un correcto reparto de temperatura en la turbina. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

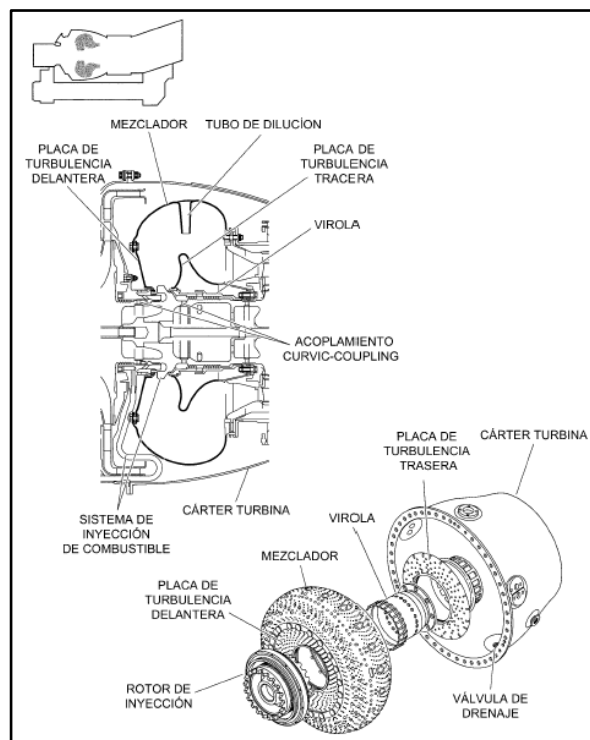


Figura 21 Módulo 03 – Cámara de Combustión

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.7.3.1.3 La inyección principal de carburante

El carburante es conducido al distribuidor por la tubería interna, desde el distribuidor, el carburante pasa a la cámara del rotor centrífugo, mientras que el rotor es movido a la velocidad N1 (NG). El carburante es centrifugado hacia los chiclés del rotor y pulverizado en la cámara de combustión entre las dos placas de turbulencia, la presión de inyección es suministrada por la fuerza centrífuga, este sistema no obliga a un circuito de combustible de muy alta presión.

La estanqueidad de la cámara de carburante se realiza mediante laberintos presurizados, existe sin embargo una ligera fuga permanente en el sentido aire-combustible durante la parada, el combustible restante en el rotor se purga a través del conjunto de la válvula. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

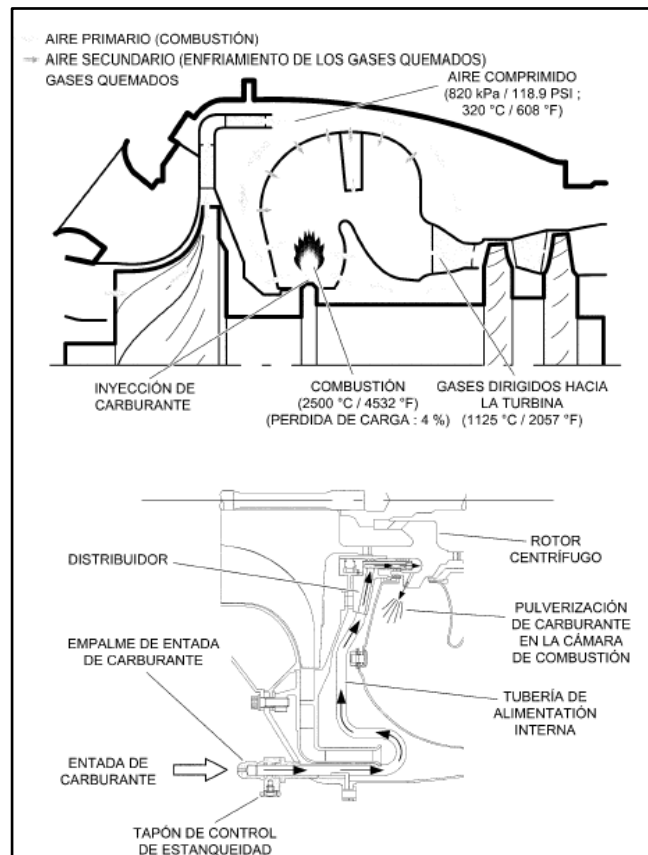


Figura 22 Módulo 03 – Inyección de combustible

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.7.3.1.4 Turbina generador de gas

Transforma la energía de los gases en potencia mecánica para mover los compresores y algunos accesorios, los gases quemados obtenidos de la combustión fluyen a través de los álabes del distribuidor. La velocidad de los gases aumenta debido a la sección de paso convergente, mientras que el flujo de los gases en los álabes genera fuerzas aerodinámicas cuya resultante provoca el giro del rotor, dirigiéndose los gases hacia la turbina libre. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

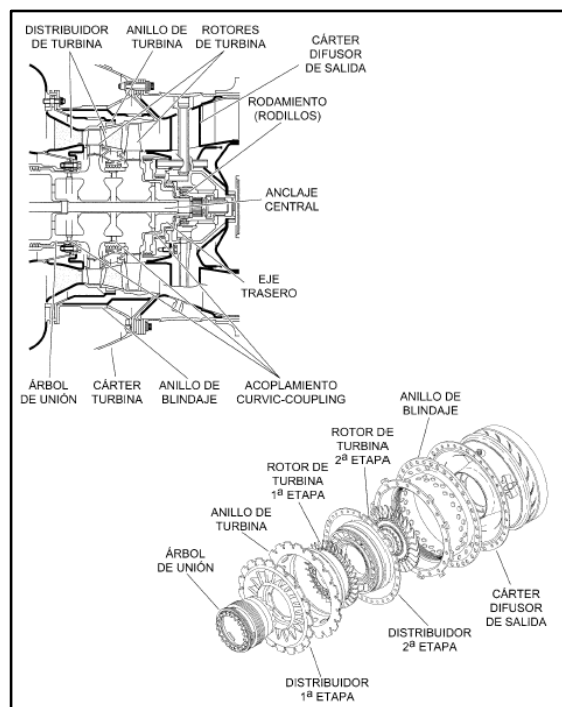


Figura 23 Módulo 03 – turbina generadora de gas

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.7.4 Módulo 02 – Compresor

El Módulo 02 que comprende el compresor axial del turbomotor, garantiza una primera etapa de compresión para sobrealimentar el compresor centrífugo. Está situado en la parte delantera del turbomotor.

El paso aire viaja entre los álabes del compresor axial, donde es impulsado hacia atrás con un aumento de su velocidad axial, pasando, a través de los álabes del difusor, donde la velocidad del aire se transforma en

presión debido a la sección de paso divergente del compresor y el flujo de aire se rectifica permitiendo el paso, por el conducto anular, a la entrada del compresor centrífugo.

Con el fin de evitar el fenómeno del bombeo, una compuerta descarga al exterior el aire, que expulsa el compresor, en determinadas condiciones de funcionamiento. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

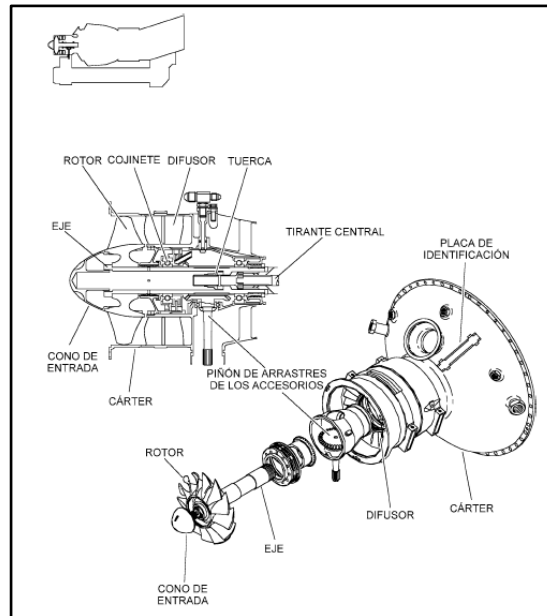


Figura 24 Módulo 02 – Compresor

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.7.4.1 Parámetros de funcionamiento del módulo 02 del compresor axial

Tabla 12

Parámetros de funcionamiento del módulo 02

A la atmósfera estándar al nivel del mar	
Caudal de aire	2,5 kg/s (5,5 lbs/s)
Presión de salida	160 kPa (23,2 PSI)
Temperatura de salida	65°C (149°F),
Velocidad de rotación del compresor axial	Es la del generador de gas.

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.7.4.2 Los elementos principales del módulo 02 incluyen elementos giratorios, como elementos estáticos.

1. Elementos giratorios.

- Un cono de entrada
- Un rotor axial
- Un eje
- Un piñón de arrastre de los accesorios.

2. Elementos estáticos

- Un difusor
- Un cárter.

2.7.5 Módulo 01 - Caja de Accesorios.

El Módulo 01 que comprende la caja de accesorios, está situado en la parte delantera e inferior del motor y está compuesta por:

- Un eje de transmisión que transmite la potencia a la parte delantera del motor.
- Una caja de accesorios que permite el arrastre de los accesorios del motor.

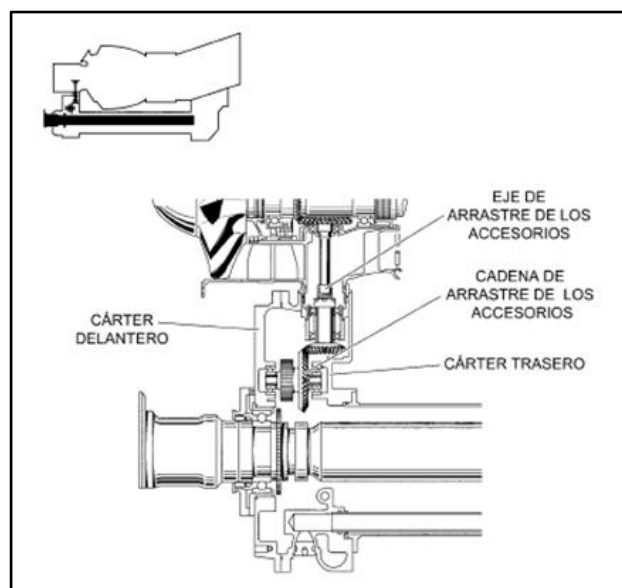


Figura 25 Módulo 01 – Caja de accesorios

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

En este módulo 01 que pertenece a la caja de accesorios, se distinguen dos fases de funcionamiento.

- Funcionamiento en fase de arranque.
- Funcionamiento en fase normal

El funcionamiento en fase de arranque, durante el arranque, el arrancador eléctrico arrastra, mediante la caja de accesorios, el grupo giratorio del generador de gas y los compresores alimentan de aire la cámara de combustión y se desarrolla la secuencia de arranque. Cuando se alcanza la velocidad denominada autónoma (aproximadamente el 45% de N1 (NG)), la alimentación eléctrica del arrancador se corta automáticamente. El arrancador entonces es arrastrado y funciona como generador de corriente continua. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

Mientras que en funcionamiento en fase normal, el generador de gas arrastra la cadena de arrastre de los accesorios mediante el piñón cónico situado entre el compresor axial y el compresor centrífugo. El movimiento se transmite a varios accesorios como la dinamo de arranque, los reguladores N1 (NG) y N2 (NTL/NR), bombas de aceite y el generador taquimétrico N1 (NG) y N2 (NTL/NR).

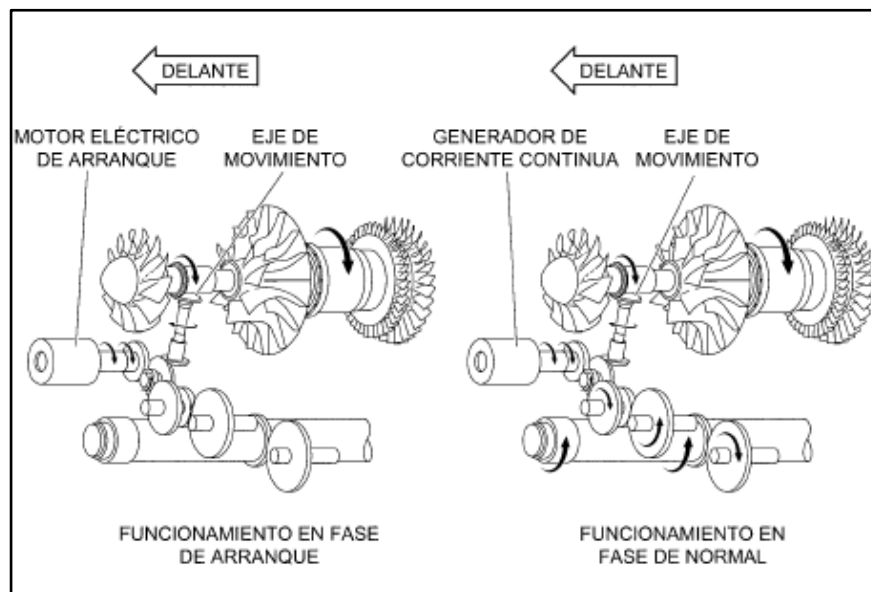


Figura 26 Módulo 01 – Fases de funcionamiento

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.7.6 Tobera de escape equipada del Motor ARRIEL 1B

La tobera se encarga completar la fase de expansión y evacuación de los gases hacia el exterior de la aeronave, está instalada alrededor del reductor en la parte posterior del Módulo 04 que corresponde a la turbina libre. Los gases evacuados al exterior aún tienen una cierta energía, que da origen a un ligero empuje residual del orden de 15 daN (33 libras). (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

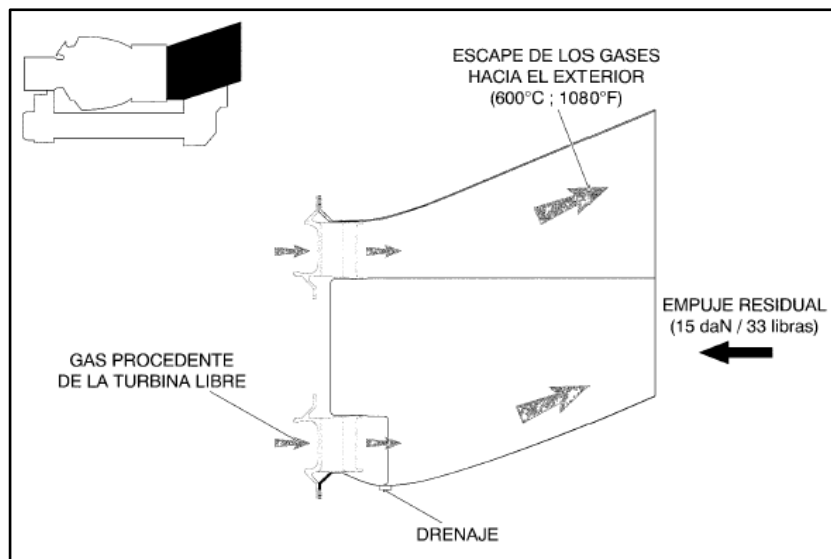


Figura 27 Módulo 01 – Tobera equipada

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

Tabla 13

Características principales de la tobera equipada en el motor

Características de la tobera equipada en el motor,	
Tipo	Elíptica
Temperatura de los gases	600 °C (1080 °F)
Empuje residual	15 daN (33 libras).
Es un elemento no modular	

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.7.6.1 Elementos principales de la tobera de escape equipada del Motor ARRIEL 1B

La tobera equipada en el motor, tiene como elementos principales, la tobera de escape y el escudo térmico, donde la tobera de escape, de forma elíptica es un conjunto de acero inoxidable conformado en caliente y se encuentra instalada mediante bulones, con el cárter de la turbina libre, sobre la brida posterior del anillo de blindaje de la turbina libre.

Un escudo térmico se interpone entre la tobera y el reductor con el fin de proteger a este último de la radiación térmica y posee un drenaje situado en su parte inferior del motor. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

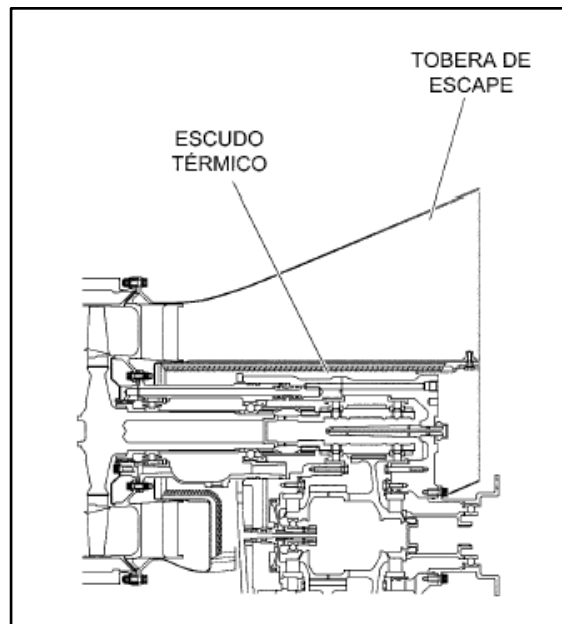


Figura 28 Elementos de la tobera de escape

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.8 Circuitos del Turbomotor ARRIEL 1B

Los circuitos que forman parte del Turbomotor ARRIEL 1B, permiten la operatividad y la eficiencia de trabajo en diferentes condiciones de vuelo, con un correcto funcionamiento del motor, permitiendo confiabilidad en la aeronavegabilidad de las aeronaves, este motor cuenta con los siguientes circuitos:

2.9 Circuito carburante de alta presión

El circuito carburante o circuito de combustible de alta presión garantiza las funciones de alimentación, inyección, control, distribución y regulación del combustible en el motor.

2.9.1 Las características principales circuito carburante

- Alimentación por circuito de baja presión
- Inyección de arranque por inyectores
- Inyección principal centrífuga.
- Control manual de seguridad de emergencia.
- Regulación mediante un regulador hidromecánico.

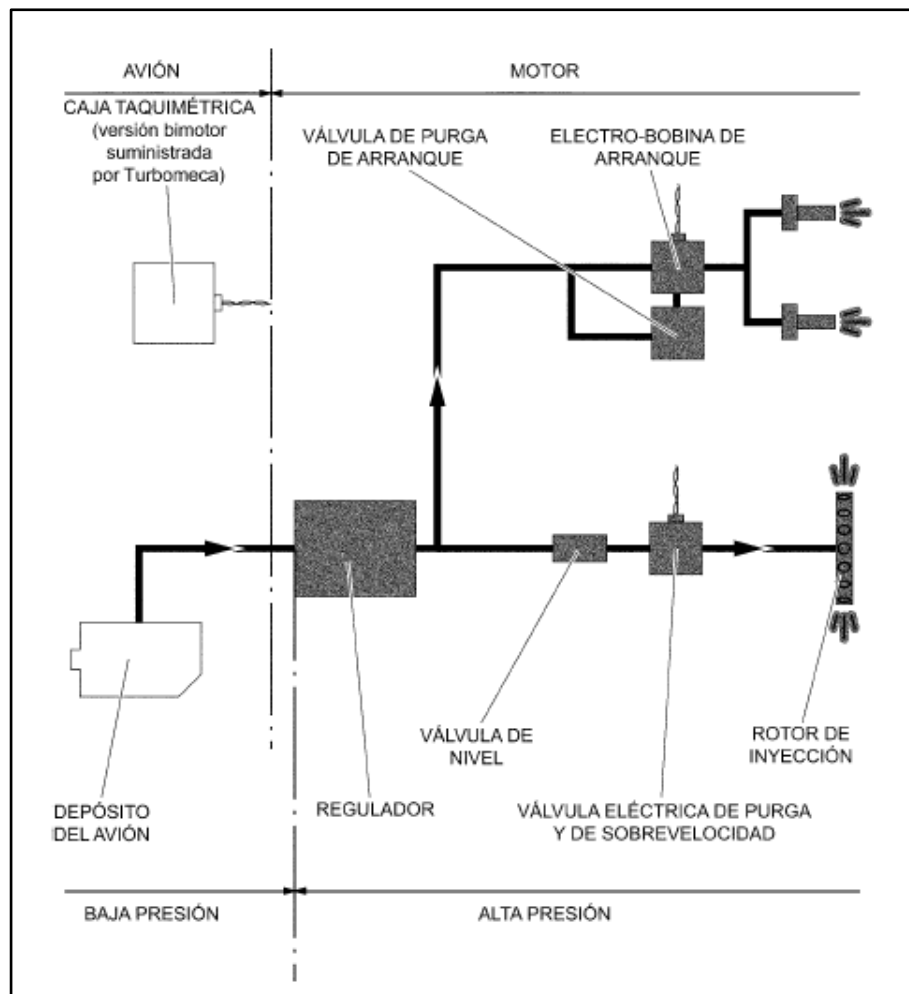


Figura 29 Circuito de combustible del motor ARRIEL 1B

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.9.2 Elementos principales circuito carburante

Los principales elementos del circuito están montados sobre el motor, a excepción de los elementos del circuito, como el motor de inyección, válvula de nivel, filtros, inyectores de arranque, bomba carburante, la electro bobina de arranque y la electro válvula de purga y sobre velocidad, con responsabilidad del fabricante de la aeronave.

