



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
MOTORES**

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

**TEMA: “INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL
MOTOR LYCOMING O-540-A4E5 DE ACUERDO AL MANUAL
DE MANTENIMIENTO 72-50 Part No. LM-O-540
PERTENECIENTE A LA UNIDAD DE GESTIÓN DE
TECNOLOGÍAS-ESPE”**

**AUTOR:
ERIK FERNANDO JARAMILLO MALES**

**DIRECTOR:
TLGO: ESTEBAN ANDRÉS ARÉVALO RODRÍGUEZ**

LATACUNGA – ECUADOR

2019



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR LYCOMING O-540-A4E5 DE ACUERDO AL MANUAL DE MANTENIMIENTO 72-50 Part No. LM-O-540 PERTENECIENTE A LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS-ESPE”** realizado por el señor **ERIK FERNANDO JARAMILLO MALES**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto, me permito acreditarlo y autorizar al señor **ERIK FERNANDO JARAMILLO MALES** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, Julio del 2019

**Tlgo. Esteban Andrés Arévalo Rodríguez
DIRECTOR DEL TRABAJO**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES**

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **JARAMILLO MALES ERIK FERNANDO**, con cedula de identidad N° 1718137563, declaro que este trabajo de titulación **“INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR LYCOMING O-540-A4E5 DE ACUERDO AL MANUAL DE MANTENIMIENTO 72-50 Part No. LM-O-540 PERTENECIENTE A LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS-ESPE”** 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, Julio del 2019

JARAMILLO MALES ERIK FERNANDO

C.I.: 1718137563



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES**

AUTORIZACIÓN

Yo, **JARAMILLO MALES ERIK FERNANDO** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación, **“INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR LYCOMING O-540-A4E5 DE ACUERDO AL MANUAL DE MANTENIMIENTO 72-50 Part No. LM-O-540 PERTENECIENTE A LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS-ESPE”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, Julio del 2019

JARAMILLO MALES ERIK FERNANDO

C.I.: 1718137563

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo quiero dedicar en primer lugar a mi familia que ha sido y siempre será el pilar más importante en mi vida, a mi padre ya que con su ejemplo de trabajo me ha forjado como una persona capaz de realizar cualquier cosa que me proponga, a mi madre que con sus valores y cariño siempre pude seguir adelante en los momentos difíciles y a mi hermana para que con este ejemplo siempre siga adelante en sus estudios.

En fin, a todos los amigos, maestros y demás personas que me han apoyado y han transmitido parte de sus conocimientos para poder así culminar esta etapa de mis estudios.

JARAMILLO MALES ERIK FERNANDO

AGRADECIMIENTOS

Con este trabajo quiero agradecer a Dios ya que con su bendición todo lo que planeo en este tiempo pude conseguirlo y nunca dejo que me rinda en los momentos más duros. Doy gracias mis padres que con todo su esfuerzo hoy están dejando su mejor herencia en vida que es mi profesión, agradecerles por toda la paciencia, la confianza que siempre me han dado y por todas las comodidades que he recibido de su parte para poder culminar mis estudios.

A mi tutor Andrés Arévalo ya que con su guía y ayuda pude completar este trabajo en el tiempo previsto a pesar de la cantidad de obstáculos que se presentaron en un principio, agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por el tiempo y todos los conocimientos brindados por parte de la institución y de las personas que forman parte de la misma.

Gracias a todos mis amigos y compañeros que confiaron en mí y a los que no también espero que algún día seamos colegas y así expresarles que la gratitud se da cuando se almacena en el corazón y no en la mente.

JARAMILLO MALES ERIK FERNANDO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv

CAPÍTULO I

TEMA

1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Planteamiento del problema	17
1.3 Justificación e importancia.....	17
1.4 Alcance	18
1.5 Objetivos.....	18
1.5.1 Objetivo general.....	18
1.5.2 Objetivos específicos	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema propulsor (motor)	20
2.1.1 Motores de pistón	20
2.2 Ciclos del motor	21
2.2.1 Ciclo cuatro tiempos	22
2.2.2 Ciclo dos tiempos.....	23
2.3 Tipos de motores alternativos.....	24
2.3.1 Motores de cilindros en línea	24
2.3.2 Motores de cilindros horizontales y opuestos	25
2.3.3 Motores en estrella	26
2.4 Partes del motor alternativo	26
2.4.1 Cilindros.....	26
2.4.1.1 Numeración de los cilindros.....	28
2.4.2 Sistema articulado émbolo-biela-manivela	28

2.4.3 Émbolo.....	29
2.4.4 Biela.....	29
2.4.5 Cigüeñal.....	30
2.4.6 Válvulas.....	31
2.4.7 Árbol de levas.....	32
2.4.7.1 Cojinetes.....	33
2.4.8 Cáster.....	33
2.5 Sistema de lubricación.....	34
2.5.1 Distribución de aceite.....	34
2.5.2 Tipos de sistemas de lubricación.....	34
2.5.2.1 Lubricación por presión.....	34
2.5.2.2 Lubricación por salpicadura.....	35
2.5.2.3 Lubricación por spray.....	35
2.5.3 Componentes del sistema de lubricación.....	35
2.5.3.1 Depósito de aceite.....	36
2.5.3.2 Bombas de aceite.....	38
2.5.3.3 Bomba de engranajes.....	38
2.5.3.4 Bomba gerotor.....	39
2.5.3.5 Bomba de scavenge.....	39
2.5.3.6 Válvula de alivio de presión.....	40
2.5.3.7 Filtro de aceite.....	41
2.5.3.7.1 Elementos de filtro.....	43
2.5.3.7.2 Filtración en profundidad.....	43
2.5.3.7.3 Filtración a profundidad parcial.....	43
2.5.3.7.4 Filtración de superficies.....	45
2.5.3.7.5 Filtración de bordes.....	45
2.5.4 Enfriador de aceite.....	46
2.5.5 Medidor de presión de aceite.....	48
2.5.6 Indicador de temperatura del aceite.....	48
2.6 Lubricantes.....	51
2.6.1 Consumo de aceite.....	52
2.6.2 Propiedades y aditivos de los lubricantes.....	52
2.6.3 Viscosidad.....	52
2.6.4 Índice de viscosidad.....	53

2.6.5 Aditivos	54
2.6.6 Clasificación de los lubricantes	54
2.7 Tipos de aceites	56
2.7.1 Aceites minerales	56
2.7.2 Aceites dispersantes	56
2.7.3 Aceites multiviscosidad	57
2.7.4 Aceites sintéticos	58
2.8 Motores Lycoming	59
2.8.1 Identificación	60
2.8.2 Motor Lycoming O-540-A4E5 series	60
2.8.2.1 Descripción	60
2.8.2.2 Cilindros	61
2.8.2.3 Caja del cigüeñal	61
2.8.2.4 Sistema de encendido	62
2.8.2.5 Sistema de combustible e inducción	62
2.8.2.6 Sistema de refrigeración	63
2.8.2.7 Sistema de lubricación	63
2.8.2.8 Designación de números de cilindros	63

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares	64
3.2 Medidas de seguridad	64
3.3 Herramientas y equipos utilizados para el mantenimiento del sistema de lubricación	64
3.4 Procedimientos para el mantenimiento del sistema de lubricación	65
3.4.1 Desmontaje del sumidero de aceite	65
3.4.2 Instalación del tanque de aceite	67
3.4.3 Remoción del filtro de aceite	69
3.4.4 Instalación del filtro	70
3.4.5 Reemplazo de los sellos o empaques de los cubre válvulas	71
3.4.6 Instalación del oil cooler	72
3.5 Ajuste de la presión de aceite	73
3.6 Verificación de ajuste de la presión de aceite	74
3.7 Encendido y operación del motor	75

3.8 Rangos de presión e inspección de fugas	76
3.9 Simbología en diagramas de flujo de análisis	77
3.10 Presupuesto.....	77
3.10.1 Análisis de costos	78
3.10.2 Costos primarios	78
3.10.3 Costos secundarios	79
3.10.4 Costo total del proyecto de grado	79

CAPITULO IV

4.1 Conclusiones	80
4.2 Recomendaciones	80
GLOSARIO	81
BIBLIOGRAFÍA.....	83
ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1 Ciclo cuatro tiempos	22
Figura 2 Ciclo 2 tiempos	23
Figura 3 Motor en línea Ranger L-440	25
Figura 4 Motor con cilindros opuestos	25
Figura 5 Motor con cilindros en estrella	26
Figura 6 Cilindro del motor.....	27
Figura 7 Pistón.....	29
Figura 8 Biela.....	30
Figura 9 Cigüeñal.....	31
Figura 10 Válvulas	32
Figura 11 Árbol de levas	32
Figura 12 Aplicación típica del cojinete de fricción.....	33
Figura 13 Sistema de lubricación de un motor con cilindros opuestos con carter húmedo.....	36
Figura 14 Medidor de cantidad de aceite tipo varilla	37
Figura 15 Reservorio de aceite	38
Figura 16 Bomba de engranajes.....	39
Figura 17 Bomba Gerotor	39
Figura 18 Válvula de alivio	40
Figura 19 Sistema de filtración de flujo completo.....	41
Figura 20 Sistema de filtración bypass	42
Figura 21 Un filtro de profundidad.....	43
Figura 22 Filtro de profundidad parcial	44
Figura 23 Filtro con lata reusable.....	44
Figura 24 Filtro de pantalla	45
Figura 25 Filtro espiral o CUNO.....	46
Figura 26 Valvula de derivacion abierta con aceite frío y cerrada cuando el aceite se calienta.	47
Figura 27 Circuito de puente Wheatstone.....	49
Figura 28 Sensor de temperatura de tipo Radiometro	50
Figura 29 Ilustra cómo un aceite similar puede tener una calificación sae, una calificación de aviación comercial y una calificación militar.	55

Figura 30 Ilustra las características de varios aceites.....	55
Figura 31 Desmontaje del tanque de aceite	65
Figura 32 Inspección de condición del sumidero	66
Figura 33 Restos de impurezas de aceite.....	66
Figura 34 Limpieza superficie bancada de sumidero bloque motor	67
Figura 35 Empaque y sello tanque de aceite.....	67
Figura 36 Empaques adicionales del sumidero	68
Figura 37 Instalación tanque de aceite	68
Figura 38 Remoción filtro de aceite	69
Figura 39 Reemplazo del filtro	69
Figura 40 Soporte del filtro.....	70
Figura 41 Filtro instalado	70
Figura 42 Cubre válvulas	71
Figura 43 Conjunto de balancines	71
Figura 44 Instalación del empaque o sello.....	72
Figura 45 Instalación enfriador de aceite	73
Figura 46 Válvula reguladora de presión de aceite.....	73
Figura 47 Regulación de presión de aceite.....	74
Figura 48 Motor en banco de pruebas	75
Figura 49 Motor en banco de pruebas	76
Figura 50 Indicación presión de aceite	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	78
Tabla 2.....	79
Tabla 3.....	79

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es realizar una inspección del sistema de lubricación del motor Lycoming O-540-A4E5 perteneciente a la Unidad de Gestión de Tecnologías (ESPE), de acuerdo a la tarea de mantenimiento 72-50 del manual de mantenimiento. Identificar las piezas, partes y componentes del sistema de lubricación para así simplificar la tarea a realizar.

El motor LYCOMING tiene unas características principales las cuales se describirán a lo largo del siguiente documento, así como la identificación de partes y componentes por medio de fotografías tomadas del motor, en donde se evidenciará cada una de sus partes conectadas y debidamente armadas en el sistema de lubricación para su pleno funcionamiento.

En este trabajo se integraron varias piezas, que debido al tiempo que tiene este motor, tuvieron que ser reemplazadas para que así el sistema de lubricación funcione sin problema y el motor tenga un rendimiento óptimo para las posteriores prácticas con los estudiantes de la carrera de Mecánica Aeronáutica.

PALABRAS CLAVE:

- Inspección
- Mantenimiento
- Revisión completa
- Manuales

ABSTRACT

This research has as main aim to carry out an inspection of the lubrication system of the Lycoming O-540-A4E5 engine belonging to the Technology Management Unit (ESPE), in accordance with maintenance task 72-50 of the maintenance manual. Identify the parts and components of the lubrication system in order to simplify the task to be performed.

The LYCOMING engine has some main characteristics which will be described throughout the following document, as well as the identification of parts and components by means of photographs taken of the engine, where each one of its connected parts will be evidenced and properly assembled in the lubrication system for its full operation.

In this work were integrated several parts, which due to the time that has this engine, had to be replaced so that the lubrication system runs smoothly and the engine has an optimal performance for subsequent practice with students of the career of Aeronautical Mechanics.

KEYWORDS:

- Inspection
- Maintenance
- Full review
- Manuals



Checked by:

Lic. María Elisa Coque
Jefe Secc. Dpto. Lenguas

CAPÍTULO I

TEMA

“INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR LYCOMING O-540-A4E5 DE ACUERDO AL MANUAL DE MANTENIMIENTO 72-50 Part No. LM-O-540 PERTENECIENTE A LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS-ESPE”

1.1 ANTECEDENTES

Con más de una década de trayectoria el ex-instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, hoy Unidad de Gestión de Tecnologías UGT, ha conyugado a cumplir con efectividad y calidad los objetivos propuestos por la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, al posesionarse de sólida formación académica, autoridades personal docente y administrativo de alto nivel han entregado a la sociedad los mejores profesionales adentrándose en el progreso permanente de la institución, para que los estudiantes que elegimos la formación tecnológica como profesión nos sentimos orgullosos del nivel alcanzado.

La Unidad de Gestión de Tecnologías UGT, no ha descuidado el mínimo detalle pues cuenta con personal docente altamente capacitado en cada una de las asignaturas que se dicta en las diferentes especialidades, además cuenta con laboratorios, talleres, aeronaves escuela que permiten complementar la educación teórica con la práctica.

A partir de julio del 2014 Unidad de Gestión de Tecnologías UGT tiene el privilegio de ser el único Centros de Instrucción Aeronáutica Civil (CIAC) en el país, certificado por las DIRECCIÓN GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL bajo la parte 147 de la RDAC permiso destinado al perfeccionamiento de habilidades y destrezas de los estudiantes en este ámbito.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Carrera de Mecánica Aeronáutica de la Unidad de Gestión de Tecnologías-ESPE cuenta con laboratorios, talleres y aeronaves escuela para la instrucción a los estudiantes, relacionados con los temas generales y específicos sobre aeronáutica, desarrollando las actitudes y aptitudes técnicas a los futuros profesionales de la aviación civil.

Los talleres y laboratorios del área de propulsión de motores alternativos cuenta con varias unidades de potencia, las cuales no se encuentran en óptimas condiciones para una adecuada instrucción teórica y operacional, estas unidades son de configuración horizontal de cuatro cilindros opuestos un motor muy común en la aviación menor o de entrenamiento, se evidencia en el taller que un motor funcional de seis cilindros opuestos con capacidad de operación sería factible para mejorar el aprendizaje en los estudiantes.

