



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL MOTOR ALTERNATIVO *LYCOMING*
O-320-E2D DE LA AERONAVE *CESSNA 172***

César Estuardo Alvarado Morales

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL MOTOR ALTERNATIVO *LYCOMING*
O-320-E2D DE LA AERONAVE *CESSNA 172***

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CÉSAR ESTUARDO ALVARADO MORALES

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortíz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL MOTOR ALTERNATIVO *LYCOMING* O-320-E2D DE LA AERONAVE *CESSNA* 172

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 22 de agosto de 2018.



César Estuardo Alvarado Morales

Guatemala, 25 de Octubre de 2018

Ingeniero
Julio Cesar Campos Paiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Campos:

Me dirijo a usted deseándole éxitos en sus labores diarias. Por este medio hago constar que he tenido el agrado de asesorar el trabajo de graduación del estudiante **CÉSAR ESTUARDO ALVARADO MORALES**, con registro académico **200924528** y CUI **2179 99166 0101**, titulado: "MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL MOTOR ALTERNATIVO **LYCOMING O-320-E2D** DE LA AERONAVE **CESSNA 172**". Habiendo supervisado su elaboración y realizado las correcciones correspondientes, doy aprobada la presente para que continúe con el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,


Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado 3071
ASESOR



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.303.2018

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL MOTOR ALTERNATIVO LYCOMING O-320-E2D DE LA AERONAVE CESSNA 172** desarrollado por el estudiante **César Estuardo Alvarado Morales, CUI 2179991660101**, Registro Académico **200924528** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre 2018



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.036.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL MOTOR ALTERNATIVO LYCOMING O-320-E2D DE LA AERONAVE CESSNA 172** desarrollado por el estudiante **César Estuardo Alvarado Morales**, CUI 2179991660101, Registro Académico **200924528** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, febrero de 2019

/aej

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.83.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica del trabajo de graduación titulado: **“MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL MOTOR ALTERNATIVO LYCOMING O-320-E2D DE LA AERONAVE CESSNA 172”** presentado por el estudiante universitario: **César Estuardo Alvarado Morales** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, Febrero de 2019

/echm

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mí guía que me ha dado la fe, sabiduría e inteligencia para llegar a este punto de mi vida.
Mi padre	César Argelio Alvarado, por ser mi mentor, al brindarme todos sus conocimientos, experiencias y apoyo incondicional
Mi madre	Carolina Morales de Alvarado, por ser mi guía y luz de mi camino, brindándome su amor y aliento en toda mi vida.
Mis hermanas	Goldy Johana y Melodie Pamela, por darme su ejemplo de perseverancia y apoyo incondicional.
Mi novia	Ana Luisa Fernanda Juárez, por estar presente en cada fase de mi formación académica, brindarme los ánimos y apoyo necesario para seguir adelante.
Mis sobrinos	Por inyectarle alegría y felicidad a mi vida y llenar mi núcleo familiar.
Mis amigos	Por formar parte especial en mi vida, compartiendo momentos inolvidables en este proceso de formación académica.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser una casa de estudios que brinda la oportunidad de preparar profesionales con sentido social al servicio del país.

Facultad de Ingeniería

Por darme la capacidad de desempeñarme como ingeniero.

**Mis amigos de la
Facultad**

Estuardo Dubón, Javier Velásquez, Manfredo Martínez, Jorge Velásquez, Erickson Hernández, Alfredo Pineda, por estar presentes en cada etapa de mi proceso académico brindándome su amistad y apoyo en todo momento.

Mi asesor

Ing. Carlos Pérez, por ser la persona que me guio en mi proceso académico, brindándome su experiencia y consejos profesionales.