Los elementos principales del circuito carburante de alta presión del motor que permiten un correcto funcionamiento son los siguientes:

Tabla 14

Elementos principales circuito carburante

Circuito carburante de alta presión del motor	
Un bloque regulador que incluye:	Una bomba
	Un filtro
	Órganos de regulación
Una válvula eléctrica de arranque.	
Una válvula de purga de arranque.	
Una válvula de nivel.	
Un rotor de inyección.	
Dos inyectores de arranque	
Una válvula eléctrica de purga de la rampa de inyección	

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

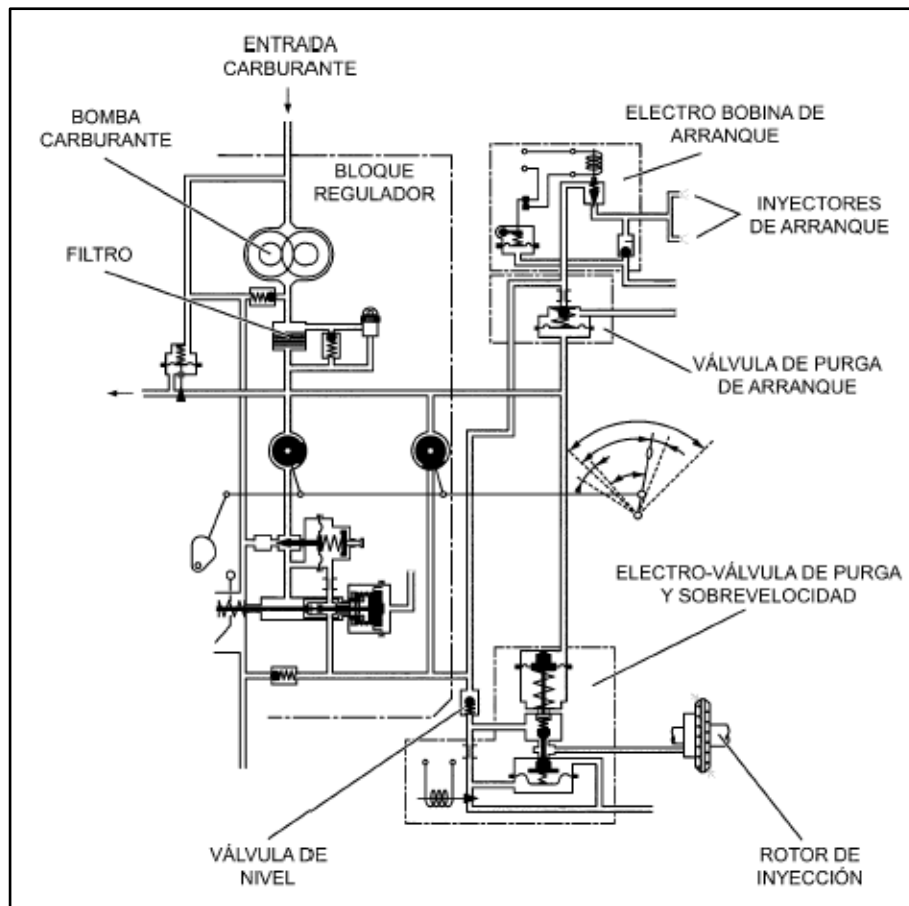


Figura 30 Elementos del circuito de combustible del motor
Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.10 Circuito de ignición

El circuito de ignición del motor, garantiza la ignición (inflamación) del combustible pulverizado en la cámara de combustión mediante los inyectores de arranque. Todos los elementos están situados sobre el motor a excepción del circuito de alimentación eléctrica. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.10.1 Elementos principales del circuito de ignición

Los elementos principales del circuito de ignición del motor ARIEL 1B son:

- Caja de ignición.
- Cables de ignición.

- Bujía de ignición.

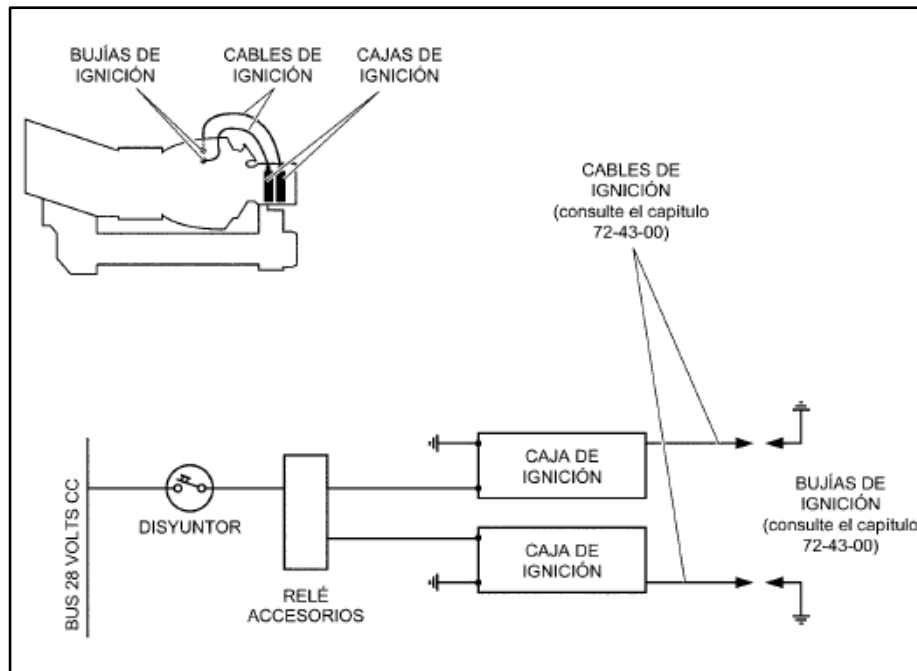


Figura 31 Circuito de ignición del motor ARRIEL 1B

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.10.2 Generadores de Alta Energía (HE) del circuito de ignición del motor ARRIEL 1B

El generador transforma la tensión eléctrica de alimentación de entrada en alta tensión de salida. El generador de alta energía se monta sobre un soporte en la parte delantera derecha del motor. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

Tabla 15

Características principales de los generadores de alta energía

Tipo	Alta energía
Tensión de alimentación	10 V a 30 V CC.
Tensión de salida	2.000 V CC.
Unidades	2.

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.10.3 Elementos principales de los generadores de alta energía (HE)

- Caja de ignición
- Conector eléctrico de entrada
- Conectores eléctricos de salida
- Brida de fijación
- Placa de identificación.

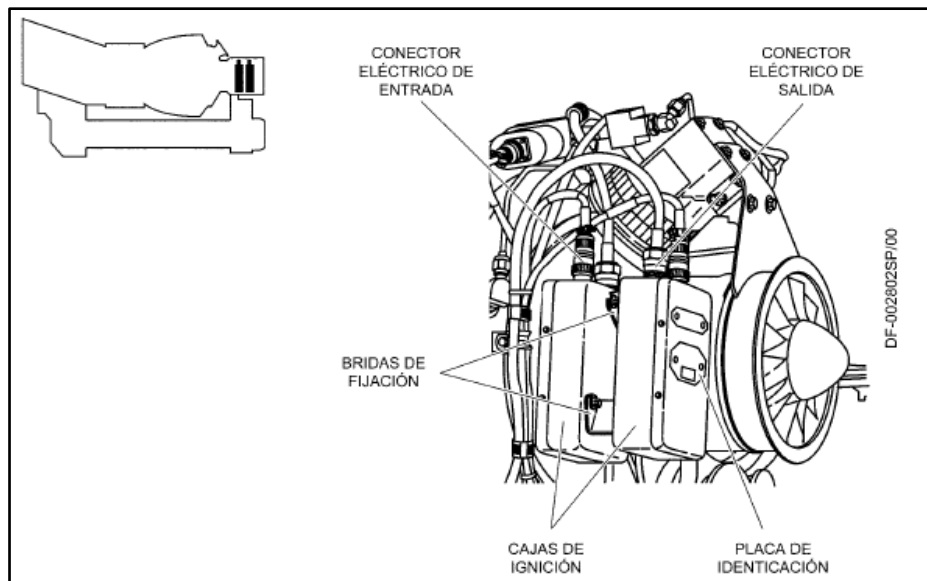


Figura 32 Partes del Generador de Alta Energía (HE)

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.11 Circuito de aire

Para su funcionamiento del turbomotor ARRIEL 1B, utiliza varios circuitos de aire permitiendo su continuo funcionamiento de operación se compone de los siguientes.

Tabla 16

Circuitos de aire utilizados para el funcionamiento del motor

Circuito de aire	Función
Circuito denominado interno de aire que garantiza	La presurización de las juntas y laberintos.

	El enfriamiento de las piezas internas.
	El equilibrio de fuerzas de los grupos móviles.
Los circuitos de toma de aire garantizan	La ventilación de los inyectores de arranque.
	Las tomas de muestras de aire a disposición del fabricante de la aeronave.
	La toma de presión de aire para el conjunto de regulación.
	El control de la compuerta de descarga.
La compuerta de descarga del compresor	

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

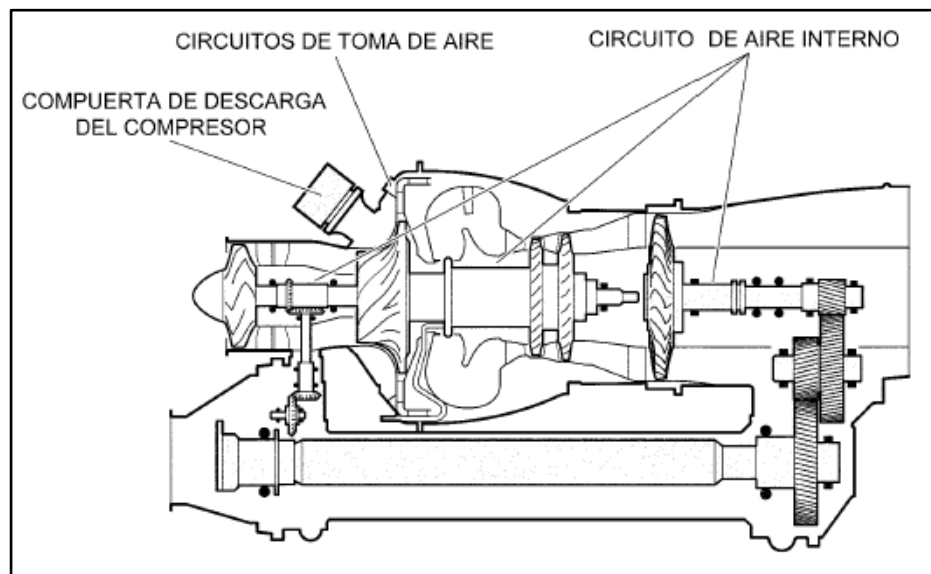


Figura 33 Circuito de aire del Motor ARRIEL

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.11.1 Circuito de aire interno del motor ARRIEL 1B

El circuito de aire denominado “interno” o denominado también circuito de aire secundario, presuriza las juntas laberinto, enfría ciertas piezas y equilibra las fuerzas, los elementos del circuito están contenidos en el motor

con excepción del circuito de presurización de la turbina libre, que recurre a una tubería externa. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

De aquí se distinguen los siguientes circuitos:

- El circuito de la parte delantera
- El circuito del generador de gas de H.P.
- El circuito de la turbina libre.

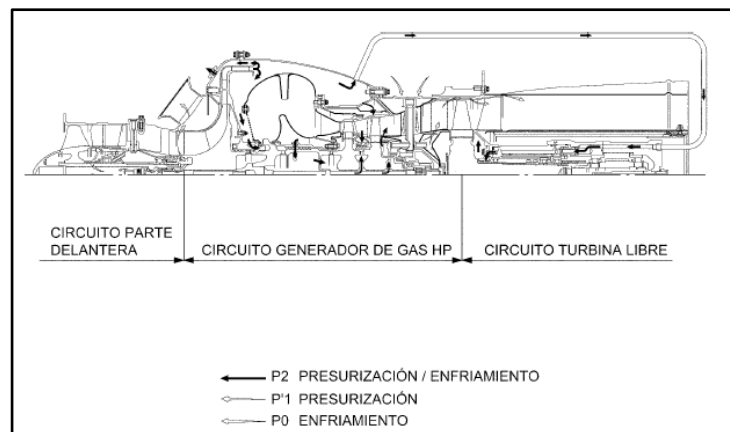


Figura 34 Circuito de aire interno del motor

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.11.2 Los Circuitos de tomas de aire del motor ARRIEL 1B

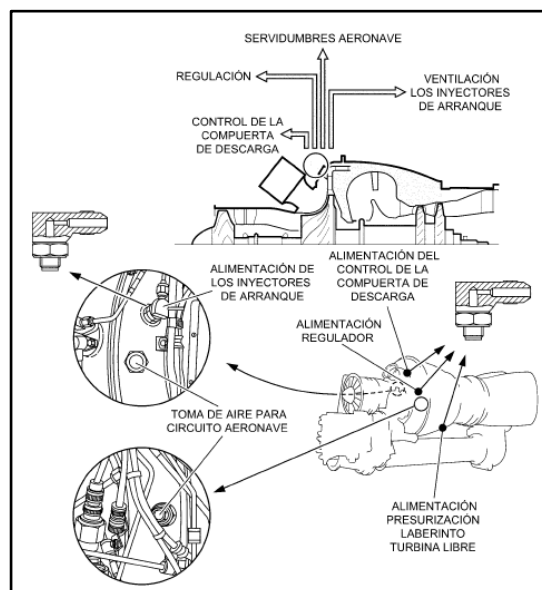


Figura 35 Circuitos de tomas de aire del motor

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

Los circuitos de tomas de aire son necesarios para, la regulación, la ventilación de los inyectores de arranque, la tripulación de la aeronave y el control de la compuerta de descarga. Las tomas de aire están situadas en la cara anterior del cárter compresor centrífugo. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.12 Sistema de control del motor

El sistema garantiza la medida de las velocidades de rotación como es el del generador de gas N1 (NG) y de la turbina libre N2 (NTL/NR) (como opción en helicópteros). La señal de los transmisores brinda la frecuencia proporcional a la velocidad de rotación de N1 y N2.

La velocidad N1 (NG) es un parámetro de pilotaje ya que proporciona una imagen de la potencia suministrada y determina los “regímenes límite” de funcionamiento del motor, mientras que la señal de velocidad de la turbina libre N2 (NTL/NR) se utiliza para la indicación (asociada a la indicación de velocidad del rotor NR). (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

El sistema de control nos permite, garantizar que el motor funciona dentro de límites determinados, detectar una avería o una evolución anormal de los parámetros y verificar ciertas fases de funcionamiento. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

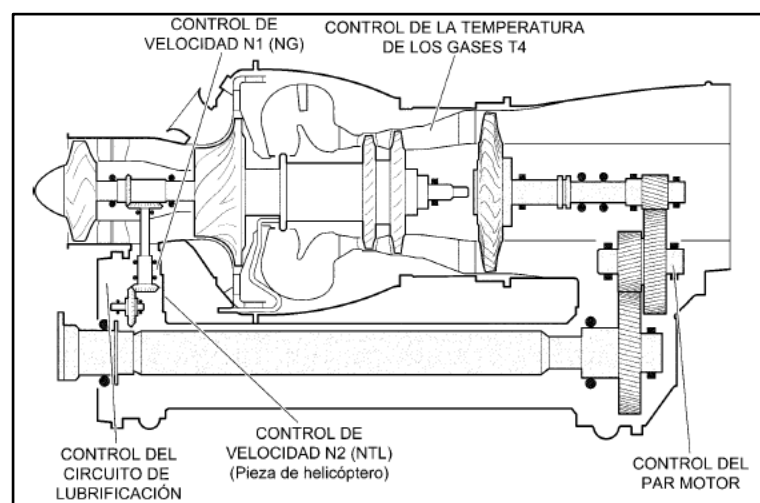


Figura 36 Diferentes tipos de controles del motor ARRIEL

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

Los diferentes tipos de controles del motor son:

- El control de la velocidad de rotación N1 (NG) del generador de gas
- El control de la velocidad de rotación N2 (NTL/NR) de la turbina libre
- El control de la temperatura de los gases de la turbina (T4)
- El control del par motor
- El control del circuito de aceite de lubricación
- Los pilotos indicadores.
- El contador del ciclo.

2.13 Circuito de lubricación

El circuito de aceite garantiza la lubricación y la refrigeración del motor ARRIEL, en todas las condiciones de vuelo, todos los elementos del circuito de lubricación se encuentran encima del motor, con la excepción del depósito, la sonda de temperatura del aceite y el radiador. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

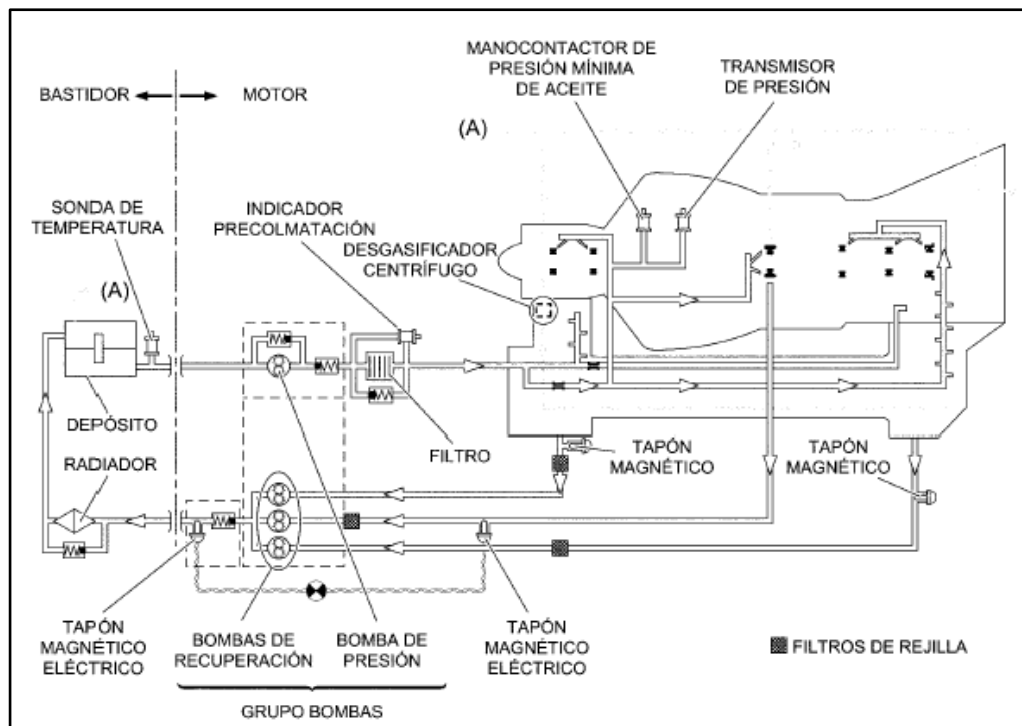


Figura 37 Circuito de lubricación

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

El circuito de aceite incluye todos los elementos necesarios para la lubricación del motor ARRIEL:

- Bombas
- Filtro
- Filtros de rejilla
- Desgasificador
- Dispositivos de control
- Depósito y radiador de aceite

2.13.1 Bombas del circuito del motor

El circuito de aceite incluye una bomba de presión y tres de recuperación. En el caso de las bombas de engranajes que son las de recuperación, el arrastre es mecánico y lo garantiza la caja de accesorios, mientras que la bomba de presión dispone de una válvula de sobrepresión y de una válvula de retención. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.13.2 Filtro del circuito del motor

El filtro retiene las partículas que pueden contaminar el circuito de lubricación y está formado por un elemento filtrante, una válvula de derivación y un indicador de pre taponamiento.