La implementación de material, componentes o máquinas funcionales como un motor alternativo de seis cilindros con una cabina de mando para ejecución de tareas de mantenimiento, inspecciones y chequeos operacionales aporta al método de enseñanza práctico que la carrera implementa o refuerza a sus estudiantes y docentes elevando el nivel académico en las asignaturas relacionadas sobre los motores alternativos.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE es considerada como uno de los mejores centros de Educación Superior a nivel nacional e internacional, por esta razón debe proporcionar instalaciones y material didáctico que ayuden a mejorar la formación de profesionales. El presente trabajo contribuirá a mejorar el proceso de inspección y servicio del sistema de lubricación de los motores alternativos de seis cilindros, además se implementará el motor y una cabina de mando para realizar chequeos operacionales con procedimientos que se realicen de manera eficiente y segura.

Al realizar procedimientos como la inspección y servicio del sistema de lubricación, se logra preservar la vida útil del motor y sus componentes, verificando el buen estado del motor brindando confianza al realizar prácticas tutoriales de corrida de motores e identificación de componentes internos y externos del motor.

Este trabajo brindará ayuda y enseñanza, de forma teórica como práctica en conocimientos de inspección y servicio del sistema de lubricación de los motores alternativos, esto les permite obtener experiencia y habilidad en tareas técnicas, de esta forma los estudiantes van a obtener un mejor desenvolvimiento en sus prácticas pre profesionales y posteriormente como técnicos en aviación, aplicando los conocimientos adquiridos en clases con sus respectivas prácticas.

1.4 ALCANCE

El presente proyecto tiene como finalidad brindar ayuda práctica y teórica de procedimientos y técnicas de mantenimiento aplicadas al sistema de lubricación del motor LYCOMING O-540-A4E5 perteneciente a la Unidad de Gestión de Tecnologías-ESPE, para que estos procedimientos permitan al sistema de lubricación proporcionar un flujo de aceite con la cantidad de presión y temperatura adecuada para evitar la sobre temperatura y desgaste de los componentes internos del motor que está descrito en el manual de mantenimiento, para un mejor desenvolvimiento durante las fases operacionales de los motores, con la finalidad que los estudiantes tengan un equipo especial de trabajo y poder complementar la teoría con la práctica.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la inspección inicial y de rutina de 25 horas del sistema de lubricación del motor LYCOMING O-540-A4E5 mediante la recopilación de información técnica de manuales, para servicio y preservación de los componentes del sistema y el motor, perteneciente a la Unidad de Gestión de Tecnologías-ESPE.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Detallar la información y especificaciones técnicas necesarias para la inspección y el servicio del sistema de lubricación del motor LYCOMING O-540-A4E5.
- Implementar un motor horizontal de seis cilindros opuestos que permita realizar tareas de mantenimiento, servicio, inspecciones y chequeos operacionales del motor LYCOMING O-540-A4E5.
- Determinar el estado del sistema de lubricación del motor LYCOMING O-540-A4E5 mediante la inspección inicial y de rutina por medio del chequeo de 25 horas de acuerdo al manual de servicio aplicable al motor.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 SISTEMA PROPULSOR (MOTOR)

Lo mismo que un automóvil, una bicicleta o un tren obviamente es necesario que un aeroplano cuente con una fuerza que lo impulse. En una aeronave, esta necesidad se hace más imperiosa, pues mientras que en otras máquinas el impulso solo se necesita para vencer la inercia y la resistencia al avance, en una aeronave este impulso es vital para producir circulación de aire en las alas, donde se origina la sustentación.

Esta fuerza, denominada de tracción cuando se ejerce por delante del motor tira de la aeronave, o de empuje si es ejercida por detrás del motor, empuja a la aeronave es proporcionada por el sistema propulsor, el cual está constituido por uno o más motores, además por una o más hélices. En este último caso, el elemento que realmente produce la fuerza es la hélice, siendo el motor un mero mecanismo que la hace girar.

La fuerza de tracción o empuje, se obtiene acelerando hacia atrás una masa de aire ambiente a una velocidad superior a la del avión; de acuerdo con la 3ª ley del movimiento de Newton, esta acción provoca una reacción de la misma fuerza, pero de sentido contrario, la cual impulsa el avión hacia adelante. La aceleración de la masa de aire, se logra por la rotación de una hélice, movida por un motor convencional de pistón o una turbina de gas.

Ambos tipos de motor, de pistón o turbina, convierten la energía química contenida en el combustible en energía mecánica capaz de propulsar al avión, quemando dicho combustible, razón por la cual reciben el nombre de motores de combustión interna. (Navarro, 2012)

2.1.1 MOTORES DE PISTÓN

Los motores de pistón son los más comunes en la aviación ligera. Estos motores son casi idénticos a los de los automóviles, con tres importantes diferencias:

- Los motores de aviación tienen sistemas de encendido doble. Cada cilindro tiene dos bujías y el motor está servido por dos magnetos, una proporciona energía a todas las bujías "pares" de los cilindros y otra a las bujías "impares". Si una bujía o un magneto se estropea, la otra bujía o el otro magneto siguen haciendo saltar la chispa que enciende el combustible en el cilindro. Un detalle importante es que los magnetos, accionados por el giro del motor, no dependen de la batería para su funcionamiento.
- La mayoría de los motores aeronáuticos están refrigerados por aire. Esta particularidad evita cargar con el peso de un radiador y del refrigerante, y que una avería del sistema de refrigeración o la pérdida de refrigerante provoquen una avería general del motor.
- Como los motores de aviación funcionan a distintas altitudes, el piloto dispone de un control manual de la mezcla, control que utiliza para ajustar la proporción adecuada de aire y combustible de entrada a los cilindros.

Este tipo de motor consta básicamente de cilindros, pistones, bielas y un cigüeñal. En el interior de cada cilindro, un pistón realiza un movimiento de arriba abajo, movimiento que mediante una biela transmite al cigüeñal, de forma que el movimiento rectilíneo del pistón se convierte en movimiento giratorio del cigüeñal. En la parte superior del cilindro, se encuentran normalmente dos bujías, una o más válvulas de entrada de la mezcla, y una o más válvulas de salida de los gases quemados. (Navarro, 2012)

En aviación, la mayoría de estos motores son de cuatro tiempos, llamados así porque un ciclo completo de trabajo se realiza en cuatro movimientos del pistón.

2.2 CICLOS DEL MOTOR

Un ciclo representa una serie completa de eventos necesarios para producir energía mecánica. El ciclo de funcionamiento del motor se repite continuamente.

Los dos ciclos operativos de uso general en la actualidad son el ciclo de cuatro tiempos o Otto (llamado así por August Otto, quien lo desarrolló) y el de dos tiempos. La mayoría de los motores de pistón para aeronaves operan en el ciclo de cuatro tiempos más eficiente; sin embargo, algunas pequeñas centrales eléctricas utilizan el ciclo de dos tiempos. Una carrera se realiza en 180 grados de rotación del cigüeñal donde el pistón se desplaza entre sus límites en el cilindro. Un golpe es la distancia que el pistón recorre desde su límite exterior, denominado punto muerto superior (TDC), hasta su límite interno, conocido como punto muerto inferior (BDC). (Sanderson, 2011)

2.2.1 CICLO CUATRO TIEMPOS

Los cuatro movimientos del ciclo Otto se denominan admisión, compresión, potencia y escape. Completar este ciclo requiere dos revoluciones del cigüeñal. El ciclo de cuatro tiempos a veces se conoce como un ciclo de volumen constante porque el combustible que se quema dentro del cilindro aumenta la presión casi sin cambio de volumen. (Sanderson, 2011)

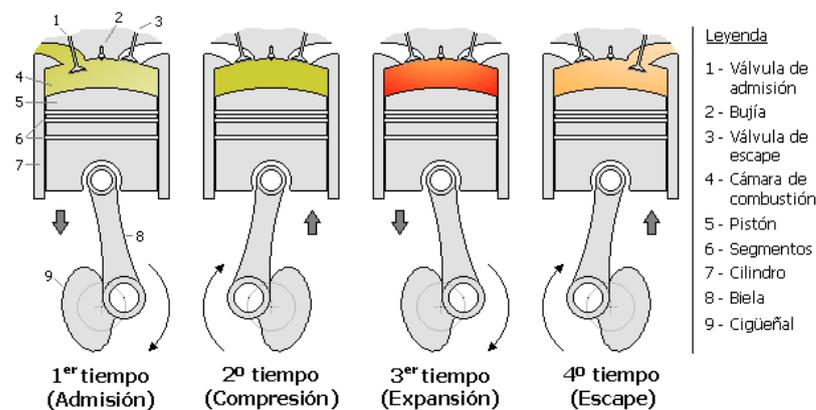


Figura 1 Ciclo cuatro tiempos
Fuente: (Esteban, 2007)

- Admisión - El pistón, situado en la parte superior del cilindro (punto muerto superior), realiza un movimiento de bajada con la válvula de admisión abierta succionando una mezcla de aire y combustible.
- Compresión - Desde la parte inferior del cilindro (punto muerto inferior), el pistón hace un movimiento de subida estando las válvulas cerradas, lo cual comprime la mezcla admitida en la fase anterior.

- Explosión - Con el pistón en la parte superior, una chispa procedente de las bujías hace explotar la mezcla comprimida de aire y combustible. Esta explosión lanza violentamente al pistón hacia abajo.
- Escape - Desde la parte inferior, al realizar la carrera hacia arriba con la válvula de escape abierta, el pistón empuja y expulsa los gases del cilindro. Al llegar al punto superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión comenzando de nuevo el ciclo. (Navarro, 2012)

2.2.2 CICLO DOS TIEMPOS

El ciclo de dos tiempos contiene los mismos eventos que el ciclo de cuatro tiempos. Con la diferencia de que ocurren en dos golpes de pistón en lugar de cuatro además se completa un ciclo en una sola rotación del cigüeñal.

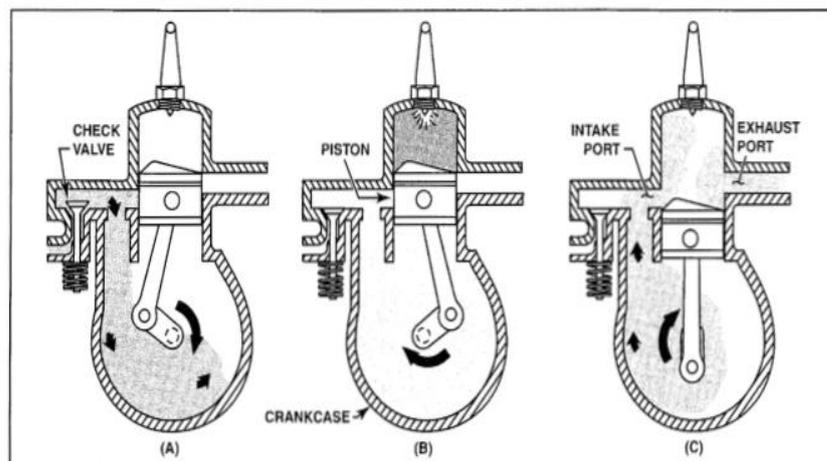


Figura 2 Ciclo 2 tiempos

Fuente: (Sanderson, 2011)

En los dos tiempos, mientras el pistón se mueve hacia el punto muerto superior, ocurren dos eventos. El pistón comprime la carga de combustible y aire en el cilindro y crea un área de baja presión dentro del cárter. Esta baja presión hace que el combustible y el aire entren en el cárter a través de una válvula abierta. Unos pocos grados antes del punto muerto superior, se produce la ignición de la mezcla de combustible y aire. La presión de los gases en expansión hace que el pistón descienda. Esta carrera comprime la carga de combustible/aire en el cárter.

Cuando el pistón se acerca a punto muerto inferior, descubre el orificio de escape, lo que permite que el escape se purgue del cilindro. Casi inmediatamente, el pistón descubre el puerto de admisión, lo que permite que la carga de aire y combustible presurizado en el cárter ingrese al cilindro. El ciclo se repite a sí mismo a medida que el pistón comprime la carga de combustible y aire en el cilindro y extrae una nueva carga de combustible y aire en el cárter. (Sanderson, 2011)

2.3 TIPOS DE MOTORES ALTERNATIVOS

Los motores de aviación se clasifican en dos grandes grupos:

1. Motores de émbolo, llamados también motores alternativos o de explosión.
2. Motores turbina.

Nos referimos en estos momentos al motor alternativo.

Por la forma de construcción y ordenación de los cilindros, los motores alternativos pueden ser:

- a) Motores de cilindros en línea.
- b) Motores de cilindros horizontales y opuestos.
- c) Motores de estrella o radiales.

2.3.1 MOTORES DE CILINDROS EN LÍNEA

Los motores de cilindros en línea tienen cuatro o seis cilindros en posición recta o invertida. Una línea de seis cilindros representa un límite razonable debido a la dificultad de refrigerar los cilindros más interiores. (Esteban, 2007)



Figura 3 Motor en línea Ranger L-440
Fuente: (Bridgman, 1988)

2.3.2 MOTORES DE CILINDROS HORIZONTALES Y OPUESTOS

Es la solución estándar actual en la gama de baja potencia. Consisten en cuatro o más cilindros, opuestos, situados en un plano horizontal. Esta ordenación de los cilindros presenta notables ventajas frente a la ordenación en línea.



Figura 4 Motor con cilindros opuestos
Fuente: (ADMINISTRATION, 2012)

En efecto la disposición de los cilindros horizontal y opuesta permite disminuir la longitud del motor; en segundo lugar, forma una unidad compacta y de menor vibración, y, finalmente, al presentar un perfil más estrecho, disminuye la resistencia aerodinámica de la instalación en el avión. (Esteban, 2007)

2.3.3 MOTORES EN ESTRELLA

Los motores en estrella, o motores radiales, están contruidos por un conjunto de cilindros que se sitúan en forma de estrella, en sentido radial, alrededor del cigüeñal.

Estos motores pueden tener una, dos o cuatro estrellas de cilindros. Los cilindros de la segunda estrella se colocan entre los espacios que deja la primera. Debe observarse que el número de cilindros en la estrella es impar para evitar tiempos pasivos que se producirían entre cilindros diametralmente opuestos. (Esteban, 2007)



Figura 5 Motor con cilindros en estrella
Fuente: (ADMINISTRATION, 2012)

2.4 PARTES DEL MOTOR ALTERNATIVO

Los componentes fundamentales del motor alternativo son: cilindros, émbolos, sistema biela-cigüeñal y cárter.

2.4.1 CILINDROS

Se llama cilindro la cámara interna del motor donde se desarrolla la compresión, combustión de la mezcla de gasolina y aire, y la expansión de los gases. Los motores de aviación tienen un número variable de cilindros,

de acuerdo con la configuración y su potencia. El cilindro consta de cuerpo y culata. Las dos partes se fabrican independientes y se ensamblan durante la fase de montaje del motor.

El cuerpo es el cilindro propiamente dicho. El cuerpo se fabrica en acero, y la parte inferior es una camisa de acero al cromo-níquel, muy resistente. La parte exterior del cuerpo cuenta con una serie de aletas concéntricas, que sirven para refrigerar el cilindro. La culata es una pieza moldeada o forjada de aleación ligera de aluminio, de gran resistencia mecánica. (Esteban, 2007)

La culata tiene varios alojamientos de entrada para otros elementos. Los alojamientos donde se introducen las bujías se enroscaban antiguamente, en la propia culata, pero hoy se emplean unos injertos especiales llamados Heli-coil. Que son unas roscas postizas que se pueden desmontar en el caso de que sufran deformación o rotura debido al frecuente servicio de mantenimiento que necesitan las bujías.