	2.1.1.6.	Mantenimiento de clase mundial.....	21
2.1.2.		Mantenimiento de aviación	21
	2.1.2.1.	Mantenimiento no programado	22
		2.1.2.1.1. Reportes de tripulación..	22
		2.1.2.1.2. Reportes de mantenimiento	23
	2.1.2.2.	Mantenimiento programado	23
2.2.		Motor alternativo de aeronaves	24
	2.2.1.	Motor radial	25
	2.2.2.	Motor horizontalmente opuesto	25
2.3.		Código de identificación de motores <i>Lycoming</i>	26
2.4.		Componentes principales	27
	2.4.1.	Caja de cigüeñal.....	27
	2.4.2.	Cigüeñal	28
	2.4.3.	Contrapesos del cigüeñal	28
	2.4.4.	Cubierta de accesorios.....	28
	2.4.5.	Caja de conexión de rodamientos principales.....	29
	2.4.6.	Pistones	29
	2.4.7.	Anillos.....	30
	2.4.8.	Sistema de lubricación	30
	2.4.9.	Árbol de levas.....	31
	2.4.10.	Empujadores hidráulicos	31
	2.4.11.	Sistema de refrigeración.....	31
	2.4.12.	Sistema de combustible.....	32
		2.4.12.1. Carburado.....	32
		2.4.12.2. Inyectado	32
	2.4.13.	Sistema de encendido	33
2.5.		Aeronave <i>Cessna 172</i>	34
	2.5.1.	Descripción general.....	34

2.5.2.	Dimensiones principales	34
2.5.3.	Motor	35
2.5.4.	Hélice.....	35
2.5.5.	Capacidad de combustible	35
2.5.6.	Superficies de control.....	35
2.5.6.1.	<i>Flaps</i>	36
2.5.6.2.	Alerones.....	36
2.5.6.3.	<i>Rodder</i>	36
2.5.6.4.	Elevador.....	37
2.5.7.	Tren de aterrizaje	37
3.	CONTROL DE MANTENIMIENTO	39
3.1.	Herramienta y equipo	39
3.2.	Frecuencia de mantenimiento.....	41
3.3.	Diagramas de proceso.....	42
3.4.	Manejo en tierra de la aeronave	42
3.5.	Inspecciones generales de la aeronave.....	43
3.6.	Inspección prevuelo de motor	43
3.7.	Inspección 25 horas.....	44
3.8.	Inspección 50 horas.....	44
3.9.	Inspección 100 horas.....	44
3.10.	Inspección 400 horas.....	45
3.11.	Inspección no programada	45
3.12.	Componentes con vida límite.....	46
4.	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.....	47
4.1.	General.....	47
4.2.	Sistema de combustible.....	54
4.3.	Sistema de lubricación.....	57

4.4.	Procedimiento para la solución de problemas	58
4.5.	Lista de verificación.....	64
CONCLUSIONES		67
RECOMENDACIONES		69
BIBLIOGRAFÍA.....		71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Típico motor <i>Lycoming</i> O-320 series, vista delantera derecha	10
2.	Típico motor <i>Lycoming</i> O-320 series, vista trasera izquierda	10
3.	Aeronave <i>Cessna 172</i>	11
4.	Sistema típico de mantenimiento	14
5.	Categorías del mantenimiento preventivo	16
6.	Comparativo del MC, MP y MPd respecto al tiempo	17
7.	Motor alternativo de la aeronave <i>Cessna 172</i>	24
8.	Caja de cigüeñal	27
9.	Cigüeñal	28
10.	Cubierta de accesorios	29
11.	Árbol de levas	30
12.	Carburador <i>Marvel Schebler</i> MA-4SPA	33
13.	<i>Cowling</i> de motor	48
14.	Magneto	49
15.	Verificación del punto tc	50
16.	Medición de ohmios de bujías	51
17.	Sistema de combustible con carburador	55
18.	Entrada de combustible al carburador	56
19.	Válvula de drenaje de aceite	57
20.	Enfriador de aceite	58
21.	Filtro de aceite	58

TABLAS

I.	Código de identificación de motores <i>Lycoming</i>	26
II.	Dimensiones aeronave <i>Cessna 172</i>	34
III.	Herramientas de uso especial.....	40
IV.	Especificaciones técnicas del motor Lycoming O-320- E2D	47
V.	Solución de problemas de funcionamiento de motor.....	59
VI.	Solución de problemas sistema de lubricación	62
VII.	Solución de problemas sistema de combustible.....	63
VIII.	Modelo de lista de verificación	66