2.13.2.1 Tipos de filtros

A medida que se usa el aceite del motor, este se contamina gradualmente con partículas de metal, carbón, suciedad aerotransportada. Si las piezas del motor que están en movimiento fueran lubricadas por dicho aceite sucio, ellas se desgastarían rápidamente y como resultado el motor podría agarrotarse. Para evitar esto, se fija un filtro de aceite en el circuito de aceite que remueva esas sustancias indeseables.

Por lo general el filtro de aceite es montado a la mitad del camino del circuito de lubricación. Este remueve las partículas de metal desgastadas de las piezas del motor por fricción, así como también la suciedad, carbón y otras impurezas del aceite. Si el elemento del filtro de aceite (papel filtrante), el cual remueve las impurezas, llega a obstruirse, una válvula de seguridad está colocada en el filtro de aceite, luego este flujo de aceite no será bloqueado cuando intente pasar a través del elemento obstruido. (EcuRed, 2015).

En los motores a gasolina se usa el filtro tipo de flujo completo, en el cual todo el aceite que circula por el circuito de lubricación es filtrado por el elemento. En otros casos se emplea, el filtro tipo cristal; este tipo es pequeño y ligero en peso, sin embargo, su rendimiento es alto. (EcuRed, 2015).

El aceite en su recorrido por el motor va recogiendo partículas como:

- Partículas metálicas (desgaste de las piezas)
- Carbonilla y hollín (restos de la combustión)

El aceite debe ir limpio de vuelta al circuito y este dispone de dos filtros, un filtro antes de la bomba (rejilla o colador) y un filtro después de la bomba (filtro de aceite o principal)

- El filtrado puede realizarse de dos maneras, en serie (todo el caudal de aceite pasa por el filtro, es el más utilizado); y en derivación (solo una parte del caudal de aceite pasa por el filtro).

Los filtros van provistos de un material textil y poroso y van provistos de una envoltura metálica. Los más usados son:

- Con cartucho recambiable
- Monoblock
- Centrifugo



Figura 38 Filtro tipo cartucho recambiable

Fuente: (Prueba de Ruta, 2016)

2.13.2.2 Micras

El filtro de aceite es un cartucho, que contiene un elemento filtrante que cuenta con diferentes capas de elementos porosos, por donde pasa el lubricante para ser filtrado, en buenas condiciones retiene más de 97% de partículas, muy pequeñas, de entre 10 y 40 micras de tamaño, para que se hagan una idea del tamaño de las partículas un cabello tiene un espesor de unas 60 a 50 micras. (Prueba de Ruta, 2016).

Un micrón es una unidad de medida en el sistema métrico que es igual a una millonésima de metro de largo (aproximadamente 39 millonésimas de pulgada). La sección transversal promedio de un cabello humano es de 50 micrones. El ojo humano no puede ver nada cuyo tamaño sea inferior a 40 micrones.

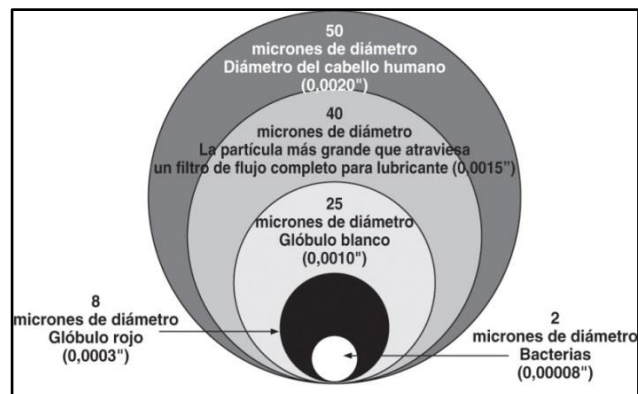


Figura 39 Medida de micrones al ojo humano

Fuente: (Baldwin Filters, 2014)

2.13.3 Filtros de rejilla del circuito del motor

Los filtros de rejilla protegen las bombas de recuperación en el circuito del motor en caso de impurezas.

2.13.4 Desgasificador del circuito del motor

El desgasificador, es de tipo centrífugo, separa el aceite de los vapores y expulsa éstos al aire previniendo la cavitación.

2.13.5 Dispositivos de control del circuito de lubricación

Los dispositivos de control del circuito de lubricación son:

- Manocontactor de presión mínima de aceite.
- Transmisor de presión de aceite
- Sonda de temperatura y sonda de sobrecalentamiento.
- Tapones magnéticos eléctricos y mecánicos.

2.13.6 Características principales del circuito de lubricación del motor

Tabla 17

Características principales del circuito de lubricación

Características	Datos
Tipo de circuito.	Presión variable, caudal total, cárter seco, aceite sintético.
Temperatura máxima del aceite	115°C (239°F)
Presión mínima del aceite	90 ó 130 kPa (13 ó 18,85 PSIG) según modelo.
Presión máxima del aceite	800 kPa (116 PSIG)
Presión del aceite	300 kPa (43,5 PSIG)
Consumo máximo de aceite	0,3 l/h ó 0,15 l/h según modelo.

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.13.7 Elementos que requieren de lubricación en el motor

Tabla 18

Elementos que requieren de lubricación en el motor

Elementos.	
Paliers delanteros del generador de gas.	Palier del compresor axial
	Palier del compresor centrífugo
	Palier del árbol motor de los accesorios.
Palier posterior del generador de gas.	
Palier de la turbina libre.	
Reductor.	
Caja de accesorios.	

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

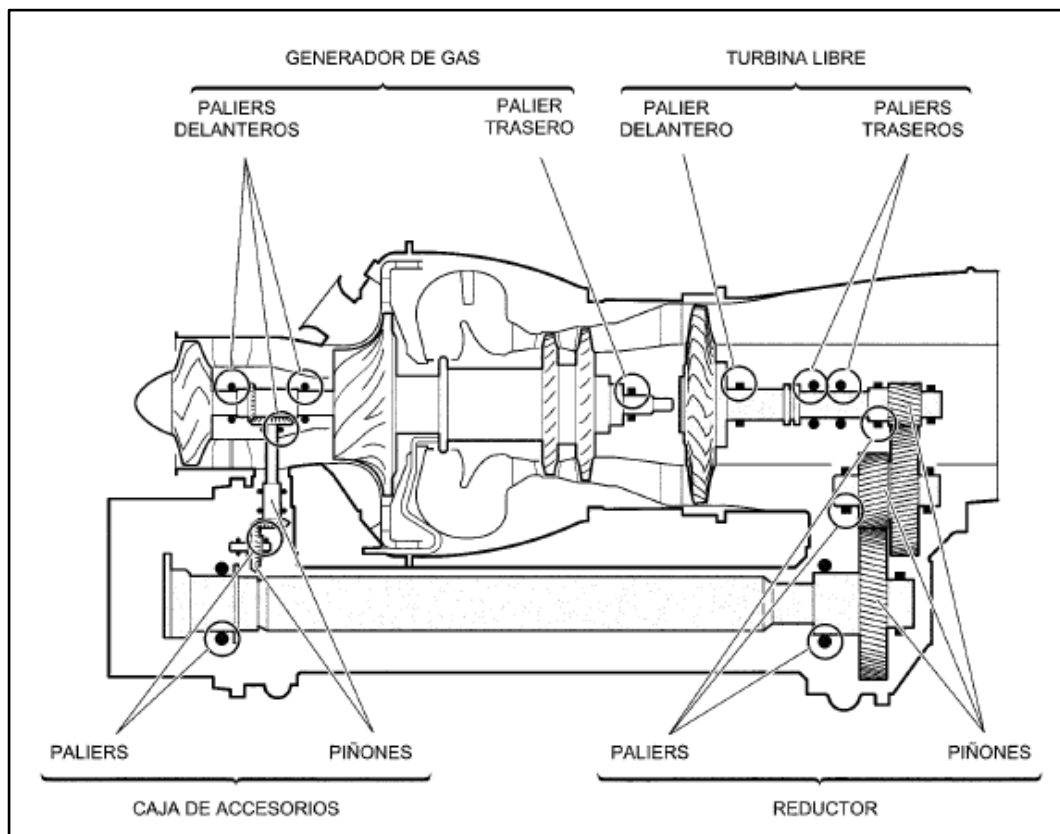


Figura 40 Elementos lubricados en el motor ARRIEL 1B

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.13.8 Funciones del circuito de aceite del motor ARRIEL 1B

Las funciones del circuito de aceite son:

- Alimentación de aceite
- Recuperación de aceite
- Desgasificación
- Control.

2.13.8.1 Alimentación de aceite del circuito

La bomba de presión aspira aceite del depósito y lo impulsa a presión. En caso de sobrepresión, una válvula devuelve el exceso de aceite aspirado al depósito, el aceite se distribuye a través de una válvula de retención, el filtro y un agujero hacia los diferentes puntos de lubricación como los paliers delanteros del generador de gas, palier posterior del generador de gas, paliers de la turbina libre, el reductor, la caja de accesorios y torsiómetro (alimentación hasta el surtidor principal del reductor de presión). Los chiclés (surtidor principal) pulverizan el aceite en los puntos que requieren lubricación. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.13.8.2 Recuperación de aceite del circuito

Tras la lubricación, el aceite cae por gravedad hasta la parte inferior de los alojamientos; a continuación, las bombas de recuperación lo aspiran y conducen nuevamente al depósito de aceite a través del radiador (circuito de tipo cárter seco). Varios filtros de rejilla protegen la bomba de las partículas que puede contener el aceite. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.13.8.3 Desgasificación del circuito de lubricación

Los vapores resultantes de la lubricación se conducen hasta la caja de accesorios, donde un desgasificador separa el aceite y expulsa el aire del

circuito de lubricación, mientras que el palier trasero del generador de gas se purga de aire directamente evitando la cavitación. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.13.8.4 Control del circuito de lubricación

El sistema de control del circuito de lubricación, se encarga de censar controlar y emitir señales en caso de falla del sistema controlando la presión, temperatura, la presión mínima de aceite en el circuito, con ayuda de tapones magnéticos eléctricos e un indicador de pre taponamiento del filtro.

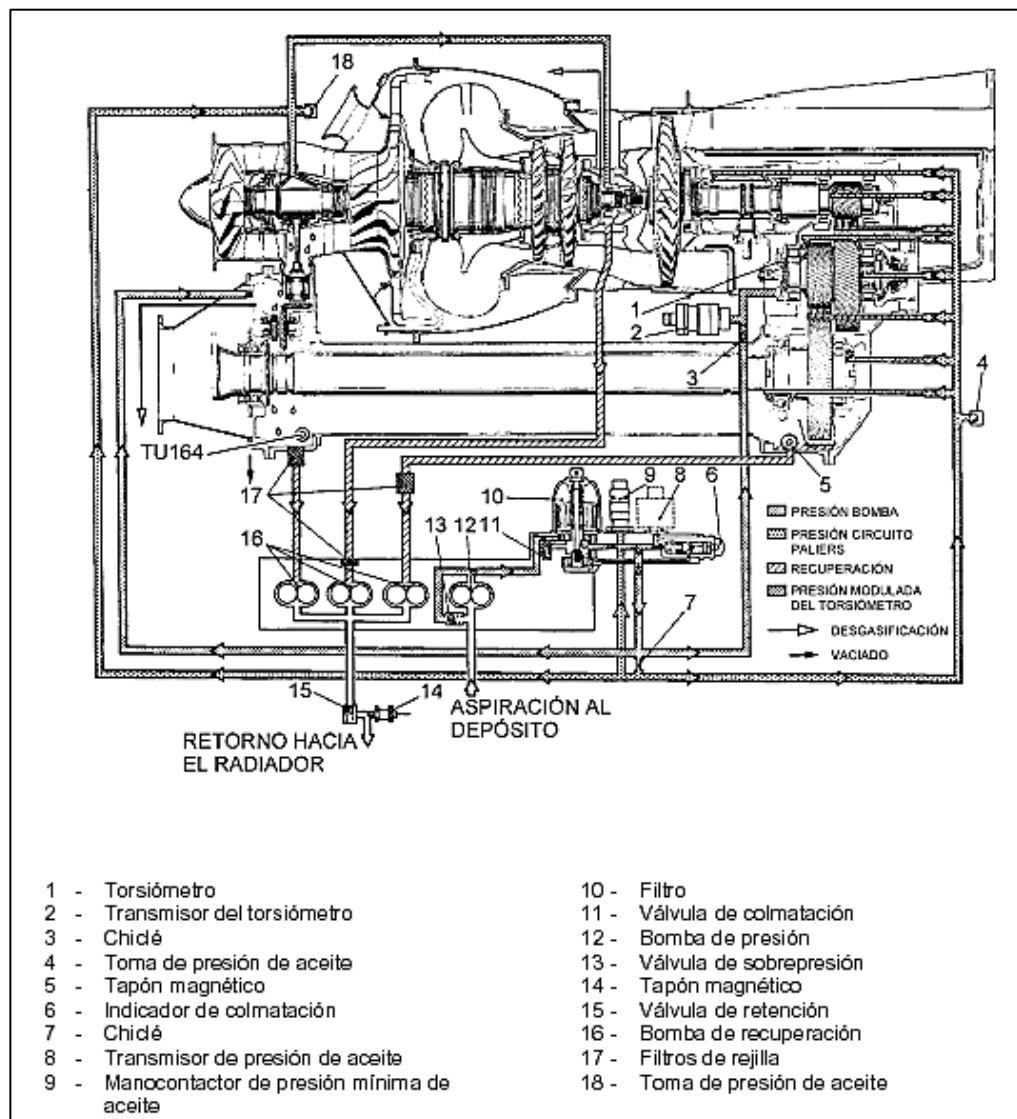


Figura 41 Partes del circuito de lubricación del motor ARRIEL 1B

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.14 Circuito eléctrico de arranque

Los equipos que permiten un arranque en el motor ARRIEL 1B son:

2.14.1 Generador de arranque (pieza del helicóptero)

En el arranque, pone el motor en movimiento de rotación, hasta la velocidad de autonomía, en funcionamiento normal, asegura la generación eléctrica en corriente continua.

2.14.2 Generadores de alta energía o cajas excitadoras del motor

Son en número de dos generadores de alta energía cajas excitadoras, cada uno asegura la alimentación en corriente de alta energía de dos arrancadores que provocan, al comienzo del arranque, la inflamación de la mezcla de aire y combustible en la cámara de combustión. El generador transforma la tensión eléctrica de alimentación de entrada en alta tensión de salida, se monta sobre un soporte en la parte delantera derecha del motor. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

La caja de ignición en conjunto con los generadores de alta energía se alimenta en corriente continua (28 V) de la red de distribución, el convertidor transforma la corriente continua en corriente alterna, mientras que el transformador amplifica la corriente alterna y alimenta el rectificador, permitiendo pasar únicamente las fases positivas y carga el condensador. El condensador acumula las cargas (fases positivas) y se descarga periódicamente, el descargador controla las fases de descarga y carga sucesivas, así, la corriente de alta energía se conduce mediante cables coaxiales a la bujía de ignición provocando una tensión del orden de 2.000 voltios. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

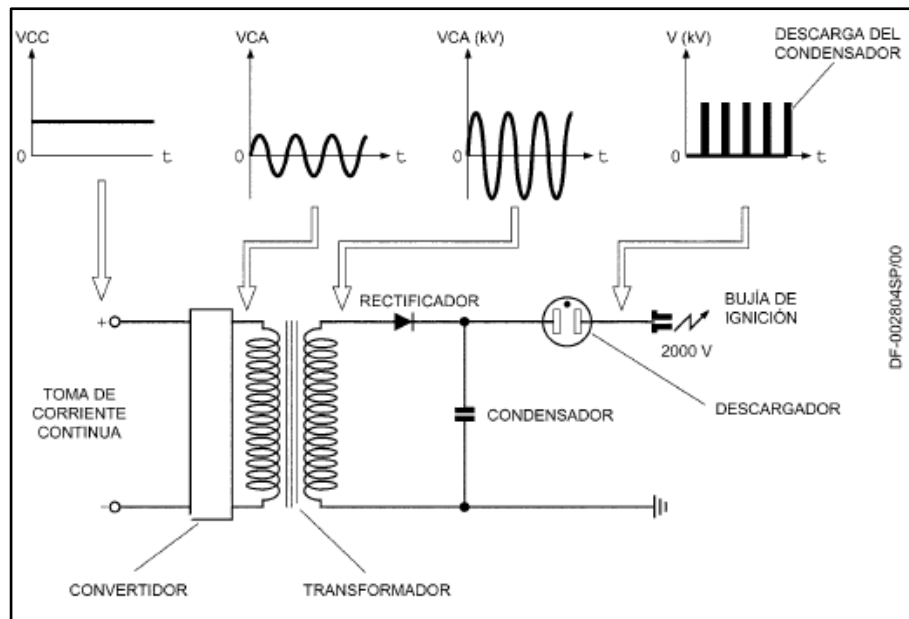


Figura 42 Funcionamiento de los generadores de alta energía
 Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.14.3 Válvula eléctrica de arranque

Asegura la alimentación de carburante de los inyectores durante la fase de arranque; en marcha normal, asegura la ventilación de los inyectores por aire de sangrado P2.

2.14.4 Válvula de purga de la rampa de inyección

En el arranque, la purga está cerrada y permite la llegada del carburante al rotor de inyección del motor.

2.14.5 Compuerta de descarga (electroneumática)

Asegura la descarga del aire P1 con el fin de facilitar el arranque y de evitar el bombeo del compresor a velocidades de rotación débiles. Se controla mediante una señal eléctrica en cabina. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.15 Especificaciones del manual de mantenimiento N° X 292 65 452 3 del motor ARRIEL 1B

La redacción del documento, donde abarca la información del motor ARRIEL 1B como sus diferentes módulos que este posee, circuitos para su funcionamiento y sus diversos componentes, se ha efectuado conforme a las prescripciones de la norma "Especificación n° 100 de la A.T.A.", revisión N° 28.

2.15.1 Capítulos del manual de mantenimiento N° X 292 65 452 3 del motor ARRIEL 1B

Cada capítulo del manual corresponde a un sistema. Un sistema es una combinación o unión de componentes correlacionados, organizados para cumplir una función. Cada sistema comprende los elementos de base así como los instrumentos, los mandos mecánicos y los equipos eléctricos e hidráulicos ligados al sistema.