Otro elemento que se incorpora en la culata son las válvulas de admisión de aire y de escape de gases. La función de las válvulas es abrir y cerrar los orificios de paso de aire de admisión y de los gases de escape, según se trate de la válvula de admisión o de la válvula de escape. (Esteban, 2007)



Figura 6 Cilindro del motor
Fuente: (ADMINISTRATION, Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant , 2012)

2.4.1.1 NUMERACIÓN DE LOS CILINDROS

Los cilindros se identifican con un número para todos los efectos prácticos, tanto de operación como de mantenimiento. Puesto que términos tales como derecha e izquierda del motor intervienen en la numeración, o sentido de las agujas del reloj si se trata de un motor radial, es necesario identificar sin ambigüedad esas posiciones.

La regla es que siempre se considera que la hélice es la parte delantera del motor, independientemente de la posición de montaje del motor en el avión. Hay dos fabricantes de motores alternativos en la actualidad, Teledyne Continental y Lycoming, no se han puesto de acuerdo en la numeración de los cilindros de sus motores.

Motores Teledyne Continental: el primer cilindro de la derecha tiene el número 1, el primero de la izquierda el número 2, el segundo de la derecha el número 3, y así sucesivamente.

Motores Lycoming: el último cilindro de la derecha, el más cercano a la hélice, tiene el número 1, el último de la izquierda el 2, el penúltimo de la derecha el 3, y así sucesivamente.

Para el motor en estrella, la numeración de los cilindros sigue la dirección de las agujas del reloj. (Esteban, 2007)

2.4.2 SISTEMA ARTICULADO ÉMBOLO-BIELA-MANIVELA

El sistema articulado del motor es el conjunto émbolo-biela-manivela. Su función es transformar el movimiento de vaivén del embolo en un movimiento circular. El émbolo tiene movimiento alternativo, de vaivén, dentro del cilindro.

El cigüeñal tiene movimiento de rotación. La biela, que está unida por un extremo al embolo y por otro al cigüeñal, tiene un movimiento muy complejo, como corresponde a un mecanismo intermedio que transforma el movimiento lineal de vaivén en otro giratorio.

El eje del motor es el cigüeñal. En un extremo del eje cigüeñal se acopla la hélice. El cigüeñal hace girar la hélice. Los componentes del motor citados son los que están sujetos a mayores esfuerzos mecánicos. (Esteban, 2007)

2.4.3 ÉMBOLO

Se llama émbolo o pistón un cuerpo cilíndrico, en forma de vaso invertido, que se desplaza alternativamente por el interior del cilindro. El desplazamiento del émbolo se debe a la presión que ejercen los gases quemados en la cámara de combustión.

La parte superior del émbolo es la superficie que cierra el volumen interno hermético del cilindro. Esta zona del émbolo recibe directamente la presión del gas, que es la fuerza de desplazamiento del mismo. El trabajo que recibe el émbolo es debido a la presión de los gases se transmite al cigüeñal. La transmisión de este movimiento se efectúa a través de la biela. (Esteban, 2007)



Figura 7 Pistón

Fuente: (ADMINISTRATION, Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant , 2012)

2.4.4 BIELA

Se llama biela la barra articulada que une el émbolo con el eje del motor. La biela transforma el movimiento alternativo del émbolo en movimiento de rotación del eje del motor. La biela está sostenida a grandes esfuerzos. Se fabrica en materiales de gran resistencia mecánica, normalmente aleación

de aluminio de alta resistencia o acero forjado en los motores antiguos. Se llama pie de biela al extremo que se acopla al bulón del émbolo y la cabeza de biela es el extremo que se une al eje del motor. Se llama caña la barra o cuerpo de la biela que tiene forma de “H” o de “I”. (Esteban, 2007)



Figura 8 Biela

Fuente: (ADMINISTRATION, Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant , 2012)

2.4.5 CIGÜEÑAL

El movimiento alternativo de los émbolos se transforma en movimiento de rotación del cigüeñal. El cigüeñal tiene tres partes: muñón, muñequilla y brazos.

Los muñones son los puntos de apoyo del cigüeñal en la bancada o soporte del eje. La muñequilla es el codo donde se ajusta la cabeza de la biela. Los brazos del cigüeñal son los tramos rectos que unen la muñequilla con los muñones.

Se llama manivela o codo el conjunto formado por dos brazos y una muñequilla. Así, se dice que un cigüeñal tiene una manivela, dos, etc. Nótese que una manivela adquiere un movimiento de giro cuando se aplica una fuerza perpendicular a ella. Es el fundamento de la rotación del eje del motor. (Esteban, 2007)

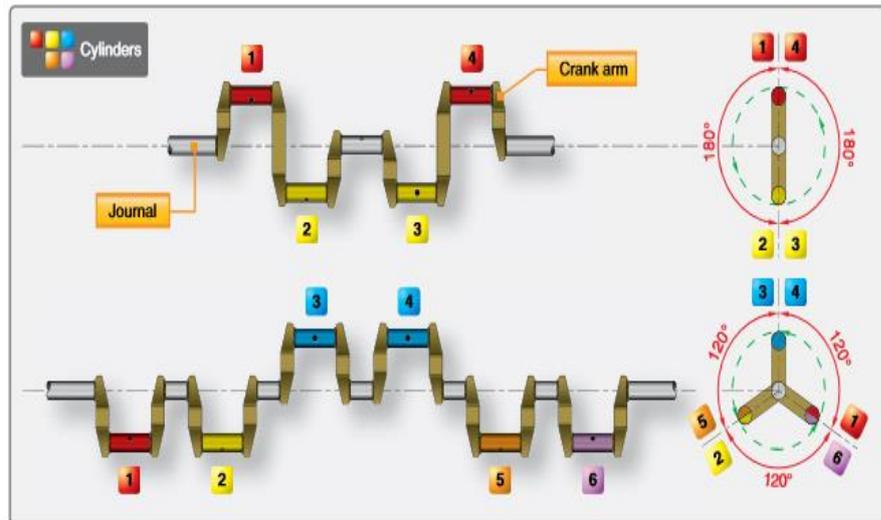


Figura 9 Cigueñal

Fuente: (ADMINISTRATION, Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant , 2012)

2.4.6 VÁLVULAS

Las válvulas son los mecanismos que regulan la entrada y salida del aire y los gases de combustión en el cilindro. Hay dos tipos de válvulas: de admisión y de escape. La válvula de admisión tiene por misión regular el paso de entrada de la mezcla fresca de aire-combustible en el cilindro.

La válvula de escape es la vía de expulsión de los gases quemados en el cilindro. Cuando los gases de combustión salen del cilindro se prepara su interior para una nueva admisión de mezcla fresca. Las válvulas tienen dos resortes, a veces tres, concéntricos. Una vez comprimidos y montados, los resortes mantienen la válvula contra el asiento del cilindro.

Cada resorte tiene diámetro distinto. El número de espiras de los resortes por unidad de longitud también es diferente. Esto se hace con el fin de que no entren ambos muelles en vibración al mismo tiempo; de esta forma no hay posibilidad de que se produzca situaciones donde la válvula “flota”, perdiendo sus tiempos correctos de apertura y cierre ya que cada muelle tiene distinta frecuencia de vibración. (Esteban, 2007)

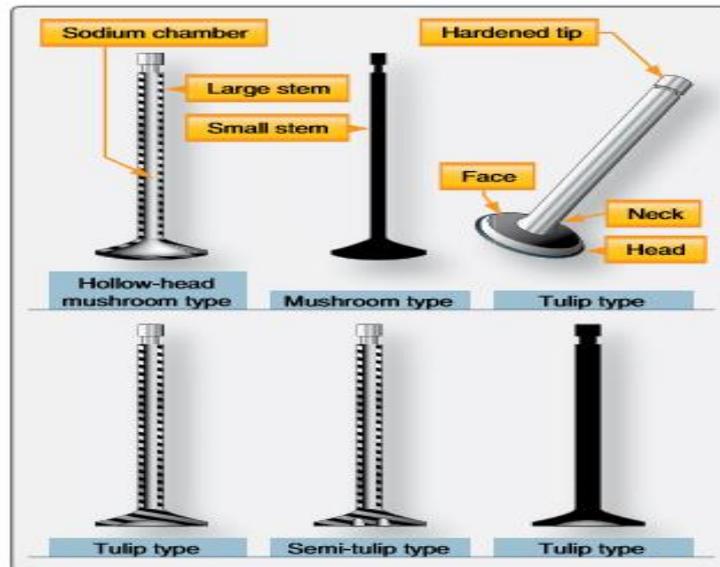


Figura 10 Válvulas

Fuente: (ADMINISTRATION, Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant , 2012)

2.4.7 ÁRBOL DE LEVAS

El mecanismo que desplaza las válvulas del motor horizontal de cilindros opuestos se llama árbol de levas. Es un eje de acero que tiene mecanizadas en el mismo las levas que transmiten el movimiento de apertura y de cierre de las válvulas. El eje se apoya en cojinetes sobre el cárter. El árbol de levas gira a la mitad de vueltas que el cigüeñal. (Esteban, 2007)

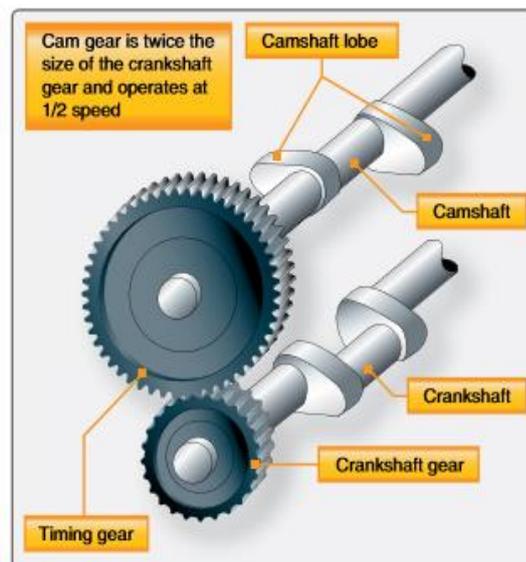


Figura 11 Árbol de levas

Fuente: (ADMINISTRATION, Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant , 2012)

2.4.7.1 COJINETES

Existen varios ejes en el motor que giran en orificios mecanizados en el cárter. El movimiento relativo entre el eje móvil y la superficie estacionaria que le sirve de apoyo es el origen de dos efectos principales. En primer lugar, hay cierta pérdida de trabajo útil del motor, ya que el eje tiene que vencer la resistencia de rozamiento sobre la superficie en la que gira.

Más importante es aún es el desgaste acelerado del material en la zona de contacto, también a causa del rozamiento. Se llama cojinete a un elemento en forma de anillo, y de material especial, que se monta fijo en un alojamiento de soporte del eje (casquillo). El cojinete sirve de pista de deslizamiento a dicho eje. (Esteban, 2007)

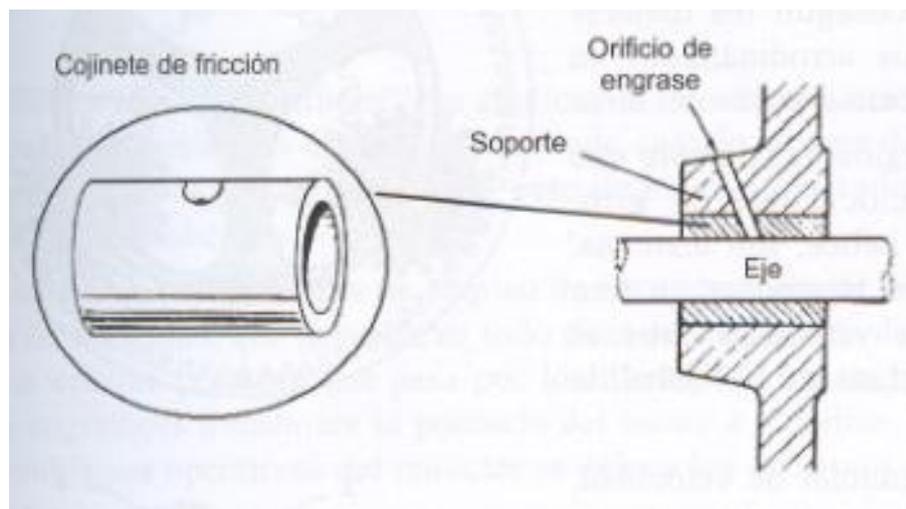


Figura 12 Aplicación típica del cojinete de fricción
Fuente: (Esteban, 2007)

2.4.8 CÁRTER

Hay dos tipos generales de cárter, que se relacionan con la instalación del sistema de aceite de lubricación del motor; cárter húmedo y seco. El cárter húmedo contiene el aceite de lubricación del motor, actúa como depósito del lubricante. El cárter mantiene un cierto nivel de aceite, que es aspirado por la bomba de lubricación y puesto en circulación por las tuberías, galerías y pasadizos internos del motor.

El cárter seco, como su nombre indica, no almacena el aceite en el fondo del cárter, sino en un depósito independiente. El aceite circula impulsado por la bomba de aceite desde el depósito (uno por motor) a todos los puntos de lubricación. Ahí es recogido por las bombas de recuperación que lo retornan al depósito.

Los motores pequeños, como los actuales de cilindros horizontales y opuestos, son de cárter húmedo. Los grandes motores radiales emplean cárteres secos. Aparte de la mayor cantidad de aceite que precisan estos motores, el cárter húmedo no es una solución fácil ni practica en este tipo de motores, debido a su configuración en estrella. (Esteban, 2007)

2.5 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

2.5.1 DISTRIBUCIÓN DE ACEITE

El propósito principal de un sistema de lubricación es entregar aceite a los componentes internos del motor. Las formas más comunes de distribución de aceite son la lubricación por presión, salpicadura y rociado. Para garantizar una lubricación adecuada, los motores alternativos se basan en una combinación de presión y lubricación por salpicadura. Sin embargo, en motores más grandes, la circulación adecuada de aceite solo se puede lograr mediante el uso de presión, salpicaduras y lubricación por aspersión. (Sanderson, 2011)

2.5.2 TIPOS DE SISTEMAS DE LUBRICACIÓN

2.5.2.1 LUBRICACIÓN POR PRESIÓN

Los motores recíprocos utilizan principalmente lubricación a presión. En la mayoría de los casos, una bomba de desplazamiento positivo impulsada por el motor suministra aceite presurizado a las partes críticas del motor. El término desplazamiento positivo indica que la bomba mueve una cantidad específica de fluido para cada revolución o ciclo del mecanismo de la bomba. Después de que el aceite pasa a través de una bomba de aceite, pasa por varios pasajes para su distribución a varios componentes del motor. Los componentes que normalmente se lubrican con aceite a presión

incluyen todos los cojinetes lisos, los cojinetes principales del cigüeñal y el árbol de levas, los cojinetes de biela inferiores y los conjuntos de válvulas. (Sanderson, 2011)

2.5.2.2 LUBRICACIÓN POR SALPICADURA

Además de la lubricación a presión, muchos motores alternativos también usan lubricación por salpicadura. La lubricación por salpicadura se produce por el movimiento de componentes internos que rocían aceite alrededor del cárter. Este método de lubricación es muy efectivo en motores con cárter húmedo. A medida que el cigüeñal gira, cada tiro de cigüeñal se sumerge parcialmente en aceite. A medida que sale del reservorio, salpica aceite en los componentes cercanos, incluidos las paredes de los cilindros, los lóbulos del árbol de levas, los cojinetes superiores de las bielas, los pasadores del pistón y los engranajes accesorios. (Sanderson, 2011)

2.5.2.3 LUBRICACIÓN POR SPRAY

Algunos motores reciprocantes grandes son demasiado grandes para que la lubricación por salpicadura sea efectiva. En este caso, se utiliza típicamente alguna forma de lubricación por pulverización. La lubricación por pulverización utiliza el mismo aceite presurizado que el sistema de lubricación a presión; sin embargo, en lugar de enviar el aceite a un componente a través de un paso de aceite, el aceite se rocía sobre un componente a través de una boquilla. Los componentes del motor que están lubricados con aceite de motor rociado incluyen algunas paredes del cilindro y lóbulos del árbol de levas. (Sanderson, 2011)

2.5.3 COMPONENTES DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN

Un sistema típico de lubricación a presión consiste en un depósito de aceite, una bomba de aceite, una válvula de alivio de presión de aceite, un filtro de aceite, un enfriador de aceite, líneas de ventilación y todas las tuberías y conexiones necesarias. Además, en los motores con un cárter seco, una bomba de barrido transporta el aceite de vuelta al depósito de aceite. Para permitir que el operador controle el funcionamiento del sistema

de lubricación, la mayoría de los sistemas incluyen medidores para controlar la temperatura y la presión del aceite. (Sanderson, 2011)

2.5.3.1 DEPÓSITO DE ACEITE

El depósito de aceite debe ser lo suficientemente grande como para contener un suministro adecuado de aceite para lubricar el motor, en función de la resistencia máxima de la aeronave y la tasa de consumo de aceite máxima aceptable más un margen para garantizar una circulación, lubricación y refrigeración adecuadas.