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
hp	Caballo de fuerza
“”	Comillas
qts	Cuartos de galón
gal	Galón
°	Grados
°c	Grados centígrados
h	Horas
kg	Kilogramo
lbs	Libras
lbs/p	Libras por pie
psi	Libras por pulgada cuadrada
m	Metro
m²	Metro cuadrado
%	Porcentaje

GLOSARIO

AD	Directiva de aeronavegabilidad.
Aeronave	Vehículo aéreo.
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.
AVCO	Empresa estadounidense.
AVGAS	Gasolina para motores recíprocos de aviación.
<i>Baffle</i>	Mecanismo para dirigir el flujo de aire.
Bujía	Dispositivo productor de chispa dentro de la cámara de combustión.
<i>Carter</i>	Cubierta de aleación de aluminio que contiene el cigüeñal.
<i>Cessna</i>	Empresa estadounidense fabricante de aeronaves.
Corrosión	Deterioro del material a consecuencia de un ataque electroquímico de su entorno.
<i>Cowling</i>	Cubierta removible de motor aeronáutico.

DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil.
Empenaje	Conjunto de elementos estructurales estabilizadores del avión.
FAA	Administración Federal de Aviación Estadounidense.
Falla	Avería de un motor.
Fuselaje	Estructura principal de un avión.
Ignición	Punto de combustión de la mezcla en un motor.
Inspección	Proceso de examinar un componente o sistema.
Instrumento	Aparato medidor de magnitudes físicas.
<i>Lycoming</i>	Empresa estadounidense diseñadora de motores aeronáuticos.
Magneto	Dispositivo autogenerador de energía eléctrica.
<i>Manifould</i>	Conjunto de tubería para colector de gases.
Manómetro	Instrumento para medir presión de gases y fluidos.
Mantenibilidad	Facilidad de mantener.
Mantenimiento	Conservación de un equipo, sistema o componente.

Max.	Parámetro máximo.
MC	Mantenimiento correctivo.
MCM	Mantenimiento de clase mundial.
Mezcla	Relación de cantidad de aire y combustible.
Min.	Parámetro mínimo.
MP	Mantenimiento preventivo.
MPd	Mantenimiento predictivo.
MPT	Mantenimiento productivo total
MSG	Lógica analítica de mantenimiento centrado en la confiabilidad.
Muffler	Sistema de reducción de ruido en sistema de escape.
Octano	Capacidad antidetonante del combustible.
Piper	Empresa estadounidense diseñadora de aeronaves.
PMS	Punto muerto superior de la cabeza del pistón dentro del cilindro.
RCM	Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Rpm	Revoluciones por minuto.
SAE	Sociedad de ingenieros automotrices.
<i>Spinner</i>	Cono cobertor del centro de la hélice.
<i>Stol</i>	Despegue y aterrizajes en distancia corta de aeronaves.
Sustentación	Fuerza perpendicular generada por el aire a la superficie total del ala de la aeronave.
<i>Switch</i>	Interruptor de paso de corriente eléctrica.
TBO	Tiempo medido entre cada reparación mayor de componentes aéreos.
Textron	Empresa estadounidense diseñadora de motores aeronáuticos.
Vibración	Movimiento repetitivo alrededor de un componente que genera tensión y deformación.

RESUMEN

El mantenimiento aeronáutico debe realizarse de manera adecuada y siguiendo las recomendaciones del fabricante, así como la información técnica y boletines de servicio que se publican referente a cada tipo y modelo de aeronave.

A lo largo de la historia del mantenimiento se han creado diferentes métodos en la ejecución del mantenimiento. La industria aeronáutica ha sido pionera en establecer estándares y parámetros a cada tipo de mantenimiento, adoptados por la industria en general.

Cada modelo de motor utilizado en aeronáutica conlleva diferentes equipos y componentes, que requieren métodos y tareas de mantenimiento que se adecuen a cada necesidad de los equipos, con base en su condición y ambiente de operación.