Los capítulos se dividen en secciones que corresponden a la descomposición de un sistema en subsistemas. Una sección se subdivide en temas que corresponden a los equipos que constituyen el sistema o el subsistema. Cada capítulo comienza por una lista de versiones seguida de un índice. La lista de versiones permite al usuario asegurarse de que su manual está al día. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

Tabla 19

Capítulos del manual de mantenimiento N° X 292 65 452 3

Capítulo	Designación
Capítulo 0	Prólogo
Capítulo 05	Visitas y periodicidad
Capítulo 26	Detección de incendios
Capítulo 70	Técnicas habituales
Capítulo 71	Grupo de turbomotor
Capítulo 72	Turbomotor

Capítulo 73	Circuito de carburante
Capítulo 74	Circuito de encendido
Capítulo 75	Circuito de aire
Capítulo 77	Control del motor
Capítulo 79	Circuito de lubricación
Capítulo 80	Arranque

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.15.2 Designación de páginas del manual de mantenimiento N° X 292 65 452 3 del motor ARRIEL 1B

La designación de las páginas, según el sistema ATA divide en bloques de 100 páginas efectivas del manual de mantenimiento de una aeronave se basándose a la siguiente forma repartida y divide, de todo el manual.

Tabla 20

Designación de páginas según sistema ATA

Tema	Bloque de paginas
Descripción y Operación	1 - 100
Búsqueda de averías (Trouble Shooting)	101 - 200
Prácticas de mantenimiento	201 - 300
Servicio (Servicing)	331 - 400
Remoción e instalación de componentes	401 - 500
Pruebas de ajuste de componentes	501 - 600
Chequeo e inspecciones de sistemas o componentes	601 - 900
Pintura y limpieza	701 - 800
Reparaciones aprobadas	801 - 900

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

Cada página contiene básicamente el número de capítulo al que pertenece, seguido de otros dos números relativos a la sección y al tema dentro del capítulo considerado, un número de página, una fecha de versión, ya sea la de la edición original o la de la actualización más reciente y el

identificador de la aplicabilidad de la página del manual. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

Con el objetivo de facilitar el trabajo de búsqueda en el interior de un capítulo, las páginas se numeran del siguiente modo:

Tabla 21

División de páginas del manual de mantenimiento del motor ARIEL

Tema	Intervalo de páginas
Descripción y funcionamiento	De la 1 a la 99
Búsqueda de averías (Trouble Shooting)	De la 101 a la 199
Procedimientos particulares (Prácticas de Mantenimiento)	De la 201 a la 299
Desmontaje (Remoción)	De la 301 a la 399
Instalación	De la 401 a la 499
Prueba de ajuste	De la 501 a la 599
Limpieza	De la 601 a la 699
Desmontaje/Instalación (Sustitución)	De la 701 a la 799
Verificación y control	De la 801 a la 899
Reparación	De la 901 a la 999
Mantenimiento corriente	De la 1101 a la 1199
Almacenamiento.	De la 1201 a la 1299
Pruebas.	De la 1301 a la 1399.

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

Cuando en una serie de páginas se deja intencionadamente una sin imprimir, el número de esta página se une al de la precedente.

- **Ejemplo:** Páginas 5, 6, 7, 8, 9; la página 8 no está impresa, la página 7 se numera como 7/8. La numeración de las páginas será 5, 6, 7/8, 9.

2.16 Tipos de mantenimiento al motor ARRIEL 1B

Varias operaciones de mantenimiento permiten preservar el potencial y el buen funcionamiento del turbomotor. Estas operaciones de mantenimiento se descomponen en tareas y subtareas de acuerdo con el método de numeración unificado de las tareas. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.17 Operaciones de mantenimiento al motor ARRIEL 1B

En el transcurso del uso del turbomotor, se presentan dos tipos de operaciones de mantenimiento que son:

- Operaciones de mantenimiento obligatorias
- Operaciones de mantenimiento eventuales

2.18 Operaciones de mantenimiento obligatorias

Las visitas y la periodicidad del motor se pueden clasificar en tres grupos:

- Visitas de puesta a punto,
- Visitas periódicas,
- Visitas u operaciones de mantenimiento eventuales.

2.18.1 Visitas de puesta a punto

Las visitas de puesta a punto incluyen las visitas posteriores al vuelo y antes del vuelo y comprenden las siguientes:

- La visita "posterior al último vuelo del día",
- La visita "previa al primer vuelo del día",
- Las visitas "previas a los vuelos",
- Las visitas "posteriores a los vuelos".

2.18.1.1 La visita "posterior al último vuelo del día"

Esta es la visita más importante, está prevista para garantizar una jornada de actividad aérea, siendo una visita esencial, que permite reducir al mínimo el volumen de visitas previas y posteriores a los vuelos. Se aprovecha para efectuar ciertas operaciones de mantenimiento cuya periodicidad es inferior a la periodicidad básica de las visitas periódicas. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.18.1.2 La visita "previa al primer vuelo del día"

Separada por un intervalo de tiempo más o menos largo de la visita posterior al último vuelo, la visita previa al primer vuelo del día tiene como fin, asegurarse de que el motor (que ha podido sufrir intervenciones de reparación subsecuentes a la visita posterior al último vuelo) se encuentra en condiciones para el vuelo y se completa con la lista de control ("Check list") del piloto y el mecánico efectuada antes de cada despegue junto con el manual de la tripulación. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.18.1.3 Las visitas "previas a los vuelos"

También conocida como visita "previa a cada vuelo", son visitas reducidas al mínimo como verificaciones de niveles, retirada de obturadores, se completan con la lista de control ("Check list").

2.18.1.4 Las visitas "posteriores a los vuelos"

Las visitas posteriores a cada vuelo tienen como objetivo descubrir las anomalías no indicadas por la tripulación. Estas visitas son independientes del reabastecimiento de combustible, así como de los preparativos para misiones operativas. Las visitas "posteriores a un vuelo" y "previas a un vuelo" se pueden efectuar simultáneamente en el caso de vuelos próximos.

Si un motor disponible permanece más de una semana sin volar, se deberá efectuar una gama fija de mantenimiento cada 7 días. Al final de la gama, se procederá a una visita de tipo "posterior al último vuelo del día". Si la duración de la inmovilización se prolonga, se deberá guardar el motor. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.18.2 Visitas periódicas

Las visitas periódicas están vinculadas al tiempo de utilización del motor, la periodicidad recomendada para el motor y sus accesorios se indican como valores iniciales, capaces de ser modificados en uno u otro sentido en función de la experiencia adquirida por el uso del motor en el helicóptero. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.19 Visitas u operaciones de mantenimiento eventuales

Las visitas u operaciones eventuales se efectúan aparte de las visitas periódicas, cuando se indica un incidente imprevisto por el piloto o el mecánico o como consecuencia del funcionamiento del helicóptero en determinadas condiciones.

Los potenciales y los límites de vida útil conciernen al motor y a sus elementos principales.

Las operaciones de mantenimiento eventuales se efectúan después de un incidente durante el funcionamiento normal del motor que en general, comprenden:

- Búsqueda de las causas de las averías
- Desmontaje e instalación de los módulos o los equipos
- Verificación y control de los módulos o los equipos
- Pruebas con los módulos o los equipos.

2.20 Potenciales y límites de vida útil del motor ARRIEL 1B

2.20.1 Potencial entre revisiones generales (TBO)

Se define como, el potencial entre revisiones generales (en inglés: "Time Between Overhauls" o "TBO") de un material (motor, módulo o equipo) es el plazo autorizado de utilización antes de que sea obligatorio el retorno de este material a revisión general tras un servicio en condiciones normales de explotación. El potencial se expresa en horas. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.20.2 Potencial inicial

Son los valores de potencial que se basan en los potenciales iniciales aprobados por las autoridades en el momento de la homologación o la certificación del tipo de motor, sobre la base de las pruebas justificativas efectuadas y sobre la experiencia adquirida hasta ese momento. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.20.3 Extensión del potencial

Son valores iniciales de potencial que están sujetos a programas de extensión. Por ejemplo, según el resultado de los exámenes preliminares para el potencial inicial, se define, a título experimental, un valor nuevo de potencial para un determinado número de materiales que se mantienen en servicio. Una vez que el peritaje de estos materiales haya determinado su valor nuevo de potencial, se considera como donante de resultados satisfactorios o, en función de las modificaciones que se incorporen en estos materiales, el fabricante podría declarar un valor nuevo de potencial correspondiente a la extensión considerada. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.20.4 Ciclos de funcionamiento del motor

En un ciclo de referencia, este es el ciclo teórico que sirve de referencia para el establecimiento de límites de vida útil de servicio, que incluye:

- un arranque
- una puesta "en potencia" que corresponde a la potencia de "despegue" (Generador de gas)
- una subida al régimen nominal (Turbina libre)
- una parada

Mientras que los ciclos durante la utilización, en un vuelo se pueden componer de dos tipos de ciclos un ciclo completo, que es una secuencia de funcionamiento del motor que incluye (un arranque, una puesta en potencia del generador de gas, una subida al régimen nominal de la turbina libre y una parada).

Y el ciclo parcial que es una secuencia de funcionamiento del motor que corresponde a una disminución de potencia, seguida de un aumento importante sin parada del motor generador de gas, a una disminución importante de potencia seguida de un retorno al nominal, sin parada de la turbina libre del motor. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

A partir de estas definiciones, el total de ciclos consumados entre un arranque y la parada consecutiva se compone de un ciclo completo y, eventualmente, de ciclos parciales.

2.20.5 Límites iniciales de vida útil de servicio del motor

De acuerdo a (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005), los valores iniciales de los límites de vida útil de servicio son aprobados por las autoridades en el momento de la certificación del tipo de motor, sobre la base de cálculos, de pruebas o de la experiencia adquirida.

2.20.6 Límites de vida útil de servicio del motor y componentes

Los límites de vida útil de servicio para cada elemento del motor involucrado se expresan en ciclos de referencia, los límites de vida útil de servicio representan el número de ciclos de referencia para un elemento dado, antes de que se imponga su retirada del servicio, esto sólo afecta a los elementos cuya ruptura supone un riesgo para la aeronave. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

Tabla 22

Valores de los límites de vida útil de los principales componentes del motor ARRIEL 1B

Designación de los elementos.	Referencia del elemento	Límite de vida útil inicial en ciclos.	Límite de vida útil inicial en horas.
Rotor del compresor axial	0292150480	14.000	
Rotor de inyección	0292252020	3.000	
Rotor de turbina 1ª etapa.	0292257160	3.000	2.000
Disco de turbina libre.	2292800190	10.000	
Rotor de turbina 2ª etapa	0292257180	3.000	2.000

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

Los límites de vida útil se pueden expresar igualmente en horas de funcionamiento para ciertos elementos, mientras que en un elemento con vida útil limitada se deberá poner fuera de servicio una vez que se alcance el primero de los dos límites. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.20.7 Extensión de los límites de vida útil de servicio

Los valores de límites de vida útil de servicio están sujetos a un programa aprobado de extensión, basado en las pruebas efectuadas sobre elementos nuevos o puestos fuera de servicio, o sobre justificaciones complementarias que se apoyan en la experiencia, o cualquier otra justificación apropiada. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

2.20.8 Potenciales y límites de vida útil para los equipos y accesorios del motor

Para los suministros de TURBOMECA, como los módulos, componentes y todos los accesorios tienen un potencial o límite de vida útil inicial, igual al menos a un potencial motor.

Es posible que los resultados satisfactorios de exámenes periciales de motores provenientes de servicio para revisión para determinar el potencial permitan, una vez que se haya adquirido una experiencia suficiente, atribuir a determinados accesorios y equipos un potencial más elevado que el del motor.

Estos aumentos de potencial serán objeto de cartas servicio como los valores de los potenciales del motor y de los módulos. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

Para Todos los accesorios del motor, de suministro y fabricación exterior a TURBOMECA, tienen un potencial o límite de vida útil inicial igual al menos a un potencial motor. Un programa de extensión debe permitir, en el futuro, aumentar este valor para determinados accesorios y equipos. Estos aumentos de potencial serán objeto de cartas servicio, boletines de servicio, así como los valores de los potenciales del motor y de los cinco módulos que los componen. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

Tabla 23

Operaciones de mantenimiento de visitas periódicas por horas

Designación de las operaciones	R= Recomendada O= Obligatoria		Números de tarea.
	PERIODICIDAD		
	R	O	
1 Motor.			
Investigar anomalías en el Módulo 02.			
Inspección intermedia del Módulo 02		3000 h	72-32-00-280-803-A01
Investigar anomalías en el Módulo 04.			
Cambio del rodamiento delantero de la turbina libre.		3000 h	72-54-00-210-803-A01
Inspección del estado de los cárteres (ausencia de fuga en los diferentes planos de separación)		1000 h o desmontaje modular	
Investigar anomalías en el Módulo 01.		3000 h	72-61-00-210-801-A01 72-61-00-210-802-A01
2 Después de un desmontaje modular			
Verificar el funcionamiento y limpiar la válvula de drenaje del cárter turbina.		Si se efectúa el desmontaje modular	72-43-00-770-801-A01

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

2.20.9 Las visitas periódicas por circuitos (ciclos) u horas del motor

Se integran en un ciclo de mantenimiento basado en las horas de vuelo, las horas de vuelo se deben contabilizar sobre la siguiente base: tiempo acumulado entre la elevación de las ruedas (o de los patines) y el apoyo de las ruedas (o de los patines).

De forma general, la periodicidad de cada operación de mantenimiento no puede exceder en más del 10% el valor indicado en la tabla. Limitada a 50 horas. Si el usuario lo desea, puede aprovechar los periodos de inactividad del aparato para efectuar progresivamente todas las operaciones de mantenimiento. La planificación de las operaciones de mantenimiento, unas independientemente de otras, se dejan a criterio del operador, con la única condición de no superar los intervalos requeridos, las operaciones de mantenimiento se catalogan en tres categorías. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

Tabla 24

Operaciones de mantenimiento en las visitas periódicas

Operaciones de mantenimiento	
Operaciones imperativas	Son las acciones a efectuar para lograr los objetivos de navegabilidad
Operaciones obligatorias	El fabricante considera que se debe llevar a cabo las operaciones de mantenimiento obligatorias siguiendo las tasas de frecuencia previstas aunque no afectan directamente la seguridad del vuelo.
Operaciones recomendadas	Son las que recomienda el fabricante con el fin de mejorar la fiabilidad, la disponibilidad operativa o el coste de explotación mediante el mantenimiento frecuente del motor.

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares

El presente proyecto tiene como finalidad realizar una Inspección de 3000 horas a los motores ARRIEL 1B, pertenecientes a las aeronaves de la Aviación del Ejército Ecuatoriano, como son las aeronaves Ecureuil B3 y Fennec, que poseen estos motores; con el propósito de realizar esta inspección periódica, de uno de sus cinco módulos que componen el turbomotor, se efectúa la implementación de dos herramientas especiales, como son la eslinga motor y el soporte de ensamblaje modular.

Herramientas que forman una parte indispensable para realizar estos trabajos de ensamblaje modular del motor ARRIEL 1B, así como el desmontaje y montaje del motor en la aeronave, permitiéndonos efectuar trabajos de cambio e inspección de cada módulo en un soporte apto para el trabajo y en el menor tiempo posible permitiendo una pronta puesta al servicio del motor.

Cabe mencionar que las herramientas, fueron enviadas con el motor ARRIEL, al inicio de su compra desde la casa fabricante que es TURBOMECA (Francia) y existe una de cada una para ser ocupadas alrededor de todas las bases militares y en las diferentes provincias del Ecuador como son Pichincha (Quito-Las Balbinas), Guayas (Guayaquil), Pastaza (La Shell-Mera), Francisco de Orellana (El Coca) y Manabí (Portoviejo).

3.2 Procedimientos de seguridad para realizar una inspección o un desmontaje del motor ARRIEL 1B

Antes de cada trabajo de mantenimiento o inspección periódica del motor ARRIEL 1B o desmontaje de sus cinco módulos, se deben cumplir varios requisitos como son las normas de seguridad dentro y fuera de un hangar o

taller de mantenimiento aprobado, dentro de las técnicas corrientes (T.C), dentro de esas tenemos, **(VER ANEXO A)**:

- Usar equipo de protección personal (EPP).
- Respetar la señalética de precaución e identificación en todos los lugares de uso para el mantenimiento.
- Uso del manual de mantenimiento de cada motor o aeronave.

Usos de las técnicas corrientes (T.C.) para el desmontaje y montaje del motor ARRIEL 1B, descritas en la tarea 70-01-00-950-801-A01. **(VER ANEXO A)**, con el objeto de recordar las precauciones y las técnicas corrientes a observar en la aplicación de las instrucciones relativas a la conservación y el mantenimiento de un motor.

Prestar énfasis en los enunciados de ATENCIÓN, NOTA, PRECAUCIÓN O PELIGRO, descritas en el manual de mantenimiento del motor ARRIEL 1B, las operaciones incluidas en el manual sólo podrán ser ejecutadas por personal de TURBOMECA o especialistas técnicos que estén autorizados por la misma casa fabricante. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

En cada fase de las operaciones de conservación y mantenimiento se debe:

- Utilizar la documentación técnica
- Utilizar correctamente las herramientas apropiadas.
- Respetar una limpieza minuciosa.
- Evitar la entrada de cuerpos extraños en el motor
- Tapar las aberturas y los empalmes de las tuberías desacopladas con obturadores limpios y apropiados o con tapones limpios.
- Manipular con cuidado las pantallas de protección durante su desmontaje y montaje
- Montar y desmontar los componentes con precaución para evitar los posibles daños en las pantallas de protección.



Figura 43 Pantalla de protección del motor

- Para piezas consumibles, se recomienda deshacerse de las piezas que no se van a volver a utilizar tan pronto como sean desmontadas, como juntas tóricas



Figura 44 Piezas consumibles, juntas tóricas

- Identificar sistemáticamente las piezas en el desmontaje para facilitar las operaciones de instalación siguiendo un orden o una secuencia.
- Para separación de módulos o componentes, se recomienda no introducir objetos en forma de cuña para separar las caras de dos componentes difíciles de despegar (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005). **(VER ANEXO A)**.

3.3 Procedimientos para la elevación y fijación del motor (T.C)

Los procedimientos de elevación y fijación del motor ARRIEL 1B según las técnicas corrientes establecidas en el manual, se detalla en el manual de mantenimiento, así como los procedimientos en el capítulo 71-21-00

correspondientes a elevación y fijación del motor. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005). **(VER ANEXO B).**



Figura 45 Eslinga del motor y puntos de fijación

3.4 Simbología de los diagramas de flujo y su análisis

Un diagrama de flujo es la representación gráfica del flujo o secuencia de rutinas simples, su ventaja principal es de indicar la secuencia del proceso en cuestión, las unidades involucradas y los responsables de su ejecución, es, viene a ser la representación simbólica o pictórica de un procedimiento administrativo u operativo. (Manene, 2011).