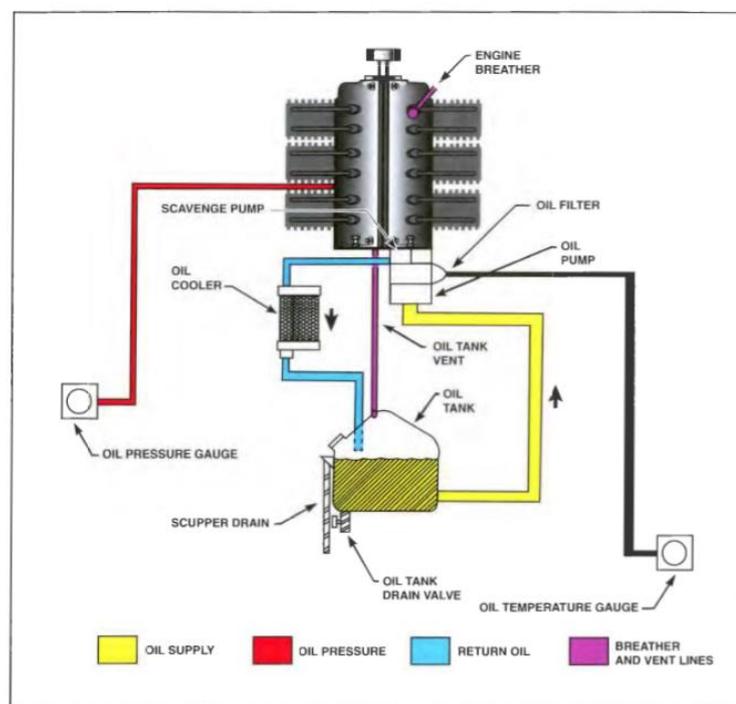


Figura 13 Sistema de lubricación de un motor con cilindros opuestos con cárter húmedo
Fuente: (Sanderson, 2011)

Como se discutió anteriormente, el depósito de aceite en un motor de cárter húmedo forma parte del cárter del motor. Los depósitos de aceite de sumidero húmedo se construyen de aleación de aluminio fundido. Los depósitos de aceite utilizados en los sistemas de sumideros secos también se construyen a partir de una aleación de aluminio. La ubicación de un depósito de sumidero seco es típicamente cerca del motor, pero más alta que la entrada de la bomba de aceite para garantizar una alimentación por gravedad confiable.

Las regulaciones requieren que cada depósito de aceite tenga un espacio de expansión al menos un 10 por ciento mayor que la capacidad del tanque o 0.5 galones, lo que sea mayor. Esto sirve para proporcionar un espacio cuando el aceite se expanda y para la acumulación de espuma, otro requerimiento es que todas las tapas de llenado deben ser marcadas con la palabra “ACEITE”.

La mayoría de los sistemas de aceite para aeronaves están equipados con un medidor de cantidad del tipo de varilla de medición, que a veces se conoce como un medidor de bayoneta. Algunas aeronaves grandes podrían estar equipados con un sistema de indicación de la cantidad de aceite, que muestra la cantidad de aceite durante el vuelo. Uno de estos sistemas consiste en un mecanismo de flotación que se desplaza sobre la superficie del aceite y acciona un transmisor electrónico en la parte superior del tanque. El transmisor envía una señal a un indicador de cabina, que indica la cantidad. (Sanderson, 2011)



Figura 14 Medidor de cantidad de aceite tipo varilla

Fuente: (ADMINISTRATION, Aviation Maintenance Technician Handbook—Powerplant Volume 2, 2012)

Para evitar la acumulación de presión y asegurar una ventilación adecuada en todas las actitudes de vuelo, un depósito de aceite debe ser ventilado a la atmósfera. En un sistema de cárter húmedo, la ventilación consiste en un respiradero del cárter.

El aceite que se encuentra dentro del depósito en un sistema de cárter húmedo lleva comúnmente una bomba de aceite para suministrar el aceite al sistema. (Sanderson, 2011)

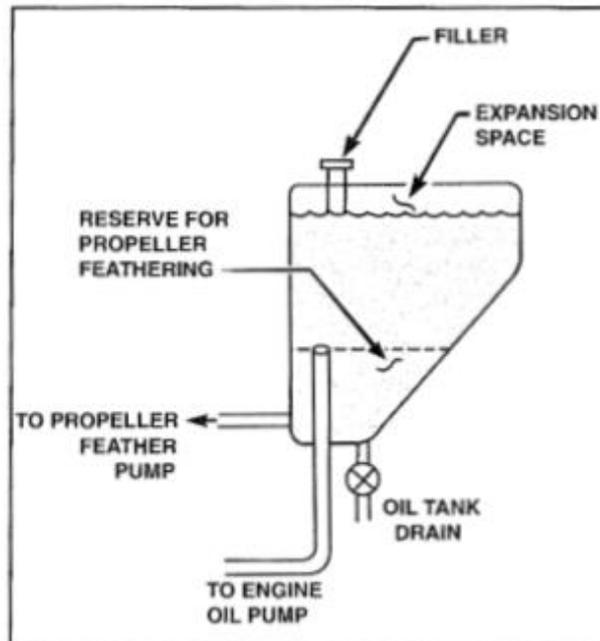


Figura 15 Reservorio de aceite

Fuente: (Sanderson, 2011)

2.5.3.2 BOMBAS DE ACEITE

Todos los sistemas de lubricación usan bombas de desplazamiento constante. Una bomba de desplazamiento constante mueve un volumen fijo de fluido por cada revolución o ciclo de la bomba. Los dos tipos de bombas de desplazamiento constante en los sistemas de lubricación recíproca del motor son la bomba de engranajes y gerotor.

2.5.3.3 BOMBA DE ENGRANAJES

La bomba de aceite de engranajes es el tipo más común de bomba de aceite que se utiliza en los motores alternativos. Consiste en dos engranajes engranados que giran dentro de una carcasa. Los engranajes y la carcasa se mecanizan con precisión para espacios reducidos. Los engranajes recogen aceite en la entrada de la bomba y lo atrapan entre los dientes y la carcasa. A medida que giran los engranajes, entregan el aceite a la salida de la bomba.

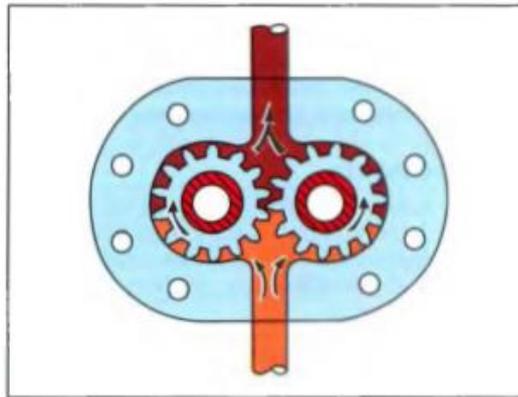


Figura 16 Bomba de engranajes
Fuente: (Sanderson, 2011)

2.5.3.4 BOMBA GEROTOR

Otro tipo de bomba de desplazamiento constante es la bomba tipo gerotor. Consiste en un engranaje recto impulsado por el motor que gira dentro de una caja de rotor de giro libre. El rotor y el engranaje impulsor viajan dentro de una carcasa con dos puertos alargados: una entrada y una salida.

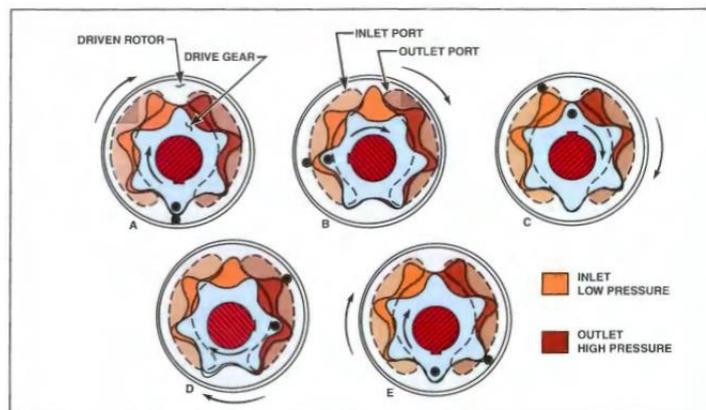


Figura 17 Bomba Gerotor
Fuente: (Sanderson, 2011)

2.5.3.5 BOMBA DE SCAVENGE

Además de una bomba de presión, la mayoría de los sistemas de cárter seco usan una bomba de barrido para devolver el aceite al depósito. Una bomba de barrido puede ser una bomba de engranajes o gerotor que es impulsada por el motor. Como regla general, la capacidad de una bomba de barrido es mayor que la de una bomba de presión. A medida que el aceite

fluye a través de un motor, su volumen aumenta debido a la formación de espuma y la expansión térmica. (Sanderson, 2011)

2.5.3.6 VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN

Para garantizar una lubricación adecuada del motor, la presión del aceite debe mantenerse dentro de un rango particular en todo momento. Para que una bomba de aceite accionada por el motor mantenga la presión del sistema a bajas velocidades del motor, debe producir una presión excesiva a altas velocidades del motor. Una válvula de alivio de presión evita que esta presión excesiva dañe el motor. Cuando la presión del aceite aumenta por encima de un valor predeterminado, la válvula se abre y el exceso de aceite se devuelve al depósito o a la entrada de la bomba de aceite. En un sistema, la válvula de alivio se instala entre la bomba de suministro principal y el sistema de aceite interno.

Las válvulas de alivio generalmente se ajustan a una presión más baja que la presión de salida de la bomba, por lo que una pequeña cantidad de aceite fluye constantemente a través de la válvula de alivio a la velocidad de crucero. La cantidad de aceite que la válvula permite evitar, depende del espacio entre las partes móviles de un motor. Por ejemplo, a medida que aumentan las distancias entre las piezas del motor debido al desgaste normal, la bomba continúa suministrando un volumen constante de aceite, pero la válvula de alivio permite que menos aceite se desvíe hacia el sumidero.

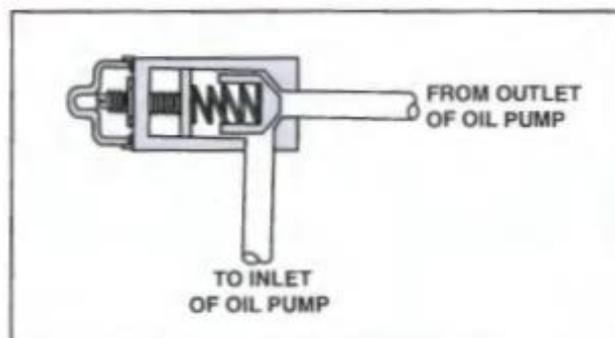


Figura 18 Válvula de alivio

Fuente: (Sanderson, 2011)

La mayoría de las válvulas de alivio se pueden ajustar girando un tornillo para aumentar o disminuir la presión del resorte. Cuanto mayor sea la presión del resorte, mayor será la presión del aceite resultante. En las válvulas de alivio más simples, puede ajustar la tensión del resorte cambiando el resorte o cambiando el número de arandelas detrás del resorte. Sin embargo, siempre que la lectura de la presión del aceite sea baja, primero debe determinar por qué, antes de ajustarse a la válvula de alivio. Por ejemplo, si se usa un aceite de viscosidad ligera o si se acumula algún material extraño entre la válvula de alivio y su asiento, la presión del aceite indicará menor que la normal. Si este es el caso, se debe corregir la causa de la lectura de baja presión; Cualquier ajuste a la válvula de alivio sería inapropiado. (Sanderson, 2011)

2.5.3.7 FILTRO DE ACEITE

Después de que el aceite se descarga de una bomba de presión de aceite, fluye hacia un filtro de aceite que elimina las partículas sólidas suspendidas en el aceite. Esta filtración es necesaria para proteger las partes móviles del motor de contaminantes sólidos. Actualmente, los dos tipos de sistemas de filtración instalados en motores de aeronaves son el sistema de flujo completo y el sistema de derivación. En un sistema de filtro de flujo completo, todo el aceite del motor pasa a través de un filtro cada vez que circula a través de un motor. Para lograr esto, el filtro está en serie con la bomba de aceite, entre la bomba y los cojinetes del motor.

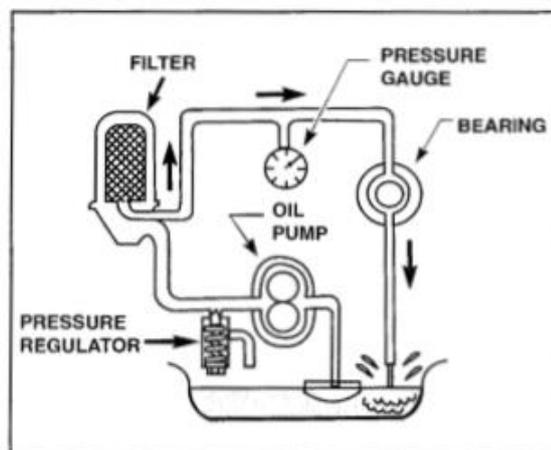


Figura 19 Sistema de filtración de flujo completo
Fuente: (Sanderson, 2011)

Aunque no es tan común, algunos motores antiguos usan un sistema de filtración de bypass. Con un bypass, o sistema de flujo parcial, el filtro es paralelo al paso de los cojinetes del motor. En este tipo de sistema, solo alrededor del 10 por ciento del aceite se filtra cada vez que el aceite circula a través del sistema. Sin embargo, con el tiempo, todo el suministro de aceite pasa a través del filtro.

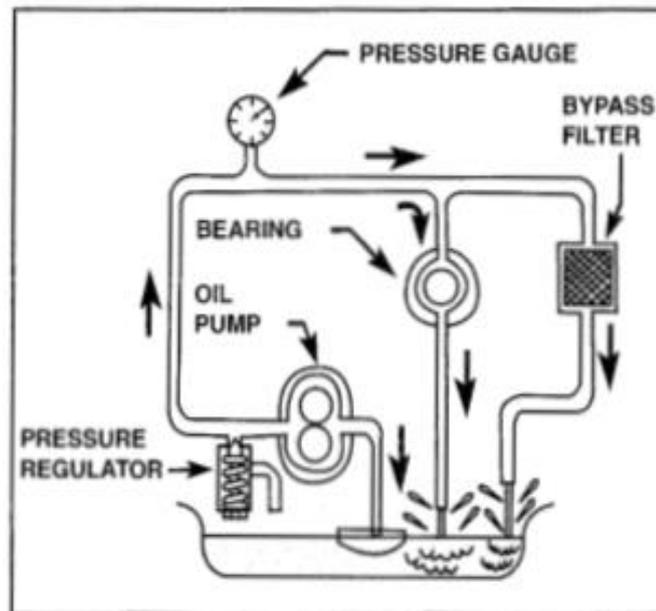


Figura 20 Sistema de filtración bypass
Fuente: (Sanderson, 2011)

Las regulaciones federales de aviación dictan que todos los filtros de aceite se construyan e instalen de manera que permitan el flujo total de aceite incluso si el filtro se bloquea por completo. Los sistemas de filtro de aceite de bypass se adaptan fácilmente a este requisito porque la mayoría del aceite ya pasa por alto el filtro.

Sin embargo, un sistema de filtro de flujo completo debe tener algún medio para evitar el filtro. Un método es incorporar una válvula de derivación de aceite que automáticamente permite que el aceite evite el filtro por completo si el filtro se tapa. Otro método utiliza una válvula de derivación con resorte dentro del filtro; y otro método incorpora elementos de filtro que colapsan si la presión se vuelve excesiva. (Sanderson, 2011)

2.5.3.7.1 ELEMENTOS DE FILTRO

Varios tipos de filtros se utilizan en motores de avión. Sin embargo, solo cuatro métodos de filtración están aprobados para uso en aviación los cuales son, filtración en profundidad, filtración a profundidad parcial, filtración de superficie y filtración de borde.

2.5.3.7.2 FILTRACIÓN EN PROFUNDIDAD

Los filtros de profundidad consisten en una matriz de fibras que están empaquetadas a una profundidad de aproximadamente una pulgada. El aceite fluye a través de esta esterilla y las fibras atrapan los contaminantes. Los filtros de profundidad son muy efectivos porque la gran cantidad de fibras tiene la capacidad de atrapar una gran cantidad de contaminantes. Sin embargo, una desventaja de los filtros de profundidad es que el aceite a alta presión a veces puede formar un canal a través del elemento de filtro. Si esto ocurre, el filtro pierde gran parte de su efectividad. (Sanderson, 2011)

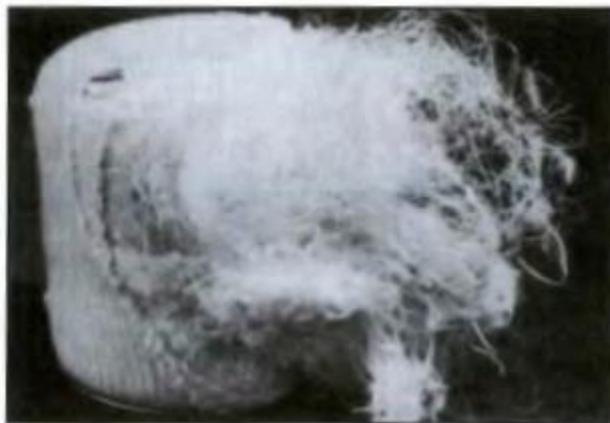


Figura 21 Un filtro de profundidad
Fuente: (Sanderson, 2011)

2.5.3.7.3 FILTRACIÓN A PROFUNDIDAD PARCIAL

Hoy en día, los aviones de aviación general usan con más frecuencia un filtro desechable de profundidad parcial hecho de fibras impregnadas con resina. Estas fibras se forman en una hoja larga, se pliegan en pliegues y se ensamblan alrededor de un núcleo de chapa de acero perforada. Los pliegues aumentan el área de superficie del elemento de filtro y permiten una mayor capacidad de filtrado en una unidad más pequeña. Además, la

uniformidad de la superficie del filtro reduce en gran medida la capacidad del aceite para formar un canal a través del elemento. El elemento del filtro está montado en una carcasa cilíndrica de acero, que forma parte integral del filtro. Un filtro típico de profundidad parcial se monta en el motor con un accesorio roscado y, a menudo, se lo conoce como un filtro giratorio. (Sanderson, 2011)

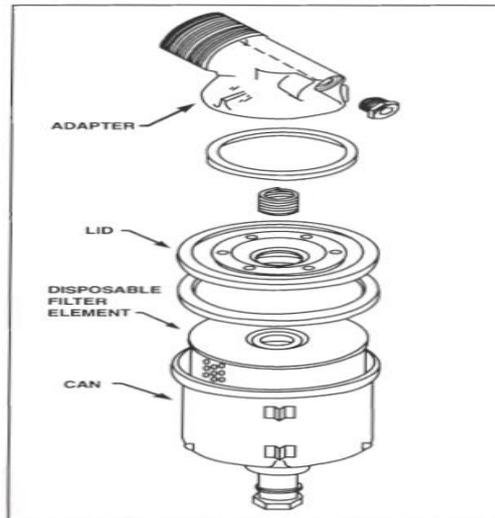


Figura 22 Filtro de profundidad parcial
Fuente: (Sanderson, 2011)



Figura 23 Filtro con lata reusable
Fuente: (Sanderson, 2011)

En algunos motores, el elemento de filtro de profundidad parcial se instala en una lata extraíble. En este caso, solo reemplaza el elemento central desechable; La lata se usa continuamente.

2.5.3.7.4 FILTRACIÓN DE SUPERFICIES

Algunos motores de aviación están equipados con una malla de alambre tejida estándar. Este filtro de pantalla es útil para atrapar algunos de los contaminantes más grandes que fluyen a través del motor; Sin embargo, hace poco para atrapar pequeños contaminantes. Debido a esto, algunos motores que usan una pantalla de aceite también dependen de un segundo filtro fino para atrapar los contaminantes restantes. No se recomienda disminuir el tamaño de las aberturas de malla de alambre para una mejor filtración, ya que la frecuencia de las limpiezas necesarias resultaría poco práctica. (Sanderson, 2011)



Figura 24 Filtro de pantalla

Fuente: (Sanderson, 2011)

2.5.3.7.5 FILTRACIÓN DE BORDES

Los filtros de borde pueden ser de tipo espiral o CUNO®. Un elemento enrollado en espiral consiste en una larga tira de metal en forma de cuña que se enrolla en una espiral cerrada. Las crestas a lo largo de toda la tira separan uniformemente las vueltas de la espiral. Con este tipo de filtro, el tamaño de las partículas que se filtran del aceite depende del grosor de las crestas. El lado grueso de la cuña está en la circunferencia exterior de la espiral y los contaminantes se acumulan en este borde a medida que el aceite fluye desde el exterior del elemento hacia el interior. (Sanderson, 2011)

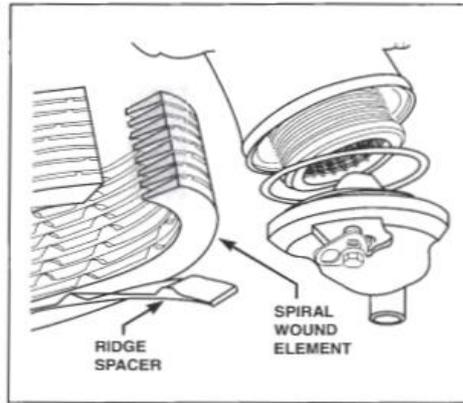


Figura 25 Filtro espiral o CUNO
Fuente: (Sanderson, 2011)

2.5.4 ENFRIADOR DE ACEITE

Recuerde que una de las funciones del aceite es enfriar el motor; para hacer esto con eficacia; El calor absorbido por el aceite debe ser eliminado. En la mayoría de los casos, el exceso de calor se elimina mediante un enfriador de aceite o un regulador de temperatura del aceite. Un enfriador de aceite es simplemente un intercambiador de calor de aceite a aire.

Cuando se instala en un sistema de cárter seco, el enfriador de aceite se ubica típicamente en la línea de retorno entre la salida de la bomba de eliminación y el depósito de almacenamiento. Sin embargo, en un sistema de cárter húmedo, el enfriador de aceite está conectado al motor en la mejor ubicación determinada por el fabricante.

Un tipo de enfriador de aceite consiste en un núcleo con varios tubos de cobre o aluminio encerrados en una carcasa anular de doble pared. Cuando el aceite está frío, fluye entre las dos paredes, o la cubierta de derivación del enfriador, y pasa por alto el núcleo completamente. Sin embargo, después de que el aceite se calienta, se enruta a través del núcleo para su enfriamiento.

La cantidad de aceite que fluye a través del núcleo es controlada por una válvula de control termostática, también conocida como una válvula de derivación del enfriador de aceite o una válvula de control de flujo. (Sanderson, 2011)

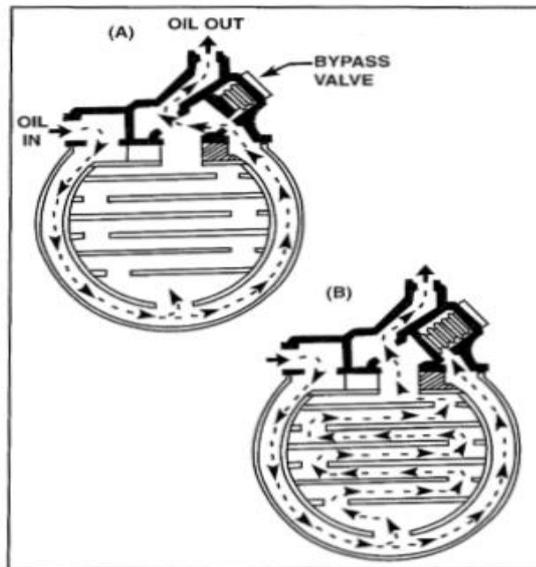


Figura 26 Válvula de derivación abierta con aceite frío y cerrada cuando el aceite se calienta.

Fuente: (Sanderson, 2011)

En el ejemplo anterior, la válvula de derivación es parte del enfriador de aceite. Esto es típico de los enfriadores de aceite instalados en motores radiales. Sin embargo, en los motores opuestos horizontalmente, el enfriador y la válvula de derivación son generalmente unidades separadas que se instalan en paralelo. Esto elimina la necesidad de una cubierta de derivación alrededor del enfriador de aceite. Con este tipo de sistema, cuando el aceite está frío, permanece en los pasos de lubricación del motor y pasa por alto el enfriador por completo. Después de que el aceite se calienta, la válvula de derivación hace que parte del aceite fluya a través del enfriador. (Sanderson, 2011)

Si una válvula de derivación falla en la posición abierta o cerrada, el aceite seguirá circulando en el motor. Sin embargo, un paso del enfriador de aceite parcialmente obstruido podría reducir el flujo de aceite. Por ejemplo, si un paso del enfriador de aceite se obstruye parcialmente, pasará menos aceite a través del núcleo y la temperatura del aceite aumentará. Sin embargo, a medida que aumenta la temperatura del aceite, la válvula de derivación se cierra aún más para dirigir más aceite a través del núcleo parcialmente restringido. Esto, a su vez, limita la cantidad de aceite que circula a través del motor. (Sanderson, 2011)

2.5.5 MEDIDOR DE PRESIÓN DE ACEITE

El sistema de lubricación del motor suministra aceite a presión a las partes móviles del motor. Para monitorear la efectividad del sistema de lubricación, cada motor de una aeronave está equipado con un medidor de presión de aceite calibrado. Debido a que una presión inadecuada puede provocar la falta de aceite en los cojinetes del motor, y debido a que una presión excesiva puede romper las juntas y los sellos, la presión del aceite en la mayoría de los motores alternativos se limita a un rango de operación bastante estrecho. (Sanderson, 2011)

Algunos medidores de presión de aceite utilizan un tubo de Bourdon; este diseño permite que un medidor mida presiones de fluido relativamente altas. El medidor está conectado por un tubo de metal directamente a un punto inmediatamente abajo de la bomba de aceite del motor.

El medidor de presión de aceite mide la presión de aceite que se entrega al motor. Para proteger el medidor de oleadas de presión ocasionales, la mayoría de los medidores tienen una pequeña restricción en su entrada. Además, la mayoría de los accesorios que sujetan la línea de aceite al motor también tienen una pequeña restricción para limitar la pérdida de aceite en caso de que la línea de detección de aceite se rompa. (Sanderson, 2011)

Una desventaja de este tipo de sistema de indicación de presión de aceite es que no funciona bien en climas fríos porque el aceite en la línea de detección tiende a congelarse. El aceite congelado provoca lecturas falsas de baja o ninguna presión de aceite. Este error se minimiza al llenar la línea de aceite con un aceite de baja viscosidad.

2.5.6 INDICADOR DE TEMPERATURA DEL ACEITE

El medidor de temperatura del aceite permite que un piloto controle la temperatura del aceite que ingresa al motor. La temperatura es importante porque la circulación del aceite enfría el motor mientras lubrica las partes móviles.

La mayoría de los medidores de temperatura de aceite están calibrados en grados Fahrenheit y detectan la temperatura del aceite en la entrada de aceite del motor.

La mayoría de los sistemas modernos de temperatura de aceite funcionan eléctricamente y utilizan un circuito de puente de Wheatstone o un circuito de radiómetro. Un circuito de puente de Wheatstone consta de tres resistencias fijas y una resistencia variable cuya resistencia varía con la temperatura. (Sanderson, 2011)

Cuando se aplica energía a un circuito de puente de Wheatstone y las cuatro resistencias son iguales, no hay diferencia de potencial entre las uniones de puente. Sin embargo, cuando la resistencia variable está expuesta al calor, su resistencia aumenta y fluye más corriente a través de la resistencia fija R_3 que la resistencia variable.