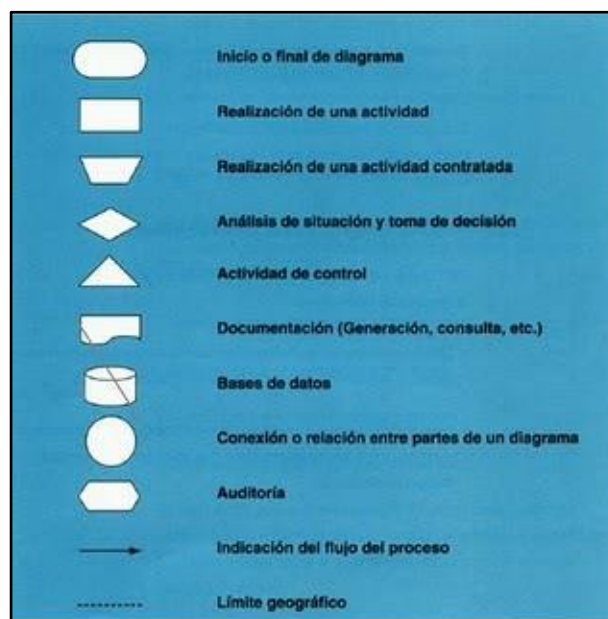
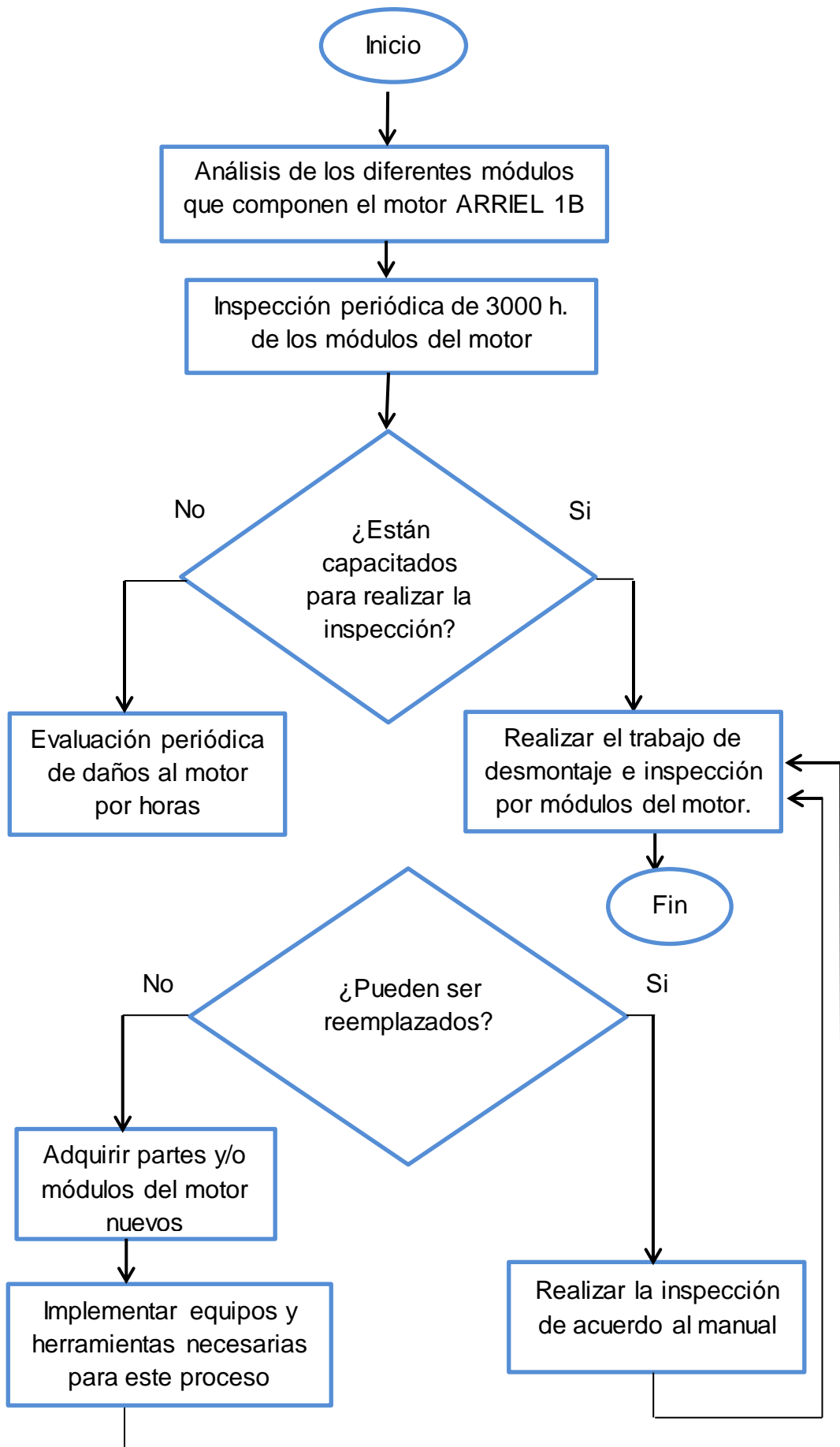


Figura 46 Simbología del diagrama de flujo

Fuente: (Manene, 2011)

3.5 Diagrama de flujo de análisis del tema



3.6 Instalación del motor en el soporte de ensamblaje modular

Para la instalación del motor, en el soporte de ensamblaje modular se procede a usar los manuales respectivos para el efecto como el manual de mantenimiento del motor ARRIEL 1B N° X 292 65 452 3, aplicando escrupulosamente las limitaciones y las instrucciones particulares del manual de mantenimiento según técnicas corrientes, descritas en este capítulo y la tarea 71-02-12-410-801-A01 (**VER ANEXO C**). (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2007).

El ANEXO C, nos brinda la información acerca de, equipos y material para la instalación, procedimiento para la instalación, así como los lugares adecuados a ser usados como puntos de apoyo tanto en la eslinga motor, como en el soporte de ensamblaje modular.



Figura 47 Motor instalado en el soporte

3.7 Procedimientos generales a realizar una inspección de 3000 horas

Los procedimientos para una inspección de 3000 horas, de los cinco módulos del motor, se encuentran, descritos en el manual de mantenimiento del motor ARRIEL 1B, N° X 292 65 452 3, así también como las dos herramientas especiales se encuentran descritas, en el catálogo de herramientas de mantenimiento del motor ARRIEL 1B, N° X292658023.

En el manual de mantenimiento se realizan inspecciones a las 3000 horas, a los tres módulos del motor que contemplan las inspecciones básicas de los módulos 01, módulo 02, módulo 04.

Para realizar las operaciones de Inspección de 3000 horas, descrita en el manual de mantenimiento del motor, nos hace referencia a las condiciones requeridas para la aplicación del procedimiento de mantenimiento, para desmontar completamente el motor, se debe cumplir el orden de desmontaje de los módulos en el siguiente orden específico:

1. Módulo 05 - Reductor
2. Tobera
3. Módulo 04 - Turbina libre
4. Módulo 02 - Compresor
5. Módulo 01 - Caja de accesorios.

Básicamente la inspección de 3000 horas de los módulos 01, 02 y 04 se basan a las siguientes normas generales para desmontaje, instalación, inspección y verificación, basadas en las técnicas corrientes, pares de apriete, desmontaje e instalación de cada uno de los módulos a ser inspeccionados M01, M02, M04, según la tarea **05-20-02-200-801-A01 (VER ANEXO H)**, siguiendo el siguiente orden:

- Técnicas corrientes - Generalidades. Referirse a la Tarea 70-01-00-950-801-A01 **(VER ANEXO A)**.
- Aplicar todos los pares de apriete para el desmontaje del módulo 01, 02 y 04 descritos en este capítulo y en el manual de mantenimiento tarea 70-41-00-850-801-A01. **(VER ANEXO D)**.
- Desmontar el Módulo 01 - Caja de accesorios. Referirse a la Tarea 72-00-61-900-801-A01, **(VER ANEXO E)**.
- Desmontar el Módulo 02 - Compresor. Referirse a la Tarea 72-00-32-900-801-A01. **(VER ANEXO F)**.
- Desmontar el Módulo 04 - Turbina libre. Referirse a la Tarea 72-00-54-900-801-A01. **(VER ANEXO G)**.

3.8 Inspección de 3000 horas al módulo 01

Los procedimientos descritos en el manual de mantenimiento del motor ARRIEL 1B N° X 292 65 452 3, nos da una visita periódica con la tarea N° 05-20-02-200-801-A01 . **(VER ANEXO H)**, de una inspección de carácter obligatoria a las 3000 horas, al a ver cumplido con su tiempo de operación del módulo 01, con tarea recomendada N° 72-61-00-210-801-A01, que nos dice investigar anomalías en el módulo 01 del motor.

3.8.1 Verificación del módulo 01 - Caja de accesorios en una inspección de 3000 horas

La tarea descrita consiste en la verificación del Módulo 01 - Caja de accesorios, en una inspección de 3000 horas, nos da las condiciones requeridas para la aplicación del procedimiento de mantenimiento que se deben cumplir, durante las visitas periódicas de 3000 horas, donde se debe realizar las diferentes tareas y con las herramientas de mantenimiento para el efecto. Tarea 70-01-00-950-801-A01 referente a las técnicas corrientes, **(VER ANEXO A)**, pares de apriete ver tarea 70-41-00-850-801-A01, **(VER ANEXO D)**, y ver el desmontaje y montaje del módulo 01 a la tarea 72-00-61-900-801-A01, **(VER ANEXO E)**.

3.8.2 Equipo y material para la inspección de 3000 horas del módulo 01

- Herramientas estándar
 - Llave dinamométrica de 0 N.m a 3 N.m.
- Productos y Consumibles
 - Papel de lija - grano 600.
- Herramientas especiales.
 - Eslinga del motor N° 8819974000.
 - Soporte de ensamblaje modular TM038G001
 - Lámpara eléctrica.

3.8.3 Procedimiento de verificación y control en la inspección de 3000 horas

La tarea del manual de mantenimiento nos brinda los procedimientos de verificación, en una Inspección de 3000 horas del motor ARRIEL 1B, del módulo 01 que corresponde a la caja de accesorios verificando los siguientes pasos:

- Verificar el módulo 01 - Caja de accesorios tras desmontar el módulo 05 - Reductor.



Figura 48 Modulo 01 y módulo 05 Inspección visual

- Asegurarse del correcto estado del eje de potencia (01).



Figura 49 correcto estado del eje de potencia

Asegurarse de la ausencia de marcas de desgaste perceptible en los flancos de las estrías (así como en el piñón de salida del Módulo 05 - Reductor). Enviar a fábrica el módulo 01 en el caso de constatar anomalías.

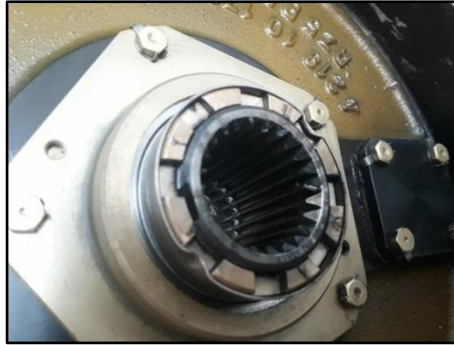


Figura 50 Piñón de salida del módulo 05

- Asegurarse del correcto estado del extremo de los tubos de aceite (02), (03) y (04).



Figura 51 Tubos de aceite del M01

- Lijar las marcas de desgaste perceptibles con papel de lija.
- Conservar el módulo 01 si se eliminan las marcas.
- Sustituir el módulo 01 si las marcas siguen siendo perceptibles.
- Asegurarse del correcto estado de los tubos de aceite (02), (03) y (04).
- Asegurarse de la ausencia de deformación en los tubos de aceite. Si un solo tubo tiene deformaciones enviar a fábrica el módulo 01.
- Asegurarse del correcto estado del tubo de enlace (08).



Figura 52 Tubo de enlace (08)

- Asegurarse de la ausencia de grietas en el tubo de enlace, en la brida del tubo de enlace
- Asegurarse de la ausencia de ovalización en los orificios de la brida del tubo de enlace que corresponden a los seis pies de centrado del módulo 05 - Reductor.



Figura 53 Inspección de ovalización en el M05

- Asegurarse de la correcta posición de las hojas de resorte (09) (x2).
- Iluminar el interior del tubo de enlace con una lámpara eléctrica.
- Asegurarse de la correcta posición de los anillos retenedores de los tubos (02), (03) y (04) en las hojas de resorte (09) (x2).

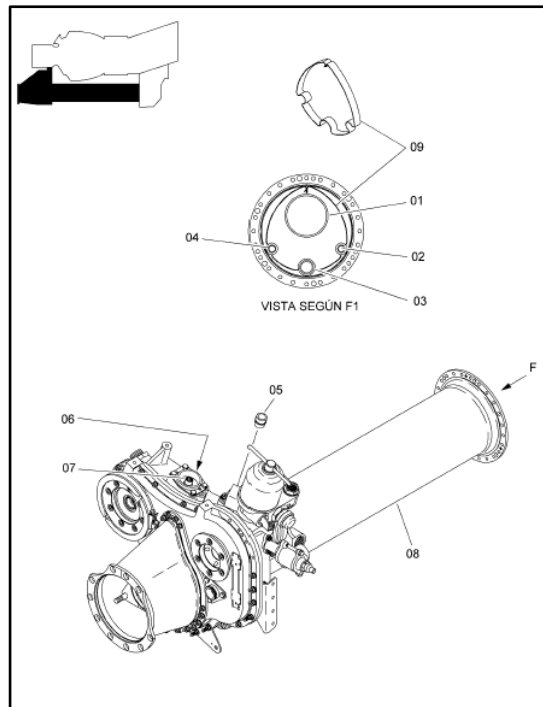


Figura 54 Verificación del módulo 01

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2006)

- Asegurarse del correcto cierre de las hojas de resorte y del pasador de posición en la ranura; y los extremos de la hoja de resorte deben estar en un mismo plano horizontal y vertical. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2006).

Luego del procedimiento de inspección en el módulo 01 caja de accesorios se sugiere aplicar la subtarea 72-61-00-210-002-A01 (**VER ANEXO I**), luego instalar el Módulo 01 - Caja de accesorios. Referirse a la Tarea 72-00-61-900-801-A01, (**ANEXO E**).

3.9 Inspección de 3000 horas al módulo 02

Los procedimientos descritos en el manual de mantenimiento del motor ARRIEL 1B N° X 292 65 452 3, nos da una visita periódica con la tarea N° 05-20-02-200-801-A01, (**VER ANEXO H**), de una inspección de carácter obligatoria a las 3000 horas, de a ver cumplido con su tiempo de operación del módulo 02, con la tarea que nos dice investigar anomalías en el módulo 02 del motor e inspeccionar la parte intermedia del módulo 02.

3.9.1 Verificación y control del módulo 02 a las 3000 horas

La tarea 72-32-00-280-803-A01 descrita corresponde a la verificación intermedia del módulo 02 – Compresor, las condiciones requeridas para la aplicación del procedimiento de mantenimiento.

Aplicar íntegramente la verificación del módulo 02 - Compresor desmontado, esta tarea nos da la información para la verificación y control del módulo 02 desmontado, nos da las condiciones requeridas para la aplicación del procedimiento de mantenimiento que nos indica:

La subtarea 72-32-00-280-802-A01 descrita a continuación, que nos indica la verificación y control del módulo 02 desmontado, donde nos brinda condiciones requeridas para la aplicación del procedimiento de mantenimiento, como las técnicas corrientes tarea 70-01-00-950-801-A01, **(VER ANEXO A)**, y ver el desmontaje e instalación del módulo 02 a la tarea 72-00-32-900-801-A01, **(VER ANEXO F)**.

Las acciones posteriores a la aplicación del procedimiento de mantenimiento se deben indicar, sobre el dorso de la ficha del Módulo 02, el número de horas del motor y del módulo, adicional el nivel de erosión del compresor axial. Calcular e indicar en la sección “D” de la libreta motor la disponibilidad que queda. (TURBOMECA Groupe SAFRAN, 2008).

3.9.2 Equipos y material para verificación y control del módulo 02

- Herramientas estándar
 - Herramientas estándar de mecánico
 - Juego de limas de aguja dulces
 - Lupa de 10X aumentos.
- Productos y Consumibles
 - Tela esmeril de los números 180 y 240
 - Papel de lija N° 1F et N° 2/0.
- Herramientas especiales

- Un juego de plantillas de control de la erosión de los álabes del compresor axial N° 8814768000
- Plantillas N° 8814768100 (20)
- Juego de calibradores N° 8814768200 (21)
- Calibrador 1 mm (22)
- Calibrador 3 mm (23)
- Plantilla de control de la erosión de los álabes del compresor axial (con pastilla verde llevando la inscripción BPU (*bueno para usar*) N° TM0131G003 (30).

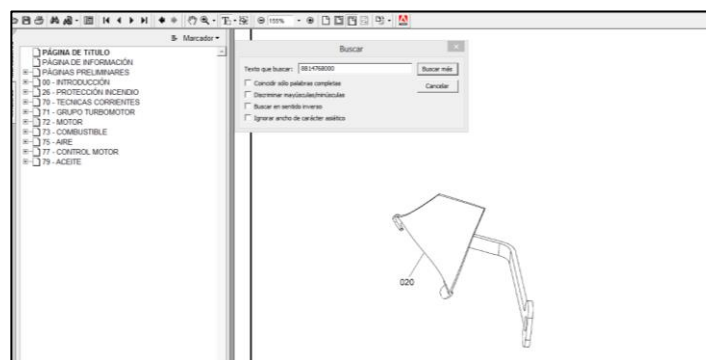


Figura 55 Juego de plantillas de control de la erosión

3.9.3 Procedimiento de verificación del módulo 02 a las 3000 horas

1. Partes fijas del compresor axial

- (a) Buscar las grietas sobre el cárter del compresor axial, no se tolera ninguna grieta.
- (b) Buscar marcas del roce de los álabes, aceptar marcas del roce de los álabes sobre el cárter si su profundidad es inferior o igual a 0,1mm.
- (c) Buscar las marcas de impactos, no puede tolerarse ninguna anomalía que dé lugar a una grieta.
- (d) Arreglar las partes salientes en caso de una anomalía aceptable

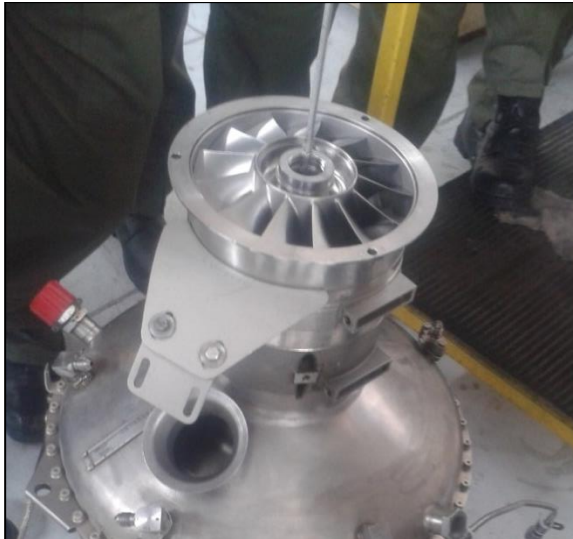


Figura 56 Partes fijas del compresor axial

2. Partes móviles del compresor axial

- a) Buscar las grietas sobre los álabes del compresor axial, no se tolera ninguna grieta, ni ninguna anomalía que pueda generar una grieta.
- b) Buscar anomalías en el borde de ataque de los álabes del compresor axial.

Un número importante de anomalías sobre varios álabes, en combinación con la erosión del compresor, contribuye a la reducir el rendimiento y el margen en el bombeo, en esta inspección se buscan las siguientes anomalías como los impactos, las huellas, los plegados que modifiquen la continuidad del borde de ataque, las picaduras, los dentados.



Figura 57 Búsqueda de anomalías en el M02

Según (TURBOMECA Groupe SAFRAN, 2008), verificar los criterios de aceptabilidad de las anomalías en función de su situación sobre el álabe. Un álabe del compresor axial está dividido en tres zonas.

1. **Zona I:** Donde no se admite ninguna anomalía, en caso de alguna anomalía, devolver el módulo 02 - Compresor en reparación.
2. **Zona II:** Arreglar toda anomalía sobre el borde de ataque del álabe en función de los siguientes criterios:
 - La profundidad P máxima de la anomalía a arreglar es de 1 mm
 - La longitud L de la parte a arreglar debe ser como mínimo igual a 4 veces la profundidad P
 - Los arreglos para atenuar y eliminar las anomalías deben estar cuidadosamente retocados y rayados en el sentido radial y en el de evacuación, de manera que las deformaciones sobre el borde de ataque queden reducidas al máximo
 - Los arreglos deben pulirse radialmente.
3. **Zona III:** Acción de mantenimiento a emprender en función de las anomalías:
 - No efectuar de forma sistemática arreglos de anomalías en las que la relación longitud L a profundidad P sea, al menos, igual a 4. La profundidad P máxima es de 2 mm.
 - Se admiten anomalías no arregladas en un número no limitado de álabes.