Este desequilibrio en el flujo de corriente produce un diferencial de voltaje entre las uniones del puente, lo que causa flujos de corriente a través del indicador del galvanómetro. Cuanto mayor sea el diferencial de voltaje, mayor será el flujo de corriente a través del indicador y mayor será la desviación de la aguja. Debido a que el flujo de corriente del indicador es directamente proporcional a la temperatura del aceite, un indicador calibrado en grados proporciona un medio preciso para registrar la temperatura del aceite. (Sanderson, 2011)

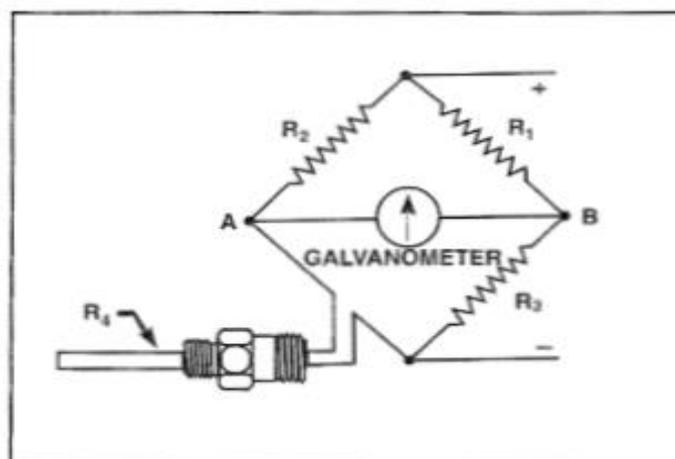


Figura 27 Circuito de puente Wheatstone
Fuente: (Sanderson, 2011)

Un circuito de radiómetro mide una relación de corriente y es más confiable que un puente de Wheatstone, especialmente cuando la tensión de alimentación varía. Normalmente, un simple circuito de radiómetro consta de dos ramas paralelas alimentadas por el sistema eléctrico de la aeronave. Dos bobinas se enrollan en un rotor que gira entre los polos de un imán permanente, formando un movimiento de medidor en el medidor. Una rama usa una resistencia y bobina fijas, y la otra usa una resistencia y bobina variables. (Sanderson, 2011)

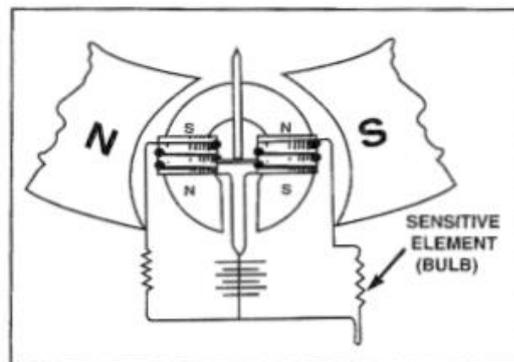


Figura 28 Sensor de temperatura de tipo Radiómetro
Fuente: (Sanderson, 2011)

La forma del imán permanente proporciona un espacio de aire más grande entre el imán y las bobinas en la parte inferior que en la parte superior. Por lo tanto, la densidad de flujo, o el campo magnético, es progresivamente más fuerte desde la parte inferior del espacio de aire hasta la parte superior. El flujo de corriente a través de cada bobina crea un electroimán que reacciona con la polaridad del imán permanente; El par vuelve a colocar el rotor hasta que las fuerzas magnéticas están equilibradas. Si las resistencias de la sonda de temperatura y la resistencia fija son iguales, el flujo de corriente a través de cada bobina es el mismo, y el indicador permanece en la posición central. Sin embargo, cuando la temperatura de la sonda aumenta, su resistencia aumenta, causando una disminución de la corriente a través de la rama de detección de temperatura. Por consiguiente, la fuerza electromagnética el sensor de la temperatura disminuye; el desequilibrio resultante hace que el rotor gire hasta que cada bobina alcance un valor nulo o equilibrio. El indicador conectado al rotor indica la temperatura del aceite. (Sanderson, 2011)

Los sistemas de medición de temperatura del radiómetro son útiles para aplicaciones en las que la precisión es crítica o se encuentran grandes variaciones de los voltajes de suministro. Por lo tanto, los fabricantes de aeronaves y motores generalmente prefieren el sistema de detección de temperatura del aceite del radiómetro más que los circuitos de puente de Wheatstone.

Algunos medidores de temperatura de aceite tempranos usaban presión de vapor o un instrumento de tubo Bourdon. Con este tipo de instrumento, un tubo de Bourdon se conecta mediante un tubo capilar a un bulbo sensor de temperatura lleno de líquido. La bombilla está en la línea de entrada de aceite del motor, donde el aceite calienta el líquido volátil en la bombilla. A medida que el líquido en el bulbo sensor se calienta, los tubos capilar y Bourdon también se calientan. Esto hace que la presión de vapor dentro de los tubos capilar y Bourdon aumente, lo que endereza el tubo Bourdon. (Sanderson, 2011)

2.6 LUBRICANTES

La interposición del aceite lubricante entre dos superficies metálicas en movimiento relativo genera una película de fluido que se adhiere a ambas superficies. De esta manera, la fricción entre las superficies metálicas en contacto es reemplazada por el rozamiento, mucho menor, que se produce entre láminas del lubricante. Un lubricante es, pues, cualquier sustancia animal, vegetal, mineral o sintética que posee la propiedad de reducir la fricción entre dos partes de un mecanismo sujetas a movimiento relativo. (Esteban, 2007)

El lubricante cumple tres funciones principales:

- Impedir el contacto directo de las partes acopladas en movimiento relativo.
- Refrigerar las superficies lubricadas.
- Impedir la corrosión de las superficies lubricadas.

2.6.1 CONSUMO DE ACEITE

Como el aceite lubricante realiza todas las funciones antes nombradas, una parte del aceite se consume. La cantidad de aceite consumido durante la combustión depende de factores como la velocidad del motor, la temperatura, las holguras de funcionamiento y las características del lubricante. En general, las velocidades y temperaturas más altas, los espacios más grandes y la menor viscosidad corresponden a tasas de consumo más altas. Los espacios más grandes, generalmente causados por el desgaste a lo largo del tiempo, son una de las razones por las que los motores alternativos normalmente consumen más aceite que los motores de turbina. (Sanderson, 2011)

2.6.2 PROPIEDADES Y ADITIVOS DE LOS LUBRICANTES

Teóricamente, el aceite de motor perfecto es lo suficientemente delgado como para circular libremente, pero lo suficientemente viscoso para mantener una resistencia de película razonable. En la práctica, el mejor aceite para un motor dado es un compromiso de esas características. Varios factores determinan el grado adecuado de aceite para su uso en un motor en particular. Algunos de estos factores son las cargas de operación del motor, las velocidades de rotación de los rodamientos y las temperaturas de operación. Para determinar el grado apropiado de aceite a usar, los ingenieros deben considerar una variedad de propiedades. (Sanderson, 2011)

2.6.3 VISCOSIDAD

Una de las propiedades más importantes del aceite es la viscosidad, que es una medida de la resistencia del aceite al flujo. Se dice que el aceite que fluye lentamente tiene una alta viscosidad. Por el contrario, el aceite que fluye libremente tiene una baja viscosidad.

La viscosidad del aceite se mide utilizando un instrumento conocido como el Viscosímetro Universal Saybolt. Para medir la viscosidad, una cantidad específica de aceite se calienta a una temperatura predeterminada.

Luego, la cantidad de segundos requeridos para que 60 centímetros cúbicos de aceite caliente fluyan a través de un orificio calibrado se registra como una medida de la viscosidad del aceite. El tiempo registrado se conoce como la viscosidad de los segundos universales de Saybolt o SUS. Los aceites típicos de aviación tienen un SUS de 80, 100 o 120 cuando se calientan a 210 grados Fahrenheit.

De todos los factores que afectan la viscosidad del aceite, la temperatura tiene el mayor efecto. De hecho, algunos aceites de alta viscosidad se vuelven casi semisólidos en climas fríos. Cuando esto sucede, la resistencia del componente aumenta y la circulación de aceite disminuye.

A la inversa, los aceites de baja viscosidad pueden llegar a ser tan delgados a altas temperaturas que el aceite no puede mantener una película sólida. Esto causa un desgaste rápido y una presión de aceite inferior a la normal. Por estas razones, los aceites de menor viscosidad se utilizan en climas fríos y los aceites de mayor viscosidad se utilizan en climas cálidos.

Los aceites usados en motores alternativos típicamente tienen una viscosidad relativamente alta por varias razones. La mayoría de los motores alternativos tienen grandes espacios operativos y altas temperaturas de operación. El aceite de alta viscosidad garantiza una película de aceite adecuada entre las partes móviles.

Debido a que la mayoría de los motores alternativos funcionan a temperaturas relativamente altas, se necesita aceite de alta viscosidad para evitar que el aceite se adelgace demasiado a las temperaturas de operación. Además, las altas presiones de los cojinetes en los motores alternativos requieren el cojín que proporcionan los aceites de mayor viscosidad. (Sanderson, 2011)

2.6.4 ÍNDICE DE VISCOSIDAD

Además de tener una clasificación de viscosidad, a muchos aceites se les asigna un índice de viscosidad o un número VI.

El índice de viscosidad es un estándar utilizado para identificar la tasa de cambio en la viscosidad para un cambio de temperatura dado.

El índice en sí se basa en un análisis comparativo de los cambios de viscosidad inducidos por la temperatura de dos aceites de referencia, elegidos arbitrariamente por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales, o ASTM. A un aceite se le asigna un índice de viscosidad de 100, y el otro se clasifica en cero. Cuanto menor sea el cambio en la viscosidad para un cambio de temperatura dado, mayor será el número del índice de viscosidad. (Sanderson, 2011)

2.6.5 ADITIVOS

Los aditivos son compuestos químicos destinados a mejorar las propiedades del lubricante. La adición de pequeñas cantidades de aditivos mejora las propiedades o añaden otras que no posee el aceite, y que se consideran necesarias para cumplir su función. (Esteban, 2007)

Como regla general, los aditivos tienen los siguientes objetivos:

- Limitar el envejecimiento del lubricante con el tiempo de funcionamiento.
- Proteger la superficie lubricada de la acción agresiva de contaminantes.
- Mejorar las propiedades del lubricante.

2.6.6 CLASIFICACION DE LOS LUBRICANTES

La clasificación de los aceites lubricantes para motores alternativos se basa en especificaciones.

La clasificación general de los aceites lubricantes es la siguiente:

- Por su viscosidad: SAE
- Por el tipo de servicio: API
- Por especificaciones militares: MIL-L (de empleo en la aviación)
- Por especificaciones civiles: diversas

SAE No.	COMMERCIAL AVIATION No.	AN SPECIFICATION (MILITARY)
SAE 30	GRADE 65	AN 1065
SAE 40	GRADE 80	AN 1080
SAE 50	GRADE 100	AN 1100
SAE 60	GRADE 120	AN 1120
SAE 70	GRADE 140	

Figura 29 Ilustra cómo un aceite similar puede tener una calificación sae, una calificación de aviación comercial y una calificación militar.

Fuente: (Sanderson, 2011)

Las normas SAE fueron establecidas por la Sociedad SAE (Society of Automobile Engineers). La clasificación SAE se refiere exclusivamente a la viscosidad del aceite. Es decir, excluye cualquier consideración de calidad o propiedades que no sean referentes a la viscosidad del aceite.

La clasificación por tipo de servicio del aceite API (American Petroleum Institute) tiene en cuenta las condiciones de trabajo del aceite en el motor (Diesel, Gasolina). Esta clasificación API se considera el complemento de la especificación SAE.

Las especificaciones militares MIL-L han contribuido de forma decisiva a la mejora de calidad de los aceites. (Esteban, 2007)

	SAE 30 AVIATION 65 AN 1065	SAE 40 AVIATION 80 AN 1080	SAE 50 AVIATION 100 AN 1100	SAE 60 AVIATION 120 AN 1120
VISCOSITY				
SUS @ 100°F	443.0	676.0	1,124.0	1,530.0
SUS @ 130°F	215.0	310.0	480.0	630.0
SUS @ 210°F	65.4	79.2	103.0	123.2
VISCOSITY INDEX	116.0	112.0	108.0	107.0
GRAVITY API	29.0	27.5	27.4	27.1
COLOR ASTM	1.5	4.5	4.5	5.5
POUR POINT °F	-20.0	-15.0	-10.0	-10.0
POUR POINT DILUTED °F				
	-70.0	-70.0	-70.0	-50.0
FLASH POINT °F	450.0	465.0	515.0	520.0
CARBON RESIDUE %W	0.11	0.23	0.23	0.40

Figura 30 Ilustra las características de varios aceites

Fuente: (Sanderson, 2011)

2.7 TIPOS DE ACEITES

Aceites de una variedad de fuentes se han utilizado en aviones. Por ejemplo, los primeros motores de aviación utilizaban aceite de ricino como lubricante, que es un aceite vegetal puro derivado de las semillas de ricino. Sin embargo, los lubricantes a base de vegetales tienen una estabilidad química pobre y tienden a oxidarse cuando se utilizan en motores alternativos. Debido a esto, los aceites de origen vegetal pronto fueron reemplazados por aceites de base mineral. Los aceites a base de minerales tienden a ser más estables químicamente que los lubricantes a base de vegetales y aún se usan ampliamente en motores alternativos. Los aceites sintéticos también se utilizan en motores de aeronave recíproca y turbina. Una mezcla de aceites minerales y sintéticos se llama un semisintético. (Sanderson, 2011)

2.7.1 ACEITES MINERALES

Durante muchos años, MIL-L-6082E, un aceite mineral sin aditivos, fue el principal tipo de aceite usado en los motores de aeronaves. Aunque el aceite mineral puro es un lubricante eficaz, tiene algunas limitaciones. Por ejemplo, cuando se expone a temperaturas elevadas en una condición aireada, el aceite mineral directo tiene una tendencia a oxidarse. Además, si el aceite mineral puro se contamina demasiado, pueden formarse fangos que pueden obstruir los filtros y pasajes y puntuar los componentes del motor. Debido a esto, el uso de aceite mineral generalmente se limita a motores nuevos o reacondicionados. (Sanderson, 2011) Los tipos comerciales en el mercado (AeroShell Oil 80, 100 y 120).

2.7.2 ACEITES DISPERSANTES

El aceite más utilizado en los motores alternativos es el aceite sin dispersante de cenizas (AD) que se ajusta a MIL-L-22851D. No tiene las restricciones de formación de carbono del aceite mineral puro ni forma depósitos de cenizas como los aceites detergentes. Este aceite contiene un dispersante que hace que los materiales formadores de lodo se repelan entre sí y permanezcan en suspensión hasta que queden atrapados por el

filtro de aceite. Esta característica ayuda a que los pasajes de aceite y las ranuras de los anillos permanezcan libres de depósitos dañinos.

Además de un dispersante, varios aceites dispersantes sin cenizas contienen un aditivo antiespumante y anti desgaste que no deja depósitos de cenizas metálicas en un motor. Los depósitos de ceniza son indeseables porque pueden conducir a la pre ignición y al ensuciamiento de las bujías.

Debido a que los aceites dispersantes sin cenizas son un lubricante tan efectivo, los fabricantes de motores normalmente no recomiendan su uso durante el período de rodaje del motor porque debe haber algo de desgaste de los componentes. Antes de que un conjunto de aros de pistón pueda sellar efectivamente contra una pared del cilindro, las dos superficies deben desgastarse una contra la otra para producir una unión sellable. Sin suficiente desgaste, el motor consumirá cantidades excesivas de aceite a lo largo de su vida útil. Por lo tanto, para promover un cierto grado de desgaste, la mayoría de los fabricantes recomiendan que los motores nuevos y recientemente revisados funcionen con aceite mineral puro durante las primeras 10 a 50 horas de funcionamiento o hasta que se estabilice el consumo de aceite. Después de esto, debe drenar el aceite mineral recto y reemplazarlo con un aceite dispersante sin cenizas de calidad para la vida útil restante del motor. (Sanderson, 2011)

2.7.3 ACEITES MULTIVISCOSIDAD

Los aceites de multi viscosidad se desarrollaron para ayudar a solucionar algunos de los inconvenientes de los aceites de viscosidad única. Por ejemplo, en un clima cálido, el aceite SAE 10 se calentará demasiado y perderá su capacidad para mantener una película adecuada en las partes móviles, mientras que, en un clima frío, el aceite SAE 30 no circulará correctamente, especialmente cuando se arranca el motor por primera vez.