Figura 58 Zona III del álabe del compresor axial

- Efectuar un arreglo en anomalías cuya relación entre longitud L y profundidad P sea inferior a 4. La profundidad P máxima es de 2 mm.
- Arreglar las anomalías eventuales encontradas en la Zona III cualquiera que sean los valores de estas anomalías en caso de arreglo de anomalías en la zona II.
- La longitud L de la parte a retocar debe ser al menos igual a 4 veces la profundidad P.

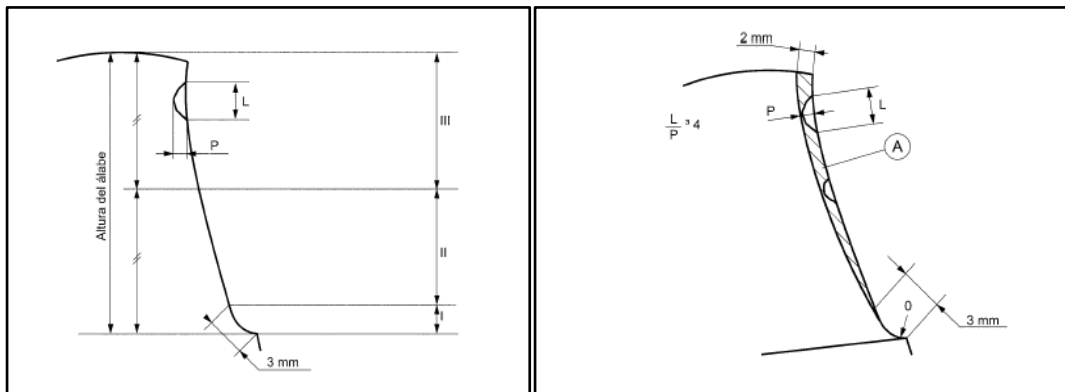


Figura 59 Zonas de los álabes del compresor axial

- Los arreglos para atenuar y eliminar las anomalías deben estar cuidadosamente retocados y rayados en el sentido radial y en el de evacuación del aire, de manera que las deformaciones sobre el borde de ataque queden reducidas al máximo.
- Los arreglos deben pulirse radialmente. (TURBOMECA Groupe SAFRAN, 2008).



Figura 60 Alabes del estator

3.9.4 Procedimiento de control con la herramienta N° 8814768000



Figura 61 Herramienta de control de la erosión N° 8814768000

- 1 Enfrentar el juego de plantillas (20) al cono de entrada de aire.
- 2 Mantener el sector graduado contra el borde de ataque del álabe a controlar.



Figura 62 plantilla de control de erosión

- 3 Determinar el valor del desgaste mediante uno de los dos calibres (22) o (23) haciéndolos pasar ente el sector graduado y el borde de ataque del álabe.



Figura 63 uso de la plantilla y calibrador

Límites de la erosión a ser aplicados:

- 1 mm en el sentido del trazo que separa el sector A del sector B (calibre (22), color amarillo).
- 3 mm en el sector D (calibre (23), color blanco), devolver el Módulo 02, en reparación en caso de erosión fuera de la tolerancia.

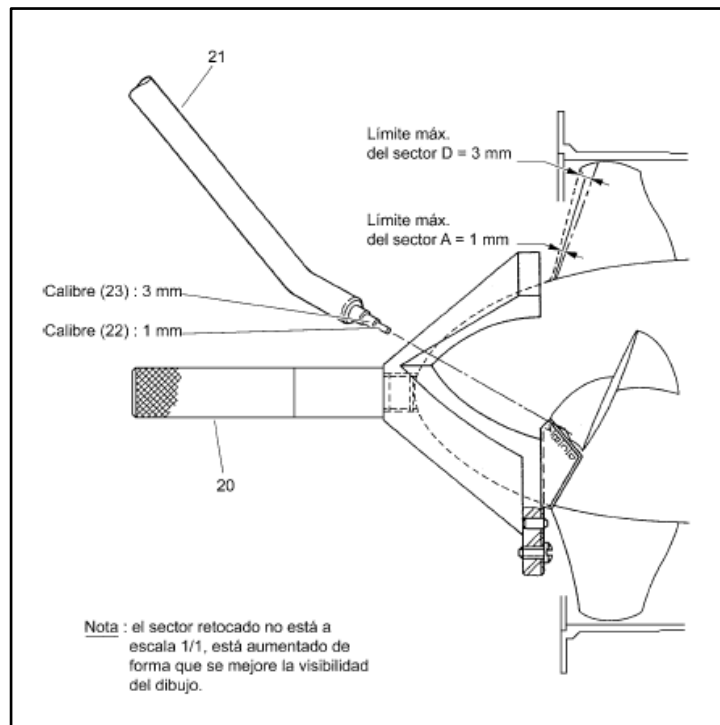


Figura 64 Límites de la erosión a ser aplicados

Fuente: (TURBOMECA Groupe SAFRAN, 2008)

3.9.5 Procedimiento de control con la herramienta N°TM0131G003 ó N°TM0131G004

Enfrentar la plantilla de control de la erosión (30) de los álabes del compresor axial sobre el extradós del álabe del compresor axial del módulo 02 a controlar. Colocar respectivamente los pasadores de posición (A y B) contra el buje del compresor axial.



Figura 65 plantilla de control de la erosión (30)

El pasador de posición (B) debe estar en apoyo contra el buje del compresor axial y el borde de salida (C) del álabe a controlar, y después efectuar un esfuerzo de tracción, se debe llevar a cabo la operación tres veces para confirmar el valor de la erosión. En todos los casos, es obligatorio obtener los tres puntos o zonas de contacto indicados más arriba, se debe llevar a cabo el control sobre todos los álabes. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2007).



Figura 66 Herramienta N°TM0131G003

Se debe anotar el valor de la erosión especificando:

- La zona involucrada (zona I - II - III)
- El límite alcanzado en relación con el punto de referencia de la herramienta (primera, segunda o tercera marca), desmontar el módulo 02 si se comprueba la erosión.
- Al pie del álabe (zona I)
- Desde la aparición de la zona roja de la herramienta.

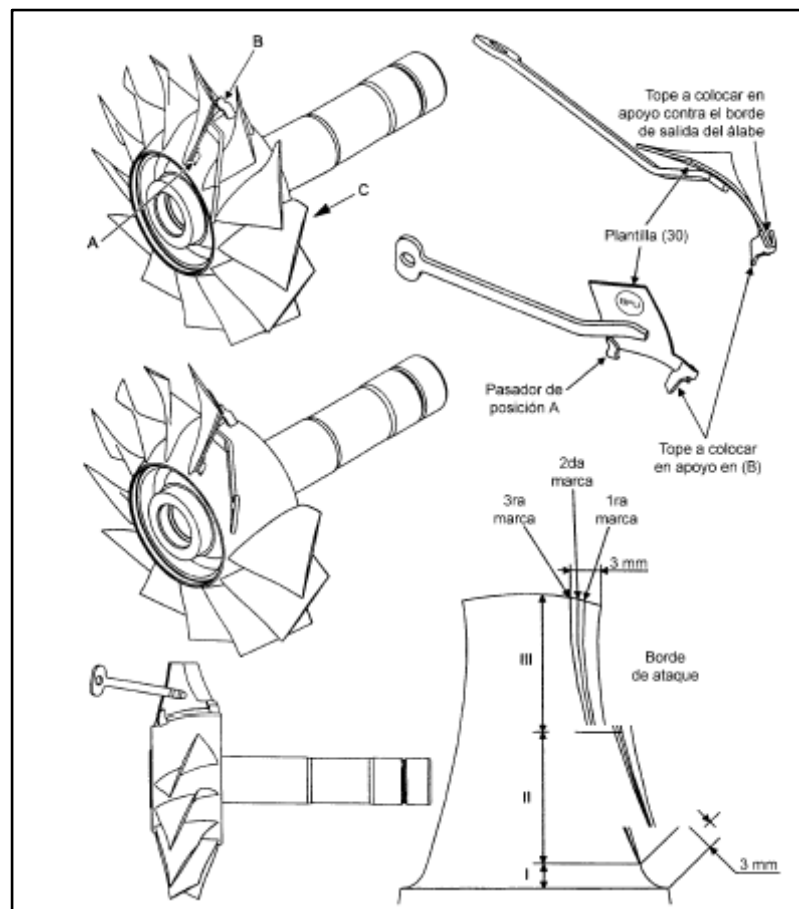


Figura 67 Procedimiento de control de la erosión

Fuente: (TURBOMECA Groupe SAFRAN, 2008)

Verificación de los cárteres

Inspeccionar los cárteres, principalmente las bridas anteriores y posteriores a lo largo de los cordones de soldadura y alrededor de las almohadillas, no se admite ninguna grieta. Si aparece una grieta, devolver el módulo 02 a TURBOMECA, las marcas de toques de los álabes del

compresor axial en su encastre pueden aceptarse si su profundidad es inferior o igual a 0,1 mm. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2007).



Figura 68 Verificación de los cárteres

Verificación de la tapa del compresor

No se admite ninguna grieta. Si existe alguna devolver el módulo a la casa fabricante, e inspeccionar en particular los bordes de las luminarias, marcas de toque ligeros se aceptan, se recomienda efectuar un pulido ligero.



Figura 69 Cono de la entrada de aire del M02

Si las anomalías constatadas no se corresponden con las anteriormente descritas, contactar con TURBOMECA. Acciones a emprender tras la aplicación del procedimiento de mantenimiento (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2007).

Al finalizar la Inspección de 3000 horas instalar el módulo 02 – Compresor, referirse a la tarea 72-00-32-900-801-A01, **(VER ANEXO F)**.

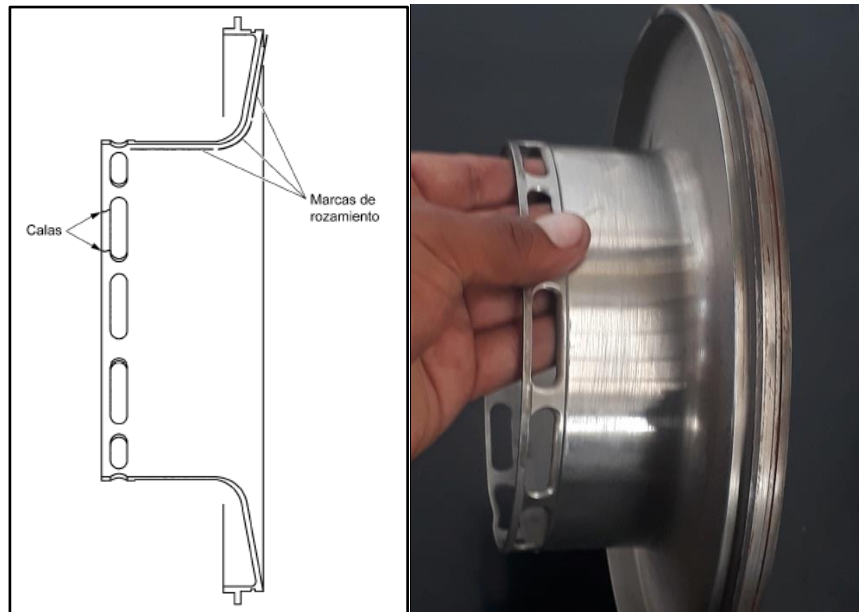


Figura 70 Marcas de rozamiento del módulo 02

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2007)

3.10 Inspección de 3000 horas al módulo 04.

Los procedimientos descritos en el manual de mantenimiento del motor ARRIEL 1B N° X 292 65 452 3, nos da una visita periódica con la tarea N° 05-20-02-200-801-A01, **(VER ANEXO H)**, de una inspección de carácter obligatoria a las 3000 horas, de a ver cumplido con su tiempo de operación del módulo 04, que nos dice investigar anomalías en el módulo 04 del motor e inspeccionar la parte intermedia del módulo 04 correspondiente a la turbina libre.

La tarea descrita consiste en la verificación del Módulo 04 a las 3000 horas, nos da las condiciones requeridas para la aplicación del procedimiento de mantenimiento que se deben cumplir, durante las visitas periódicas, donde se debe realizar las diferentes tareas y con las herramientas de mantenimiento para el efecto y la tarea 70-01-00-950-801-A01, **(VER ANEXO A)**, y el desmontaje y montaje del módulo 01 a la tarea 72-00-54-900-801-A01, **(VER ANEXO G)**.

3.10.1 Equipos y material para verificación del M04 a las 3000 horas

- Herramientas estándar.
 - Herramientas estándar de mecánico
 - Lámpara eléctrica
 - Pincel
 - Espejo.
- Productos y consumibles (ninguno).
 - Disolvente clorado, tricloroetano
 - Esmeril.
- Herramientas especiales
 - Eslinga del motor N° 8819974000.
 - Soporte de ensamblaje modular TM038G001.

3.10.2 Procedimiento de verificación

Según la tarea 72-54-00-210-803-A0, de mantenimiento a las 3000 horas recomienda, efectuar las operaciones de inspección del módulo 04 desmontado, efectuar las operaciones de mantenimiento complementarias siguientes:

- Desmontaje del conjunto turbina (disco y palas), para inspección de los pies de palas de turbina o sustitución del conjunto turbina (disco y palas) por un conjunto turbina (disco y palas) después de inspección.
- Se debe llevar a cabo esta inspección en un Centro de Reparación aprobado por TURBOMECA.
- Sustitución del cojinete de rodillos de ser necesario.

La tarea 72-54-00-210-802-A01, de verificación del módulo 04 desmontada en la inspección de 3000 horas. Se procede a realizar el procedimiento de verificación

Parte fijas del módulo 04, asegurarse de la integridad de la pared externa del cárter y de la ausencia de grietas, una sola grieta es aceptable

- Si L es inferior o igual a 8 mm, mantener el módulo 04 - Turbina libre en servicio y vigilar la posible evolución cada 50 horas de funcionamiento.
- Si L es superior a 8 mm, enviar a la fábrica el módulo en el caso de constatar anomalías.

Asegurarse de la integridad de los brazos de soporte y por el interior de la tobera de salida.

- Limpiar los tres brazos de soporte mediante un pincel y un disolvente clorado.
- Secar mediante aire comprimido seco.



Figura 71 Brazos del soporte parte interna

Asegurarse de la ausencia de grietas en los brazos de soporte, una sola grieta es aceptable:

- Si L es inferior o igual a 10 mm sin ramificaciones y sin riesgo de estallido, mantener el módulo 04 en servicio y vigilar la posible evolución cada 50 horas de funcionamiento.
- Si L es superior a 10 mm, enviar a la fábrica el módulo.



Figura 72 Brazos de soporte del módulo 04

Asegurarse de la integridad de los soportes del palier, el anillo de blindaje está soldado mediante 6 cordones en la periferia del soporte del palier. Asegurarse de la ausencia de grietas radiales y tangentes al borde de los cordones, una sola grieta es aceptable:

- Si L es inferior o igual a 6 mm en todos los cordones aceptable
- Si L es inferior o igual a 8 mm en un máximo de tres cordones, enviar a la fábrica el módulo 04.



Figura 73 Suelda del módulo 04

Asegurarse de la integridad del orificio de drenaje y de la ausencia de grietas desde el orificio de drenaje, una sola grieta, si L es inferior o igual a 10 mm, enviar a la fábrica el Módulo 04.

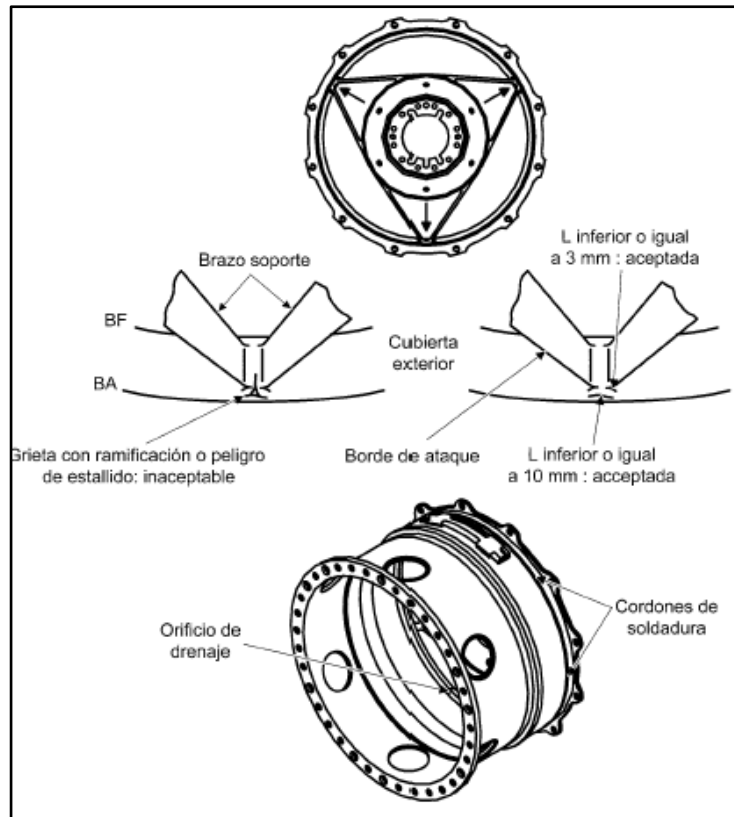


Figura 74 Verificación y control de la turbina libre

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2007)

Parte móvil del módulo 04 - Turbina libre, recomienda hacer girar manualmente la turbina libre en busca de la ausencia de rozamiento y de la ausencia de ruido anormal (el cliqueteo de los pies de los álabes en sus alojamientos es normal). Enviar a la fábrica el módulo 04 en el caso de constatar anomalías.

Verificar la integridad de los álabes (04) (x27)

- Asegurarse de la ausencia de grietas y de quemaduras en los álabes. Sólo se permite una alteración del revestimiento de los álabes. En caso de más anomalías enviar a la casa fabricante.
- Asegurarse de la ausencia de impactos en el borde de ataque en el tercio del perfil superior. En caso de que la profundidad del impacto es superior o igual a 1 mm enviar a la casa fabricante



Figura 75 Verificación de los álabes de turbina

- Asegurarse de la ausencia de impactos en el resto del perfil, si la profundidad del impacto es superior o igual a 0,5 mm, enviar el módulo a la fábrica.
- Asegurarse de la ausencia de impactos en el radio de conexión perfil de álabe y plataforma, si la profundidad del impacto es superior o igual a 1 mm, enviar a la fábrica.



Figura 76 Búsqueda de impactos en el módulo 04

- Asegurarse de la ausencia de impactos en el borde de salida en el tercio del perfil superior y de la ausencia de impactos en el resto del borde de salida. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2007).

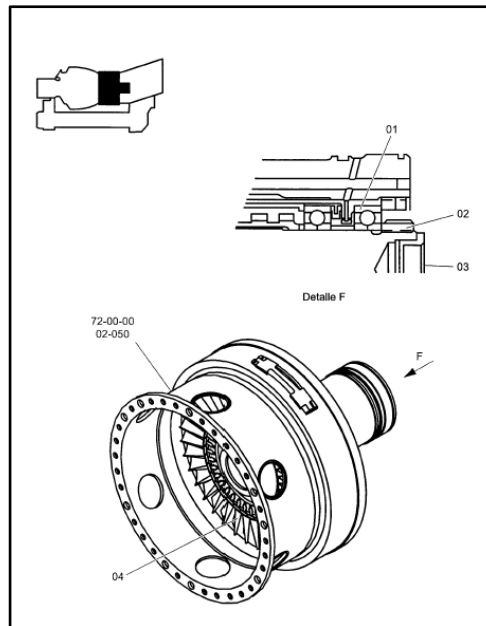


Figura 77 Módulo 04 álabes (04) (x27)

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2007)

Verificar las marcas en la parte superior de los álabes, asegurándose que la marca es inferior o igual a 2/3 del borde de salida, se recomienda retocar con el esmeril el alojamiento de la turbina en el punto de la marca y mantener el módulo 04 en servicio.