A diferencia de los aceites de viscosidad única, los aceites de viscosidad múltiple proporcionan una lubricación adecuada en un rango de temperatura más amplio. Los aceites de multiviscosidad fluyen más rápidamente en climas fríos y evitan el adelgazamiento en climas cálidos. Un aceite de

multiviscosidad típico, como SAE 15W50, generalmente se puede usar en el rango de temperatura combinado de un aceite SAE 15 y un aceite SAE 50. (Sanderson, 2011)

2.7.4 ACEITES SINTÉTICOS

La composición química de los aceites sintéticos les proporciona propiedades de viscosidad múltiple similares a los grados de automoción SAE-5 a SAE-20. Contienen una mezcla de aditivos químicos y ciertos diésteres, que son extractos sintetizados de aceites minerales, vegetales y animales.

Debido a su composición química, los aceites sintéticos tienen una fricción interna extremadamente baja. Además, tienen una alta resistencia a la degradación térmica y la oxidación. Debido a esto, los aceites sintéticos son ideales para uso en motores de turbina y, por lo general, pueden durar más entre los cambios de aceite. Además, las características de desgaste del aceite sintético parecen ser aproximadamente las mismas que las del aceite dispersante y superiores a las del aceite mineral. (Sanderson, 2011)

Otro problema con el aceite sintético es que, en algunos casos, puede suavizar los productos de caucho y las resinas del motor. Debido a esto, un fabricante requiere un reemplazo más frecuente de las líneas de drenaje entre cilindros cuando se usa aceite sintético. Además, los filtros de aceite de papel deben examinarse más de cerca para asegurarse de que el aceite no disuelva las resinas, lo que provocaría el colapso del filtro.

Como regla general, los aceites sintéticos no son compatibles con los aceites de base mineral y no se pueden mezclar con ellos. Además, la mayoría de los fabricantes recomiendan no mezclar diferentes marcas o tipos de aceites sintéticos. Si los fabricantes permiten mezclar, las pautas para hacerlo son estrictas. Por ejemplo, normalmente no se le permite mezclar diferentes tipos de sintéticos. Además, no está permitido mezclar marcas diferentes a menos que se hayan identificado como compatibles. (Sanderson, 2011)

Otra característica negativa del aceite sintético es su tendencia a ampollar o remover pintura. Si ocurre un derrame, límpielo inmediatamente con un solvente de petróleo. Al reparar un motor lleno de aceite sintético, evite la exposición excesiva o prolongada a su piel. Los lubricantes sintéticos contienen aditivos altamente tóxicos que se absorben fácilmente a través de la piel.

En lugar de una clasificación SAE, los aceites sintéticos reciben una clasificación de viscosidad cinemática en centistokes (cSt). Algunas etiquetas de contenedores de lubricantes sintéticos están marcadas con el valor centistoke, o medición de viscosidad métrica.

Por ejemplo, un aceite sintético con una clasificación de 5 centistoke tiene una viscosidad aproximadamente igual a la de un aceite a base de minerales de viscosidad múltiple SAE 5W10. Del mismo modo, un aceite de 7 centistoke tiene una viscosidad aproximadamente igual a la de un aceite de viscosidad múltiple SAE 5W20. (Sanderson, 2011)

2.8 MOTORES LYCOMING

Comenzó en 1845 como la Demorest Manufacturing Company produciendo máquinas de coser y bicicletas en Williamsport, PA. La maquinaria siempre insinuaba que vendrían cosas más grandes. Al convertirse en Lycoming Foundry and Machine Company en 1907, Lycoming desarrolló motores de automóviles en un mercado impulsado por las necesidades de una nación en guerra.

Inspirado por el vuelo transatlántico Charles Lindberg, Lycoming comenzó a desarrollar motores de aviación. A partir de 1929 la aviación nunca sería lo mismo. El primer Lycoming R-680, un motor radial de 9 cilindros y 200 caballos de fuerza, salió de la línea de ensamblaje y estableció un nuevo estándar en la aviación general.

Nuestros motores de pistón continúan evolucionando hoy a medida que desarrollamos tecnologías avanzadas para seguir siendo la potencia detrás de los aviones de aviación general. (Lycoming Engines, 2016)

2.8.1 IDENTIFICACIÓN

Los prefijos del motor de pistón de la aeronave son:

A — Acrobático (cárter seco)

AE — Acrobático (sumidero húmedo)

G — Engranado (engranaje de reducción)

H — Helicóptero

I — Inyección de combustible

L — Cigüeñal de rotación de la mano izquierda

M — Diseñado para aviones no tripulados

O — Cilindros opuestos

R — Cilindros radiales

S — Sobrealimentado

T — turboalimentado

V — Instalación vertical (generalmente para helicópteros)

X — motor de tipo X

Y — Experimental

2.8.2 MOTOR LYCOMING O-540-A4E5 SERIES

2.8.2.1 DESCRIPCIÓN

- El motor de la serie Lycoming O-540-A4E5 es un motor enfriado por aire, de seis cilindros y transmisión directa. Este motor tiene un alternador y arrancador de tipo automotriz, dos accesorios de tipo AN, dos unidades para una bomba de combustible tipo diafragma y un gobernador de hélice. (Engines, 2012)

2.8.2.2 Cilindros

- Cada uno de los seis cilindros del motor enfriados por aire y nitrados (identificados por pintura azul) entre los tubos de la cubierta tiene anillos, pistones, varillas de empuje, válvulas, resortes de válvula y taqués de rodillos hidráulicos. La cabeza del cilindro y el barril se atornillan y encogen juntos.
- El mecanismo de operación de la válvula utiliza un árbol de levas convencional ubicado arriba y paralelo al cigüeñal. El árbol de levas acciona los empujadores de rodillos hidráulicos. Estos taqués se ajustan a la expansión o contracción que se produce en el tren de válvulas. Los taqués de rodillos utilizan varillas de empuje y balancines de válvulas para operar las válvulas.
- Se puede instalar un termopar de tipo bayoneta en la culata.
- El combustible y el aire entran en el cilindro a través de la culata para la mezcla y la combustión dentro del cilindro.
- Las bielas tienen insertos de cojinete reemplazables en los extremos del cigüeñal. Dos pernos que sujetan las tapas de los cojinetes al extremo del cigüeñal de cada barra.
- El motor tiene deflectores de refrigeración entre cilindros. (Engines, 2012)

2.8.2.3 Caja del cigüeñal

- El cárter se compone de dos piezas fundidas reforzadas divididas en la línea central del motor. Las piezas de fundición están unidas por una serie de espárragos, pernos y tuercas. Las superficies de contacto de las dos piezas fundidas se unen sin una junta.
- El cárter forma los cojinetes para el árbol de levas. El árbol de levas acciona los empujadores de rodillos hidráulicos que controlan la apertura y el cierre de las válvulas de admisión y escape.

- Los orificios del cojinete principal están mecanizados para insertos de cojinete principal de tipo de precisión. Los cojinetes principales del cigüeñal son pares de insertos instalados en el cárter en cada registro.
- El cigüeñal está dentro del cárter. El cigüeñal tiene diarios y contrapesos. Los contrapesos disminuyen las vibraciones torsionales a medida que el cigüeñal gira para operar la hélice.
- El eje de la hélice es una parte integral del cigüeñal. El aceite se suministra a través del eje de la hélice para una hélice de paso controlable de simple efecto.
- El eje de transmisión de la hélice es parte del cigüeñal de acuerdo con la especificación AS127, Tipo 2. (Engines, 2012)

2.8.2.4 Sistema de encendido

El sistema de encendido incluye:

- 12 V, 60 amp. Alternador de rectificador automático (24 V, alternador de 70 amp opcional)
- Arrancador de 12 V (arrancador opcional de 24 V)
- Dos magnetos
- Doce bujías de largo alcance protegidas por radio, dos para cada cilindro
- Arnés de encendido de alambre trenzado con protección contra la intemperie.
- Unidad de tacómetro.

2.8.2.5 Sistema de combustible e inducción.

El sistema de combustible del motor incluye una bomba de combustible tipo diafragma y un carburador de control de altitud de mezcla. Este

carburador tiene un orificio roscado para la conexión a la entrada de combustible. (Engines, 2012)

2.8.2.6 Sistema de refrigeración

El enfriamiento del motor es por presión de aire. Los deflectores generan suficiente presión para empujar el aire a través de las aletas del cilindro. El escape de aire fluye hacia la atmósfera a través de branquias o bandas en la parte posterior de la plataforma. (Engines, 2012)

2.8.2.7 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación incluye un cárter húmedo, una bomba de aceite, una varilla de medición de aceite, una pantalla de succión de aceite, líneas de aceite. La barra de llenado y el llenado de aceite está en el lado del motor. La parte inferior del sumidero tiene dos tapones de drenaje. (Engines, 2012)

2.8.2.8 Designación de números de cilindros

La hélice está en la parte delantera del motor y los accesorios están en la parte trasera del motor. Cuando vea el motor desde la parte superior, los cilindros en el lado izquierdo son 2-4-6. El cilindro 2 está en la parte delantera del motor. Cuando ve el motor desde la parte superior, los cilindros de la derecha son 1-3-5. El cilindro 1 está en la parte delantera del motor. El orden de encendido de los cilindros es 1-4-5-2-3-6. (Engines, 2012)

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 PRELIMINARES

En el presente capítulo se detallan los procedimientos que se realizaron para la inspección del sistema de lubricación y el mantenimiento de sus componentes de acuerdo al manual de mantenimiento del motor LYCOMING O-540-A4E5 con las medidas de precaución y seguridad necesarias para evitar daños. Se aplicó todo el conocimiento y entrenamiento adquiridos en la Unidad de Gestión de Tecnologías y con la tutoría del Tlgo. Andres Arevalo encargado de este proyecto para el correcto desenvolvimiento en la tarea de mantenimiento. Este proyecto de graduación se plasmó con la finalidad de proporcionar un motor alternativo de seis cilindros opuestos capaz de soportar los chequeos operacionales y cualquier tipo de ignición, por medio de su sistema de lubricación brindando la preservación de sus componentes mecánicos internos como beneficio para la institución, aporte para el aprendizaje teórico y práctico de los docentes y estudiantes.

3.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD

- Utilizar EPP
- Señalética de precaución e identificación
- Uso de herramientas y equipos especiales
- Uso del aceite adecuado para el motor
- Igniciones controladas como verificación de funcionamiento del sistema

3.3 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN

- Juego de desarmadores punta estrella y plano
- Juego de dados cuadro de 1/4
- Racha doble sentido cuadro de 1/4
- Entorchador

- Juego de llaves mixtas en pulgadas
- Juego de llaves hexagonales
- Berbiquí
- Alicata
- Playo
- Martillo de goma
- Martillo de metal
- Linterna

3.4 PROCEDIMIENTOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN

3.4.1 DESMONTAJE DEL SUMIDERO DE ACEITE

1. Se dreno el aceite previo al desmontaje del sumidero utilizando una llave mixta 3/4 para retirar el tapón enroscado.
2. Se desinstalado el tanque de aceite utilizando el juego de copas cuadro de 1/4 por 7/16 con una extensión de 10 pulgadas y una racha reversible para retirar alrededor de 23 pernos, de acuerdo al manual de operación del motor, procedimientos de mantenimiento sección 5 literal b. (**ANEXO A**).



Figura 31 Desmontaje del tanque de aceite

3. Una vez desinstalado el tanque de aceite del bloque motor se aplicó el método de inspección visual para descartar cualquier tipo de daño, corrosión o rajaduras de la carcasa o juntas de bancada.



Figura 32 Inspección de condición del sumidero

4. Se realizó una limpieza con disolvente desengrasante nafta, por el uso y desgaste de los componentes mecánicos se encontraban mezclados y solidificados en las partes menos accesibles.



Figura 33 Restos de impurezas de aceite

5. Una vez realizada la limpieza y mantenimiento del tanque de aceite se obtuvo un buen resultado en condición del componente, previa su instalación se ejecutó una limpieza de la bancada del sumidero en el bloque motor.

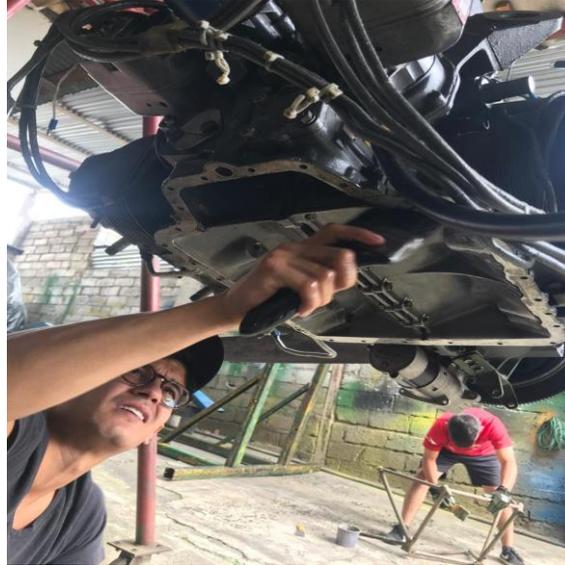


Figura 34 Limpieza superficie bancada de sumidero bloque motor

3.4.2 INSTALACIÓN DEL TANQUE DE ACEITE

1. Se preparó los bordes de sujeción colocando un nuevo empaque y un sello en pasta de alta temperatura en el tanque de aceite antes de ser sujetado a la bancada del bloque motor, de acuerdo al Manual de operación pagina 5-8, numeral 3, literal b sección NOTA (**ANEXO A**).



Figura 35 Empaque y sello tanque de aceite

2. Se cambió igualmente los empaques necesarios de los ductos por gravedad de recolección de aceite y del tapón de drenaje de aceite.



Figura 36 Empaques adicionales del sumidero

3. Con la ayuda del personal técnico se realizó la instalación del tanque de aceite o sumidero utilizando las herramientas del juego de dados de cuadro de 1/4 por 7/16 con una extensión de 10 pulgadas y una racha reversible de cuadro de 1/4, aplicando un torque estándar de 110 a 130 libras/pulgada a cada perno.



Figura 37 Instalación tanque de aceite

3.4.3 REMOCIÓN DEL FILTRO DE ACEITE

1. Como una inspección descrita en el manual de operación del motor por cada 25 horas de vuelo se debe realizar el cambio del filtro de aceite tipo diafragma de acuerdo al Manual de Mantenimiento del motor página 51 numeral 4 literal A, B y C (**ANEXO B**).
2. Se utilizó una llave 11/16 mixta para retirar el torque del perno principal, tomando en cuenta el mecanismo del filtro es de carcasa fija y filtro interno cambiable.



Figura 38 Remoción filtro de aceite

3. Un recipiente se coloca junto al filtro para evitar derrames y en el mismo recipiente se riega el restante de aceite que lo contiene para realizarle una limpieza y su respectivo cambio.



Figura 39 Reemplazo del filtro

4. Un motivo de la remoción del filtro de aceite es realizar una inspección al bloque del conjunto de la válvula de derivación donde se ubica el filtro de aceite para verificar si el resorte no se encuentra retraído o defectuoso o existan danos o rajaduras en los mecanismos.



Figura 40 Soporte del filtro

3.4.4 INSTALACIÓN DEL FILTRO

1. Se reemplaza el componente filtrante por uno nuevo del mismo tipo en este caso diafragma y se coloca en el soporte de la carcasa del filtro de acuerdo al Manual de Mantenimiento del motor página 51 numeral 4 literal A, B y C (**ANEXO B**).



Figura 41 Filtro instalado

2. La verificación de que se encuentra bien instalado es cuando el asiento del filtro cierra herméticamente y el perno enroscado llega al total de su carrera.
3. Usando la misma llave mixta de 11/16 sin ningún torque en específico y determinando las especificaciones del fabricante de deja por instalado el filtro y asegurando con un frenado unidireccional en el perno.

3.4.5 REEMPLAZO DE LOS SELLOS O EMPAQUES DE LOS CUBRE VÁLVULAS

1. Con un desarmador plano se removi6 las cubre v6lvulas para realizar los cambios de los sellos de los seis cilindros del motor de acuerdo al Manual de Mantenimiento del motor pagina 11, numeral 3, literal B (ANEXO C).



Figura 42 Cubre v6lvulas



Figura 43 Conjunto de balancines

2. No obstante, de acuerdo al manual de overhaul del fabricante indica verificar los balancines, asientos de válvula, guías de válvulas, varillas de empuje y espirales por desgaste, motivos generados como la falta de lubricación o fugas en los sellos de los cubre válvulas ocasionado por la falta de aceite.
3. Cumplida con la inspección y realizado una limpieza general se coloca los sellos originales de material BUNA-N elastómero con fabricado con materiales orgánicos para resistir y retener al aceite, también se puede usar sellos no certificados cuando el motor no sea Aero navegable de material de asbesto y se instalan de forma húmeda esto quiere decir con una grasa especial para su fijación y conservación a la herrumbre o corrosión.

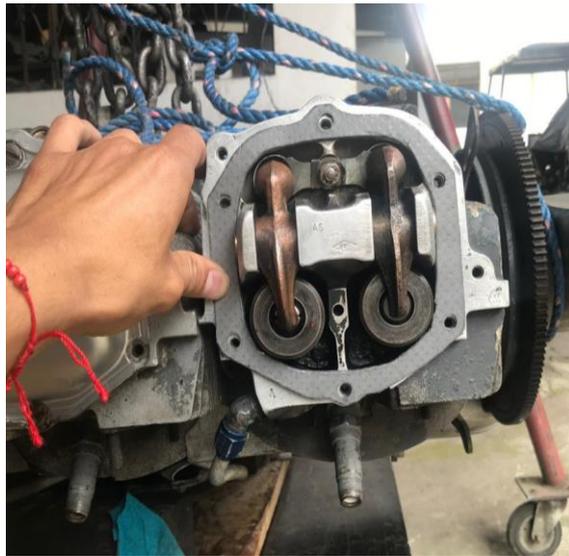


Figura 44 Instalación del empaque o sello

3.4.6 INSTALACIÓN DEL OIL COOLER

1. El oil cooler del motor se encontraba en mal estado y respectivamente se encontraba obsoleto por tal motivo se adquirió un enfriador de aceite usado, pero en mejores condiciones.

2. El oil cooler fue aplicado a una prueba de fugas y realizado un mantenimiento antes de su instalación pintándolo con un material anti oxidante para su preservación,
3. El oil cooler en un motor alternativo es enfriado por aire y depende de la capacidad y numero de cilindros contiene las espiras o paneles tipos abeja para realizar la convección internamente por medio de los tubos acanalados, que suelen ser fabricados de bronce o cobre dependiendo las necesidades.



Figura 45 Instalación enfriador de aceite

3.5 AJUSTE DE LA PRESIÓN DE ACEITE

1. En la mayoría de estos motores, hay un tornillo de ajuste en la carcasa de la válvula de alivio de presión de aceite. La rotación de este tornillo se usa para aumentar o disminuir la presión del aceite para mantenerlo dentro de los límites operativos especificados.



Figura 46 Válvula reguladora de presión de aceite

2. La presión aumenta o disminuye con el ajuste de la presión del aceite, se aplica al tornillo de ajuste y solo se utiliza un desarmador para su ajuste.
3. Ajuste de presión de aceite de acuerdo al Manual de Mantenimiento del motor pagina 101, numeral 2, Literal A (**ANEXO D**)
 - AVISO: En la mayoría de estos motores, hay un tornillo de ajuste en la carcasa de la válvula de alivio de presión de aceite. La rotación de este tornillo se usa para aumentar o disminuir la presión del aceite para mantenerlo dentro de los límites operativos especificados en el Apéndice A del Manual de instalación y operación del motor de la serie O-540-A4E5.
 - Herramientas: Es necesario un destornillador para este procedimiento.



Figura 47 Regulación de presión de aceite

3.6 VERIFICACIÓN DE AJUSTE DE LA PRESIÓN DE ACEITE

1. El motor debe instalarse en la estructura del avión o en un banco de pruebas para completar este procedimiento.
2. La estructura o banco del motor debe contener una fijación adecuada al piso para que no genere oscilación por efecto de la vibración y el giro de la hélice.



Figura 48 Motor en banco de pruebas

3.7 ENCENDIDO Y OPERACIÓN DEL MOTOR

1. Para verificar que la presión del aceite es la adecuada en el arranque del motor se debe de tomar en cuenta varios procedimientos ejecutados para determinar la presión adecuada de acuerdo al manual (**ANEXO D**).
2. Arranque y opere el motor según las instrucciones del Manual de instalación y operación del motor de la serie O-540-A4E5 pagina 3-2, numeral 3 y literal a (**ANEXO E**).
 - a) Se recomiendan los siguientes procedimientos de arranque; sin embargo, las características iniciales de varios motores requieren una variación de estos procedimientos.
 - b) Realizar inspección previa al encendido.
 - c) Coloque el control de calor del carburador en la posición "fría".
 - d) Coloque el gobernador de la hélice (si corresponde) en la posición de "RPM completa".
 - e) Gire la válvula de combustible a la posición "on".
 - f) Mueva el control de la mezcla a "Full Rich".

- g) Encienda la bomba de refuerzo.
 - h) Bombee el acelerador a plena apertura y vuelva a la posición de ralentí durante 2 a 3 golpes para un motor frío. Si el motor está equipado con un sistema de cebado, los motores fríos pueden cebarse con 1 a 3 golpes de la bomba de cebado.
 - i) Abra el acelerador aproximadamente $\frac{1}{4}$ de recorrido.
 - j) Ajuste el interruptor selector magneto. Consulte el manual del fabricante del fuselaje para la posición correcta.
 - k) Cuando arranque el motor, coloque el interruptor selector magneto en la posición "Ambos".
3. Poner en marcha el motor a 2000 rpm, registre la lectura de presión de aceite, si la presión del aceite está fuera de tolerancia, apague el motor.



Figura 49 Motor en banco de pruebas

4. Para aumentar la presión de aceite, use un destornillador en la ranura del tornillo para girar el tornillo de ajuste de presión de aceite en la válvula de alivio de presión de aceite en sentido horario.

3.8 RANGOS DE PRESIÓN E INSPECCIÓN DE FUGAS

1. Los Rangos de presión fueron los esperados después de la calibración de la válvula de presión y los límites de RPM necesarios para su verificación (**ANEXO D**).

2. Se puede esperar que la presión de aceite habitual varíe desde 115 psi, durante el arranque y el calentamiento del motor, hasta 25 psi en idle.
3. Si hay indicios de fugas después de la operación alrededor de los sellos de aceite y las juntas, identifique la fuente de la fuga y repare según sea necesario. Reemplace los sellos de aceite y las juntas con fugas.



Figura 50 Indicación presión de aceite

3.9 SIMBOLOGÍA EN DIAGRAMAS DE FLUJO DE ANÁLISIS

Los diagramas de flujo usan formas especiales para representar diferentes tipos de acciones o pasos en un proceso. Las líneas y flechas muestran la secuencia de los pasos y las relaciones entre ellos. Estos son conocidos como símbolos de diagrama de flujo (**ANEXO F**). (SMARTDRAW, 2017)

3.10 PRESUPUESTO

El presupuesto presentado en el anteproyecto era un presupuesto con valores promedios que rodeaba 2500 USD y no eran valores fijos, pero durante todo el tiempo en el que se desarrolló el proyecto se llegó al valor total.

3.10.1 ANÁLISIS DE COSTOS

Para la adquisición del motor, traslado de una provincia hasta la Unidad de Gestión de Tecnologías, compra de componentes faltantes y adicionales, ejecución de la tarea de mantenimiento, se dividió en dos costos para su análisis.

Costos primarios

- Materiales y herramientas

Costos secundarios

- Trámites de solicitudes de graduación
- Elaboración de textos
- Protocolización de documentos de legalización del motor
- Varios

3.10.2 COSTOS PRIMARIOS

Tabla 1
Total de costos primarios

Descripción	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
Motor LYCOMIG O-540	1	1500	1500
Oil Cooler	1	300	300
Empaques	14	6	84
Acoples	2	5	10
Mangueras de presión de aceite	2	15	30
Loctite	1	10	10
Transporte motor	2	150	300
Combustible AVGAS	5gal	8	40
Abrazaderas	4	0.50	2
Aceite motor	3gal	40	120
TOTAL			2.396

3.10.3 COSTOS SECUNDARIOS

Tabla 2
Total de costos secundarios

N°	Detalle	Valor total (USD)
1	Trámites de solicitudes de graduación	20
2	Elaboración de textos	40
3	Varios (Transporte, alimentación)	200
	TOTAL	260

3.10.4 COSTO TOTAL DEL PROYECTO DE GRADO

Tabla 3
Total costo del proyecto

N°	Detalle	Valor total (USD)
1	Gastos primarios	2396
2	Gastos secundarios	260
	TOTAL	2.656

CAPITULO IV

4.1 CONCLUSIONES

- Con la ayuda de información y las especificaciones técnicas del conocimiento teórico-práctico adquirido en la Unidad de Gestión de Tecnologías-ESPE se logró con satisfacción la inspección y el servicio del sistema de lubricación del motor LYCOMING O-540-A4E5.
- Gracias a las gestiones personales y de los compañeros que comparten varios temas y tareas de mantenimiento como proyecto de grado en la misma Unidad y en el mismo suvenir se pudo adquirir y entregar un motor alternativo de 6 cilindros a la Carrea de Mecánica Aeronáutica.
- Por el estado del motor LYCOMING O-540-A4E5 se ejecutó una inspección inicial y una detallada del sistema de lubricación, donde se aplicó un chequeo de 25 horas de acuerdo al manual de servicio aplicable al motor.

4.2 RECOMENDACIONES

- Es importante que el uso adecuado y una buena interpretación de los manuales de mantenimiento y operación del motor sean comprendidos para no cometer errores al confundirse de componentes.
- Para el correcto desarrollo del proyecto se utilizó las herramientas adecuadas y los conocimientos adquiridos en la Unidad, pero no está por demás mencionar la dificultad de realizar tareas de mantenimiento en un motor funcional y con el mínimo conocimiento sobre el motor, sin ayuda de un técnico certificado.
- La seguridad en este proyecto fue uno de los procesos más tomados en cuenta para no ejecutar daños en el motor, sin embargo, por la inexperiencia se ejecutaron tareas repetitivas al no conocer los procedimientos de advertencias y precauciones del manual de mantenimiento.

GLOSARIO

Avión: Aerodino propulsado por motor que debe su sustentación en vuelo principalmente a reacciones aerodinámicas ejercidas sobre superficies que permanecen fijas en determinadas condiciones de vuelo.

Aeronavegabilidad: Aptitud técnica y legal que deberá tener una aeronave para volar en condiciones de operación segura.

Carter: El cárter es una de las partes de las que se compone un motor, habitualmente tiene forma de caja metálica que aloja elementos de mecanismos operativos del motor como el cigüeñal. Es el elemento que cierra el bloque, de forma estanca, por la parte inferior, protegiéndolo, y que cumple adicionalmente con la función de actuar como depósito para el aceite del motor. Simultáneamente, este aceite se refrigera al ceder calor al exterior.

Cigüeñal: Pieza del motor del automóvil y otras máquinas que consiste en un eje con varios codos, en cada uno de los cuales se ajusta una biela, y está destinada a transformar el movimiento rectilíneo de los pistones en rotativo, o viceversa.

Lubricación: La lubricación o lubricación es el proceso o técnica empleada para reducir el rozamiento entre dos superficies que se encuentran muy próximas y en movimiento una respecto de la otra, interponiendo para ello una sustancia entre ambas denominada lubricante que soporta o ayuda a soportar la carga (presión generada) entre las superficies enfrentadas.

Grupo Motor: Conjunto compuesto de uno o más motores y elementos auxiliares, que juntos son necesarios para producir tracción.

Motor aeronáutico: Un motor aeronáutico o motor de aviación es aquel que se utiliza para la propulsión de aeronaves mediante la generación de una fuerza de empuje. Existen distintos tipos de motores de aviación, aunque se dividen en dos clases básicas: motores recíprocos o de pistón y de turbina de gas. Recientemente y gracias al desarrollo de la NASA y otras entidades,

se ha comenzado también la producción de motores eléctricos para aeronaves que funcionen con energía solar fotovoltaica.

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.

Motor de la Aeronave: Motor empleado o cuya intención es impulsar una aeronave. Incluye turbos sobrealimentadores, componentes y accesorios necesarios para su funcionamiento excluyendo las hélices.

Planta de poder: Grupo motor de una aeronave que genera empuje para la aceleración, energía eléctrica, aire de sangrado para aire acondicionado y presiones hidráulicas para control de superficies.

Sistema: Combinación de componentes y/o accesorios interrelacionados a distancias para desarrollar una función específica. Incluye los componentes básicos y todos los instrumentos, controles, unidades, piezas y partes mecánicas, eléctricas, y/o hidráulicas o equipos completos relacionados con el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

ADMINISTRATION, F. A. (2012). Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant. Oklahoma.

ADMINISTRATION, F. A. (2012). Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant Volume 2.

Bridgman, L. (12 de Febrero de 1988). Jane's Fighting Aircraft of World War II. New York. Obtenido de Taringa: https://www.taringa.net/+apuntes_y_monografias/motores-aeronauticos-parte-2-motor-en-linea_i5l1b

BRISTOL-SIDDELEY. (1966). DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MOTOR VIPER MK 522. WICHITA, KANSAS: RAYTHEON AIRCRAFT COMPANY.

Comeflywithme. (16 de Junio de 2014). Obtenido de <http://comeflywithme.blogspot.es/categoria/tipos-de-motores-de-avion/>

Engines, L. (2012). Lycoming Operation Manual O-540-A4E5 Series. Williamsport.

Esteban, O. A. (2007). Comocimientos del Avión. Thompson Paraninfo.

Lycoming Engines. (2016). Obtenido de <https://www.lycoming.com/history>

Navarro, M. Á. (s.f.). Manual de Vuelo. Obtenido de Manual de Vuelo: <http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF31.html>

Sanderson, J. (2011). A&P TECHNICIAN POWER PLANT Textbook.

SMARTDRAW. (2017). Símbolos de diagrama de flujo. Recuperado el 23 de Julio de 2017, de <https://www.smartdraw.com/flowchart/simbolos-de-diagramas-de-flujo.htm>

Takeoff Briefing. (s.f.). Obtenido de <http://www.takeoffbriefing.com/como-funciona-un-motor-a-reaccion/>

Takeoff Briefing. (2012). Obtenido de <http://www.takeoffbriefing.com/wp-content/uploads/2012/12/turbohelice.jpg>

ANEXO