Verificar la integridad del rodamiento (01) en la parte posterior del módulo 04, asegurarse de la ausencia de grietas, de roturas y del perfecto estado de los rodillos, en caso de anomalías enviar a la fábrica.



Figura 78 Rodamiento (01) del módulo 04

Verificar la integridad de la tuerca de la izquierda (02) en la parte posterior de la turbina libre.



Figura 79 Inspección de la tuerca (02)

- Hacer desaparecer mediante cepillo o disolvente el depósito oscuro, si es necesario.
- Asegurarse de la ausencia de marcas evidentes de desgaste (huellas perceptibles).
- Asegurarse de la ausencia de corrosión en las acanaladuras.
- Asegurarse de la ausencia de escamado en las acanaladuras, enviar a la fábrica el módulo 04 en el caso de constatar anomalías.

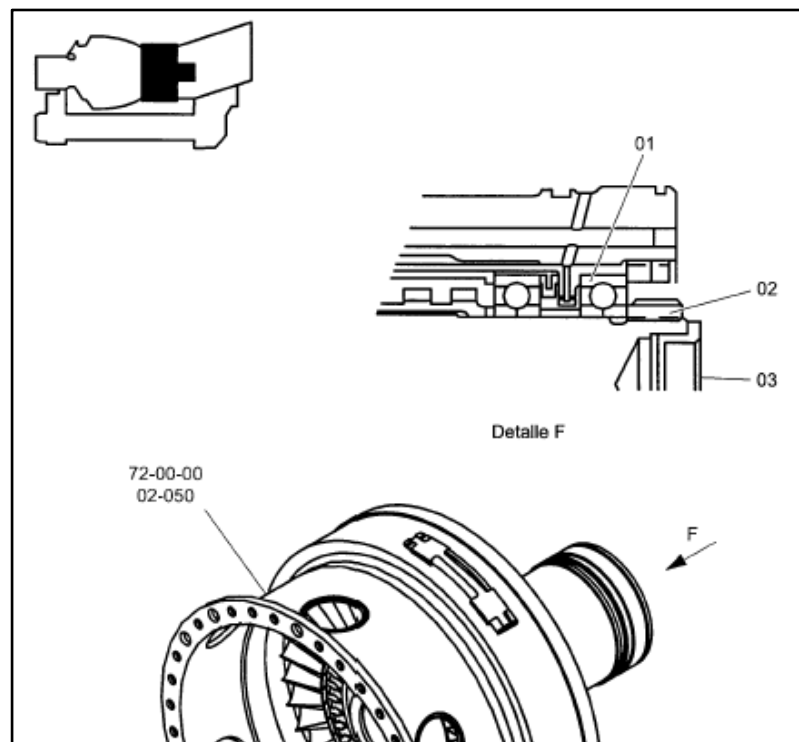


Figura 80 la tuerca de la izquierda (02)

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2007)

Verificar la integridad del tope (03) en el extremo del árbol de la turbina libre, la presencia de ligeras marcas brillantes regulares en la periferia de la cubeta del tope (03) es norma. Asegurarse de la ausencia de grietas, de ruptura en el tope y que el desgaste del tope es inferior o igual a 0,04 mm, si se allá anomalías enviar a la casa fabricante.



Figura 81 Inspección del tope (03)

Verificar la integridad del rotor fónico, asegurarse de la ausencia de marcas de contacto entre los rotores y el captor; asegurándose de la ausencia de partículas metálicas, enviar a la fábrica el módulo 04 en el caso de constatar anomalías. (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005).

Acciones posteriores a la aplicación del procedimiento de mantenimiento. Instalar el Módulo 04 - Turbina libre. Referirse a la Tarea 72-00-54-900-801-A01 (**ANEXO G**).



Figura 82 Inspección del M04 y sus herramientas

3.11 Implementación de las herramientas especiales

Con la adquisición de la nueva flota de helicópteros Ecureuil AS 350 Fenec, que llegan equipados con motores ARRIEL, de casa fabricante TURBOMECA, también llegan herramientas especiales para su mantenimiento e inspecciones de los diferentes componentes y módulos que posee este motor, muy difíciles y costosos de adquirirlos desde la misma casa fabricante.

Este proyecto está centrado en implementar dos herramientas especiales, importantes para realizar los trabajos de mantenimiento, cabe recalcar que las herramientas especiales que son la eslinga motor y el soporte de ensamblaje modular, fueron enviados uno de cada uno desde la casa fabricante en Francia, y son usados actualmente en todas las inspecciones de desmontaje del motor ARRIEL.

Las herramientas especiales enviadas desde la casa fabricante en Francia están adaptadas con los materiales existentes en Ecuador, diseñadas y revisadas con los cálculos respectivos de peso y tensión a ser soportado de cada una de las dos herramientas especiales de mantenimiento y certificadas por el Sr. Ing. Héctor Geovanny Lasluisa Naranjo técnico de mantenimiento aeronáutico en la Brigada de Aviación del Ejército.

3.11.1 Eslinga motor

La eslinga motor con número de parte 8819974000 se encuentra descrita, en el catálogo de herramientas de mantenimiento N° X292658023, del motor ARRIEL 1B, cuya función es elevar el motor y trasladarlo hacia otro lugar, como por ejemplo, desmontar e instalar el motor en un soporte o en el mismo helicóptero, para realizar cualquier trabajo en motor, se tomó como referencia para su implementación la eslinga motor que fue enviada con el motor desde la casa fabricante TURBOMECA (Francia) y adaptada a los materiales existentes en Ecuador, actualmente solo existe una en el taller de motores del CEMAE. **(VER ANEXO J).**

Tabla 25

Eslinga motor del catálogo de herramientas de mantenimiento

Designación	Eslinga motor
Referencia al catálogo.	8819974000
Descripción	Herramienta que permite la manutención del motor completo por medio de un polipasto. Es necesario para las operaciones de desmontaje, montaje y reemplazo del Módulo 01 - Caja de accesorios más transmisión en posición horizontal.

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005-2008).

La eslinga motor para su funcionamiento, el que consiste en levantar y bajar el grupo turbomotor, para las diferentes prácticas de mantenimiento, está diseñado a las medidas específicas del fabricante (**VER ANEXO J**) y se compone de:

Un travesaño de iza (20) que soporta el peso del motor, de 126 kg (277 lbs.), acorde a la versión de cada motor, esto puede variar con una carga máxima de 150kg (330 lbs.), con un espesor de 6 mm apto para soportar las cargas axiales del motor.

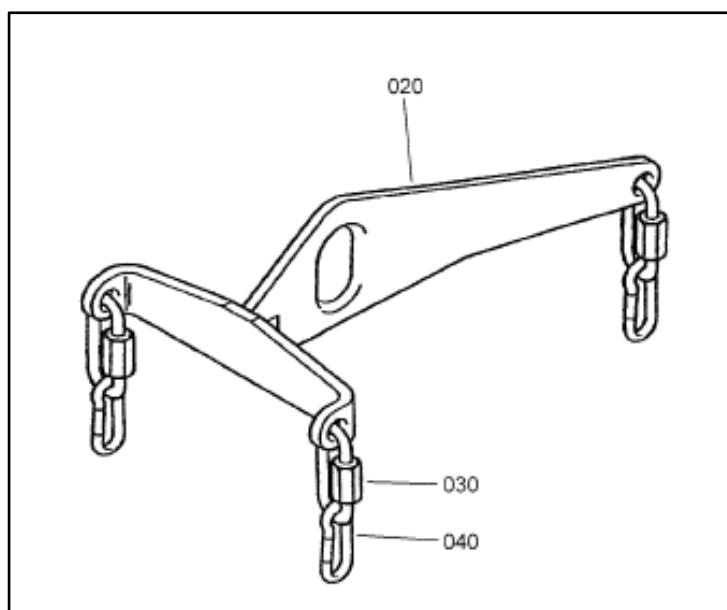


Figura 83 Eslinga motor

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005-2008)

Esta elaborado de acero dulce, según la norma UNE EN 10020:2001 define al acero como aquel material en el que el hierro es el elemento predominante, el contenido en carbono es, generalmente inferior al 2% y contiene además a otros elementos.

Aceros semidulces: El porcentaje de carbono está en el entorno del 0,35%. Tiene una resistencia última a la rotura de 55-62 kg/mm² y una dureza Brinell de 150-170 HB. Estos aceros bajo un tratamiento térmico por templado pueden alcanzar una resistencia mecánica de hasta 80 kg/mm² y una dureza de 215-245 HB, son buenos para la fabricación de ejes, elementos de maquinaria, piezas resistentes y tenaces, pernos, tornillos, herrajes. (ingemécánica, 2019).



Figura 84 Travesaño de iza

Posee tres anillo rápidos (030), que se encargan de soportar el cuerpo del travesaño dividiendo su carga en tres puntos, cada anillo rápido de la eslinga motor soporta un peso máximo de 800 kg (1760 lbs.), a una medida de diámetro de 7.9 mm (5/16”), con una longitud total del anillo rápido 76.2 mm (3”), estos anillos son fabricados en acero al carbono galvanizado.



Figura 85 Anillo rápido

Para su enganche al motor, posee tres ganchos de tipo mosquetón (040), que facilita la operación de izado del motor, ya que este motor ARRIEL 1B cuenta con tres orificios, ubicados en la parte superior central del motor dividiendo a si su peso total, para su posterior acople de los ganchos tipo mosquetón, estos ganchos son fabricados en acero al carbono galvanizado, con un límite de carga de 350 kg (770 lbs.), en un espesor de 9.5 mm (3/8") cada uno de los ganchos y una longitud de 101.6 mm (4") tomada del extremo a extremo del gancho.

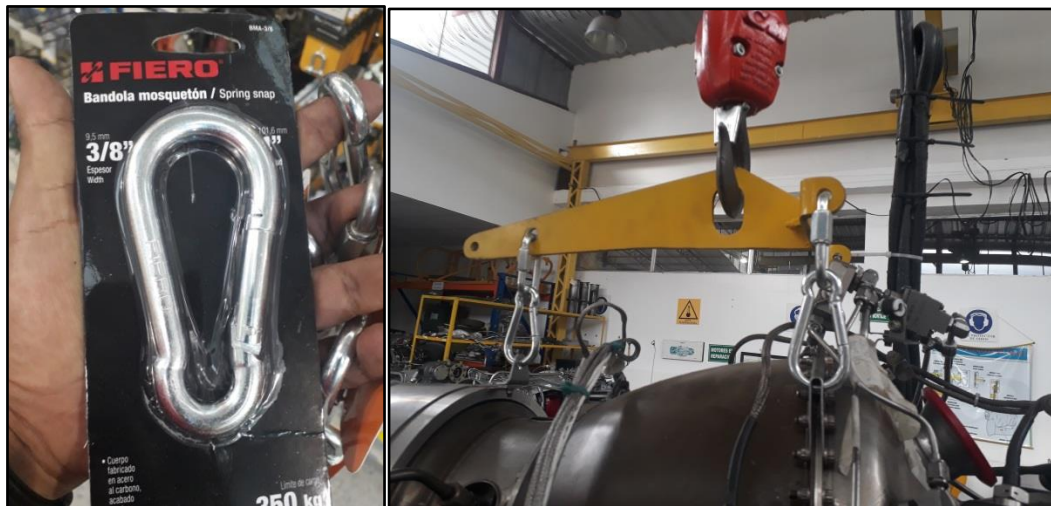


Figura 86 Gancho tipo mosquetón (x3)

3.11.2 Soporte de ensamblaje modular

El soporte de ensamblaje modular con número de parte TM0038G001 se encuentra descrita, en el catálogo de herramientas especiales N° X292658023, del motor ARRIEL 1B, cuya función es soportar el peso bruto del motor que son de 126 kg (277 lbs.), acorde a la versión de cada motor, esto puede variar con una carga máxima de 150kg (330 lbs.).

Permite realizar prácticas de mantenimiento e inspecciones detalladas en el manual de mantenimiento, tal como ensamblaje, desmontaje por módulos de todo el motor, a su vez permite el traslado del motor dentro de los talleres de motores del CEMAE.

El soporte de ensamblaje modular, se tomó como referencia para su implementación, el soporte que es utilizado y que fue enviada con el motor desde la casa fabricante TURBOMECA (Francia) y adaptada a los materiales existentes en Ecuador, actualmente solo existe una en el taller de motores del CEMAE, fue diseñada y aprobada por el Sr. Ing. Héctor Geovanny Lasluisa Naranjo técnico de mantenimiento aeronáutico en la Brigada de Aviación del Ejército (**VER ANEXO K**).

Tabla 26

Soporte de ensamblaje modular

Designación	Soporte de ensamblaje modular
Referencia al catálogo.	TM0038G001
Descripción	Herramienta que permite montar y mantener el motor durante las operaciones de desmontaje, montaje y reemplazo de los módulos. Puede estar en posición horizontal o vertical. Posee dos brazos permiten mantener la herramienta en posición vertical.

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005-2008)

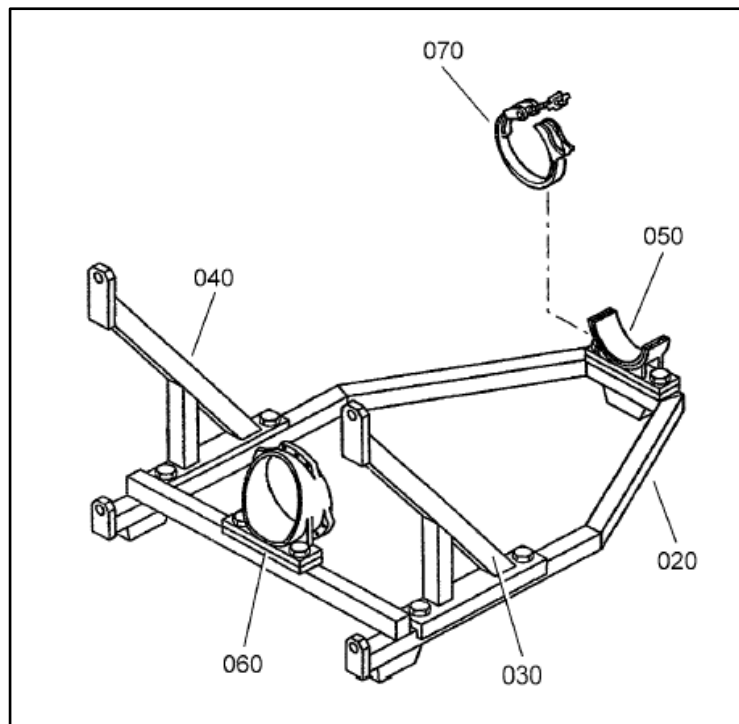


Figura 87 Soporte de ensamblaje modular

Fuente: (TURBOMECA, Groupe SAFRAN, 2005-2008)

El cuerpo principal del soporte es de construcción, en su mayoría de tubo de acero estructural con forma rectangular, con norma de fabricación NTE INEN 2415; Calidad SAE (Society of Automotive Engineers) J 403 1008 o conocido con la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) A-500, que es un acero bajo en carbono; planchas aleadas templadas y revenidas con alta resistencia a la tracción, adecuadas para ser soldadas con algún material de aporte como electrodos.

Óptimo para el trabajo de herramienta a ser usada, disponible en presentación de acero negro y galvanizado, se encuentra en espesores de 1,2 a 3mm y se despacha en largos estándar de 6 metros, sus usos son variados como en el montaje de estructuras, herrería, columnas de acero. (DIPAC, 2016)

Este acero de bajo contenido de carbono, tiene un porcentaje de entre 0.08 hasta 0.25% en peso de carbono, son blandos pero dúctiles (capacidad de moldearse en alambre e hilos sin romperse), muy trabajables (fácilmente deformables, cortables, maquinables, soldables), adecuados para la

industria automotriz, elementos estructurales de edificios y puentes, corazas de barcos entre otras aplicaciones. (MIPSA, 2018).

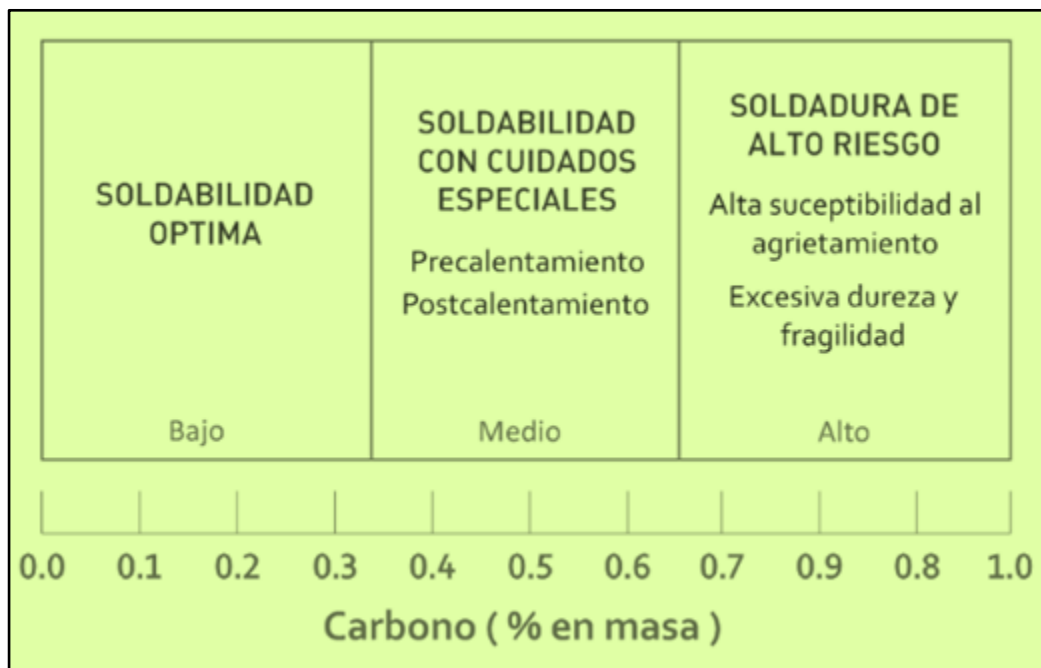


Figura 88 Efecto del carbono en la soldabilidad del acero

Fuente: (MIPSA, 2018)

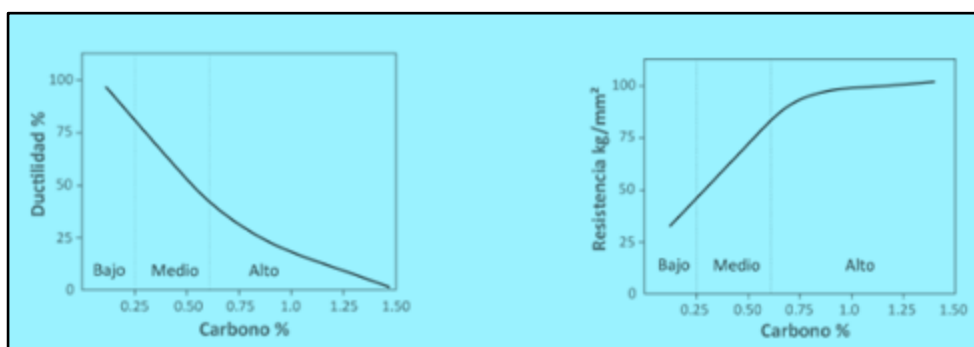


Figura 89 Diagrama de resistencia y ductilidad

Fuente: (MIPSA, 2018)

El soporte de ensamblaje modular está compuesto por un chasis (020), que es la parte central del soporte, que está fabricado de acero al carbono, de tubo rectangular de 20 x 40 mm (3/4" x 1 1/2")de diámetro, con un espesor máximo de 3 mm, con una longitud de 852 mm, por el ancho 550 mm, en una forma trapezoidal, que se encarga de soportar el peso máximo del motor según sea la versión de 126 kg (277 lbs.), con un límite de peso máximo de 130 kg. (286lbs).

Las especificaciones son: norma de fabricación según DIPAC NTE INEN 2415; Calidad SAE J 403 1008, fácil de soldar, cortar, dar forma y maquinar, longitud 6 metros, de diámetro rectangular 20mm x 40mm (3/4" x 1 1/2"), en un espesor máximo de 3mm **(VER ANEXO K)**.



Figura 90 Chasis (20)

Dos brazos (030) y (040), que permiten al soporte colocarse en forma vertical u horizontal, según sea el trabajo de mantenimiento a realizar, construido de, de tubo rectangular de acero estructural laminado al caliente (LAC), presenta una soldadura interna. Son ampliamente utilizados en el mantenimiento industrial, implementos de herramientas, equipos de transporte, entre otras características. **(VER ANEXO K)**.



Figura 91 Dos brazos (030) y (040)

Un soporte trasero (050), que permite el correcto posicionamiento del módulo 01, para su posterior ensamblaje y desmontaje de los cinco módulos, del motor ARRIEL 1B, su fabricación fue tomada del soporte que llegó de la casa fabricante adaptada a los materiales, existentes en Ecuador, para su implementación, es de acero dulce al carbón, de dimensiones, tubo de 5" de diámetro, cortado a limitad en un espesor de 6mm,

Con una placa de fijación perforada, con dos orificios de 10mm a sus extremos, la placa mide 200mm x 50mm, con un espesor de 8 mm en acero dulce, la función de la placa es fijarse al soporte principal, además una abrazadera de apriete que permite que le motor se mantenga estático durante los trabajos de inspección y ensamblaje por módulos.



Figura 92 Soporte trasero (050)

Un soporte delantero (060), que permite el acople de la caja de accesorios, para su posterior ensamblaje y desmontaje del motor por módulos, su diámetro es de 5" con un espesor de 6mm, acoplada con una placa base, perforada con dos orificios a los extremos de 10mm cada uno, en acero dulce al carbono, cuya función es fijarse al soporte principal y al módulo de la caja de accesorios por medio de dos pernos M8.



Figura 93 Soporte delantero (060)

Por experiencia de los técnicos del Centro de Mantenimiento Aeronáutico del Ejército Ecuatoriano (CEMAE), en desmontaje y ensamblaje por módulos del motor ARRIEL 1B , se adaptaron tres ruedas en la parte inferior del soporte, que beneficia el traslado de un lugar a otro, mejorando la disponibilidad de posiciones para realizar un mejor trabajo de mantenimiento, además permite un mejor manejo del soporte, ya que antes empíricamente se usaba varias personas para trasladar el motor del taller a la plataforma donde se encuentran las aeronaves.

Las ruedas son de diámetro 3" de acero al carbono, con llantas de goma que se adhieren al piso, para evitar se resbale en el mismo, son ruedas intercambiables ya que si se llegan a desgastar pueden ser reemplazadas con facilidad, solo aflojando sus cuatro pernos de 1", para soportar 75kg (165lbs.) en cada una de sus ruedas



Figura 94 Ruedas del soporte de ensamblaje

Soporte de ensamblaje modular adaptado a los materiales existentes en Ecuador. Diseñado y certificado por el Sr. Ing. Héctor Geovanny Lasluisa Naranjo técnico de mantenimiento aeronáutico en la Brigada de Aviación del Ejército. **(VER ANEXO K).**



Figura 95 Soporte de ensamblaje modular adaptado en Ecuador

3.12 Análisis económico

El análisis económico está basado en el presente proyecto, desglosando todos sus valores económicos conforme, lo gastado durante todo el desarrollo del proyecto como, infraestructura, materiales, gastos de transportación, alimentación y los imprevistos.

3.12.1 Análisis de gasto del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto, que trata de la inspección de 3000 horas del motor ARRIEL 1B, de sus módulos 01, 02,04 según el manual de mantenimiento de la aeronave, se vio en la obligación de implementar dos herramientas especiales, las cuales generaron gastos como para su implementación y como para el trabajo de mantenimiento generando gastos de principales y secundarios.

3.12.2 Gastos principales

Los gastos principales son los que se generaron durante toda la fase de implementación, de las dos herramientas especiales, para el ensamblaje del motor ARRIEL.

Tabla 27**Gastos principales**

Descripción	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
Eslinga del motor	01	-	-
Travesaño de iza	01	100	100
Anillo rápido	03	10	30
Gancho de mosquetón	03	12	36
Soporte de ensamblaje modular	01	-	-
Chasis	01	120	120
Brazo	02	55	110
Soporte posterior	01	80	80
Soporte delantero	01	110	110
Pintura anticorrosiva 1 Gln. (gris mate)	01	14	14
Pernos 12mm x 60mm	08	0.80	6.40
Pernos 12mm x 40mm	04	0.75	3
Pernos 14mm x 30mm	02	0.50	1
Pernos 10mm x 30mm	12	0.35	4.20
Arandelas auto bloqueantes	26	0.02	0.52
Ruedas de goma	03	4.50	13.50
Grilon de goma	04	7	28
Alquiler de taller	N/A	N/A	120
Electrodos 6011 (1Kg)	N/A	N/A	2.80
TOTAL			779.42

3.12.3 Gastos secundarios

Los gastos secundarios son los que involucran todo lo referente a lo utilizado en insumos de papelería, viáticos para que el proyecto se lleve a cabo, desarrollo y su aprobación en el ámbito estudiantil-legal.

Tabla 28

Gastos secundarios

N°	Detalle	Valor total (USD)
01	Tramites de solicitudes de anteproyecto, desarrollo y graduación	20
02	Elaboración de textos y documentos de revisión de tesis	160
03	Varios (transporte, alimentación, vivienda)	400
TOTAL		580

3.12.4 Costo total del proyecto de grado

La suma de los gastos principales y los gastos secundarios nos brinda el valor total del proyecto.

Tabla 29

Costo total del proyecto de grado

N°	Detalle	Valor total (USD)
01	Gastos principales	779.42
02	Gasto secundario	580
TOTAL		1359.42

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Con la información técnica de los manuales de mantenimiento del motor ARRIEL 1B N° X292654523, se llevó a cabo la inspección de 3000 horas de operación de los módulos M01, M02, M04, como redacta el manual.
- Se evidenció los cinco módulos del motor ARRIEL y la función que cada uno de estos cumple, con la implementación de herramientas especiales para realizar un desmontaje modular del motor.
- Se realizó la inspección de tres de sus cinco módulos con la implementación de una eslinga motor y un soporte de ensamblaje modular, de acuerdo al manual de mantenimiento y el catálogo de herramientas de mantenimiento.

4.2 Recomendaciones

- Para efectuar inspecciones periódicas en el motor ARRIEL 1B, se debe tomar en cuenta la información técnica de los manuales de mantenimiento del motor y del catálogo de herramientas especiales de mantenimiento, para garantizar que el trabajo de mantenimiento sea el adecuado.
- Lo óptimo y adecuado es contar con la herramienta y equipo necesario, para facilitar el trabajo de mantenimiento, más aún cuando del motor depende la operatividad de la aeronave y de su correcta operación.
- Usar en todos los trabajos de mantenimiento del motor y de la aeronave los manuales autorizados por la casa fabricante, así como herramientas especiales para un desmontaje o montaje de algún componente, debido a que en los manuales están descritos todos los pasos a seguir, nada en la aviación es de memoria.

GLOSARIO

Aeronave: Toda máquina que puede sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra.

Aeronavegabilidad: Aptitud técnica y legal que deberá tener una aeronave para volar en condiciones de operación segura, de tal manera que, cumpla con su Certificado Tipo, que exista la seguridad o integridad física incluyendo sus partes, componentes y subsistemas, su capacidad de ejecución y sus características de empleo.

Ciclo (Mec.): Conjunto de procesos que se repiten periódicamente. En el motor esto es el conjunto de las cuatro carreras (o 2 carreras) que completan el proceso de liberación de energía y producción de potencia.

Chiclé: también conocido como surtidor, su misión es acortar el paso máximo de gasolina a través de un orificio, similar a un tornillo hueco de manera que cuando se aumenta dicho diámetro del agujero interno se aumenta el caudal del fluido.

Helicóptero: Aerodino que se mantiene en vuelo principalmente en virtud de la reacción del aire sobre uno o más rotores propulsados por motor, que giran alrededor de ejes verticales o casi verticales.

Mantenimiento: Trabajos requeridos para asegurar el mantenimiento de la aeronavegabilidad de las aeronaves, lo que incluye una o varias de las siguientes tareas: reacondicionamiento, reparación, inspección, reemplazo de piezas, modificación o rectificación de defectos.

Módulo: Se conoce como módulo a una estructura o bloque de piezas que, en una construcción, se ubican en cantidad a fin de hacerla más sencilla, regular y económica. Todo módulo, por lo tanto, forma parte de un sistema y suele estar conectado de alguna manera con el resto de los componentes.

Número Mach: La relación de la velocidad real y la velocidad del sonido.

OVERHAUL (Revisión General): Desarme, limpieza, inspección, reparación y ensayo de una aeronave, célula de aeronave, motor de aeronave, hélice, componente o accesorio, usando métodos, técnicas y prácticas aceptables para la DGAC de acuerdo con datos técnicos aprobados o aceptables para ésta. (Manuales del fabricante), desarrollados y documentados por titulares de certificado de tipo, certificado tipo suplementarios o de aprobaciones de fabricación de partes.

Prototipo: Primer ejemplar de alguna cosa que se toma como modelo para crear otros de la misma clase.

Técnicas Corrientes: M.T.C. (Manual de técnicas corrientes); categoría mantenimiento. Contiene informaciones generales y procedimientos estándares aplicables en todas las aeronaves y escalones de mantenimiento.

Torquímetro: Se denomina torquímetro a la herramienta que se emplea para el ajuste de bulones, tuercas, tornillos y otras piezas. Este instrumento permite la aplicación de una tensión específica: por eso se caracteriza por su precisión.

Variante: Variedad o diferencia entre diversas clases o formas de una misma cosa

Versión: Es el modo que tiene cada sujeto de hacer algo o de referir un mismo suceso o cosa pero de una forma diferente

ABREVIATURAS

- **ASTM:** American Society for Testing and Materials
- **ATA:** Asociación de Transporte Aéreo
- **CEMAE:** Centro de Mantenimiento de la Aviación del Ejército.
- **FADEC:** Full Authority Digital Engine Control, control de motor digital de autoridad total. Sistema que consiste en una computadora digital, llamada controlador electrónico de motor (EEC) o unidad de control del motor (ECU), y sus accesorios relacionados que controlan todos los aspectos del rendimiento del motor de avión.
- **HE:** High Energy, generadores de alta energía.
- **HP:** Horse Power (caballos de poder).
- **I.G.M:** Instituto Geográfico Militar.
- **M01:** Módulo uno
- **r.p.m:** Revoluciones por minuto
- **SAE:** Society of Automotive Engineers
- **Shp:** Shaft Horse Power (fuerza aplicada a la flecha de salida de potencia). Comúnmente este término se utiliza en motores recíprocos y turbohélices que emplean una flecha a donde se encuentra acoplada la hélice, también en helicópteros ya sean de motor de turbina o recíprocos porque también emplean una flecha para impulsar los rotores.
- **TBO:** Time Between Overhauls (tiempo entre overhauls)
- **T.C:** Técnicas corrientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AERO.UPM- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos. (2005). *www.aero.upm.es*. Obtenido de Motores - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos: https://www.aero.upm.es/departamentos/economia/investiga/informe2005/informe_2005_pdf/4_6Industria_Aeroespacial_Motores.pdf
- AERO.UPM.Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos. (04 de Abril de 2011). *aero.upm.es*. Obtenido de *aero.upm.es*: <https://www.aero.upm.es/departamentos/economia/investiga/informe2003/archivos.pdf/4.6.pdf>
- Aeroplans Blaus. (03 de 01 de 2019). <https://www.aeroplans-blaus.com/es/77-filtros-de-aceite>. Obtenido de <https://www.aeroplans-blaus.com/es/77-filtros-de-aceite>: <https://www.aeroplans-blaus.com/es/77-filtros-de-aceite>
- AVIATION. (09 de Enero de 2015). *aviation.stackexchange.com*. Obtenido de *Turbofan*: <https://aviation.stackexchange.com/questions/11586/what-is-a-high-bypass-geared-turbofan-and-why-is-it-so-much-more-efficient>
- Baldwin Filters. (01 de 03 de 2014). *Recomendaciones Técnicas*. Obtenido de *Recomendaciones Técnicas*: <http://www.baldwinfilter.com/es/TechTips201403.html>
- Benson, T. (22 de Octubre de 2015). *NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION Enlace web a NASA.gov*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2018, de *Rockets Parts*: <https://spaceflight systems.grc.nasa.gov/education/rocket/rockpart.html>
- DIPAC. (2016). *DIPAC PRODUCTOS DE ACERO*. Obtenido de <http://www.dipacmanta.com/tubo-estructural-rectangular-negro>: <http://www.dipacmanta.com/tubo-estructural-rectangular-negro>
- EcuRed. (13 de 01 de 2015). *EcuRed*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Sistemas_de_lubricaci%C3%B3n_\(Motores_de_combusti%C3%B3n_interna\)#Filtro_de_Aceite](https://www.ecured.cu/Sistemas_de_lubricaci%C3%B3n_(Motores_de_combusti%C3%B3n_interna)#Filtro_de_Aceite): [https://www.ecured.cu/index.php?title=Sistemas_de_lubricaci%C3%B3n_\(Motores_de_combusti%C3%B3n_interna\)&oldid=2411248](https://www.ecured.cu/index.php?title=Sistemas_de_lubricaci%C3%B3n_(Motores_de_combusti%C3%B3n_interna)&oldid=2411248)
- EUROCOPTER AS350 B, Technical Data. (01 de Octubre de 2009). *global-helicopter-service.com*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de *EUROCOPTER AS350 B, Technical Data*: http://global-helicopter-service.com/wp-content/uploads/2018/04/AS350B3-tech_data_2009-1.pdf

- IES Santa Bárbara. (05 de Mayo de 2008). *IES Santa Bárbara*. Obtenido de Motores a Reacción: <http://iessantabarbara.es/departamentos/fisica/tecnologia/webquest/maquinas/WebMaquinas/html2/motoresareaccion.html>
- ingemécanica. (21 de 01 de 2019). <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>
- JeffreyGroup Brasil. (29 de enero de 2018). *infoaviacao.com*. Obtenido de Ejercito de Ecuador recibe un Helicoptero H125 de Airbus: <https://infoaviacao.com/exercito-do-equador-recebe-u/>
- LA INDUSTRIA AEROESPACIAL. (07 de Noviembre de 2007). *www.aero.upm.es*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de LA INDUSTRIA AEROESPACIAL 2007: <https://www.aero.upm.es/departamentos/economia/investiga/Informe%202007/46Motores.html>
- Manene, L. M. (28 de 07 de 2011). *DIAGRAMAS DE FLUJO: SU DEFINICIÓN, OBJETIVO, VENTAJAS, ELABORACIÓN, FASES, REGLAS Y EJEMPLOS DE APLICACIONES*. Obtenido de DIAGRAMAS DE FLUJO: SU DEFINICIÓN, OBJETIVO, VENTAJAS, ELABORACIÓN, FASES, REGLAS Y EJEMPLOS DE APLICACIONES.: <http://www.luismiguelmanene.com/2011/07/28/los-diagramas-de-flujo-su-definicion-objetivo-ventajas-elaboracion-fases-reglas-y-ejemplos-de-aplicaciones/>
- MIPSA. (01 de Noviembre de 2018). *MIPSA EXPERTOS PROCESANDO METALES*. Obtenido de <https://mipsa.com.mx/dotnetnuke/Sabias-que/Clasificacion-del-acero>: <https://mipsa.com.mx/dotnetnuke/Sabias-que/Clasificacion-del-acero>
- NICOLÁS LARENAS. (22 de Mayo de 2018). *NICOLÁS LARENAS*. Recuperado el 27 de Diciembre de 2018, de Aviación: <https://www.nlarenas.com/2018/05/aviacion-del-ejercito-ecuadoriano-adquiere-un-sikorsky-pzl-m28/>
- Oñate, A. E., & Oñate, A. E. (2005). *Conocimientos del AVIÓN*. España: S.A. EDICIONES PARANINFO.
- Prueba de Ruta. (01 de 01 de 2016). *Pruebaderuta.com*. Obtenido de Prueba de Ruta: <https://www.pruebaderuta.com/filtro-de-aceite-de-motor.php>

- SAFRAN Turbomeca. (Septiembre de 2012). *safran-helicopter-engines*. Obtenido de www.safran-helicopter-engines.com/helicopter-engines/lower-1000-shp/arriel/arriel-2b1: https://www.safran-helicopter-engines.com/sites/turbomeca/files/arriel_2bx_2cx_-_sale_brochure.pdf
- SAFRAN Turbomeca. (Septiembre de 2012). *www.safran-helicopter-engines.com*. Obtenido de https://www.safran-helicopter-engines.com/sites/turbomeca/files/thumbnails/image/arriel_2b.jpg: https://www.safran-helicopter-engines.com/sites/turbomeca/files/thumbnails/image/arriel_2b.jpg
- SAFRAN Turbomeca. (07 de DICIEMBRE de 2014). *www.safran-helicopter-engines.com*. Recuperado el 2018, de PROPULSION SOLUTION: <https://www.safran-helicopter-engines.com/helicopter-engines/lower-1000-shp/arriel>
- Saumeth , E. (26 de Junio de 2018). *El Ejercito del Ecuador recibe su segundo helicopero Ecureuil B3*. Obtenido de infodefensa.com: <https://www.infodefensa.com/latam/2018/06/26/noticia-ejercito-ecuador-recibe-segundo-helicoptero-ecureuil.html>
- Schoeman, C. (03 de Diciembre de 2016). *www.flickr.com/photos*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2018, de Flickr: <https://www.flickr.com/photos/carike/30823686043>
- The Skytamer Archive. (26 de Junio de 2000). *www.skytamer.com*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2018, de The Skytamer Archive- Eurocopter AS 350 B2 Ecureuil: https://www.skytamer.com/Eurocopter_AS_350_B2.html
- ToB. (21 de Diciembre de 2012). *www.takeoffbriefing.com*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de ¿Cómo funciona un motor alternativo? Motor a pistón: <http://www.takeoffbriefing.com/como-funciona-un-motor-alternativo-motor-a-piston/>
- ToB. (05 de Marzo de 2013). *takeoffbriefing*. Obtenido de Transición al turbohélice: <http://www.takeoffbriefing.com/transicion-al-turbohelice/>
- TUBOMECA. (1981). *GENERALIDADES SOBRE LAS TURBINAS DE GAS*. Francia, Bordes: BORDES.
- TURBOMECA Snecma Group. (2000). *Training Manual, ARRIEL 1*. Tarnos-France: BORDES.
- TURBOMECA Groupe SAFRAN. (2008). *Manual de Mantenimiento ARRIEL 1B*. Francia, Francia: BORDES CEDEX.

TURBOMECA, Groupe SAFRAN. (2005). *ARRIEL 1 B MANUAL DE MANTENIMIENTO*. Francia: BORDES CEDEX.

TURBOMECA, Groupe SAFRAN. (2005-2008). *Catálogo de Herramientas de Mantenimiento*. Francia: Bordes Cedex.

TURBOMECA, Groupe SAFRAN. (2006). *Documentación Técnica de Mantenimiento(Descripcion y Funcionamiento)*. Francia: BORDES CEDEX - FRANCIA.

TURBOMECA, Groupe SAFRAN. (2007). *Manual de Mantenimiento TURBOMOTOR ARRIEL 1 B*. Francia: BORDES CEDEX.

Vega, R. (08 de Junio de 2017). *mmop406conalep.wordpress.com*. Obtenido de Mantenimiento de Motores y Planeadores CONALEP Cancun 3: mmop406conalep.wordpress.com/2017/06/08/el-turborreactor/