La administración y control de los trabajos de mantenimiento se regulan mediante su tiempo en horas de operación de sus componentes. Este control es esencial para que la aeronave y sus componentes cumplan con el tiempo entre cada reparación mayor, establecido por el fabricante. Es esencial coordinar la demanda de mantenimiento, los recursos necesarios, herramienta y equipo, procedimientos, información técnica y talento humano para lograr ejecutar con eficiencia, confiabilidad y seguridad toda tarea de mantenimiento.

Un programa controlado de mantenimiento adecuado a cada motor de cada aeronave, tiene como resultado una reducción de costos y mejora de la confiabilidad de la misma. La planeación integrada de cada rutina de

mantenimiento, que incluye la inspección y servicios de los componentes en intervalos específicos, es de vital importancia para elevar la calidad y disponibilidad del motor y todos sus componentes.

OBJETIVOS

General

Realizar un plan de mantenimiento preventivo al motor alternativo *Lycoming* O-320-E2D de la aeronave *Cessna* 172.

Específicos

1. Describir el funcionamiento del motor alternativo utilizado en la propulsión de aeronaves.
2. Definir los componentes y equipos necesarios contenidos en el motor alternativo aeronáutico.
3. Determinar los materiales, equipos y herramientas necesarias para la realización del mantenimiento en la aeronave.
4. Realizar un plan estructurado de mantenimiento para conservación de la vida útil, mejorar su eficiencia y reducir costos.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la vida diaria de todas las personas, se requieren de diferentes herramientas, componentes y servicios que han sido fabricados para satisfacer sus necesidades.

El transporte de personas a diferentes lugares, en el menor tiempo posible, se ha convertido en una necesidad. El transporte terrestre se ha tornado deficiente, debido al crecimiento exponencial de los vehículos. Dado esto, el transporte aéreo ha tomado un lugar importante, estratégico y se ha convertido en una necesidad, así como mantener las aeronaves en perfectas condiciones es una responsabilidad.

Las tareas de mantenimiento de aeronaves se basan en técnicas de análisis de información para determinar procesos de intervención, con el fin de garantizar una disponibilidad, fiabilidad y seguridad óptima de la aeronave. Gracias al avance técnico y el uso de herramientas de control se ha logrado reducir costos de reparación y tiempo de inactividad de la aeronave.

La aeronave *Cessna 172* es un avión compacto, liviano y versátil. Operado por un tripulante y con capacidad de tres pasajeros. Estas características lo convierten en un avión ideal para el transporte aéreo dentro del territorio guatemalteco.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Descripción histórica del mantenimiento

Dentro de la vida cotidiana usamos herramientas y componentes que se han fabricado para un fin en específico, los cuales cada día a día se perfeccionan para satisfacer las necesidades y las demandas de los usuarios. Durante la primera revolución industrial, se consideró que para fabricar un producto cualquiera, era necesario emplear el 90 % de mano de obra humana y el resto lo proporcionaban las máquinas. Con el paso del tiempo, la necesidad de mantener estas máquinas que ahorraban el 10 % de mano de obra en funcionamiento, dio lugar a tareas que las mantuviera en condiciones operables. Esto motivó a la industria a continuar la investigación de nuevas técnicas de mantenimiento.

Para el paso de la tercera revolución industrial la máquina sería un medio para conseguir un fin satisfactorio; es por ello que equivocadamente se observó al mantenimiento como una serie de tareas que tiene dos facetas; de preservar la maquinaria en funcionamiento, y mantener la calidad de los productos o servicios proporcionados.

En el transcurso de la línea del tiempo, dentro de la evolución del mantenimiento se han marcado momentos que han sido relevantes:

- 1780 Mantenimiento correctivo (MC).
- 1798 Uso de partes intercambiables en las máquinas.
- 1903 Producción industrial masiva.
- 1910 Formación de cuadrillas de mantenimiento correctivo.

- 1914 Mantenimiento preventivo (MP).
- 1916 Inicio del proceso administrativo.
- 1927 Uso de la estadística en producción.
- 1931 Control económico de la calidad del producto manufacturado.
- 1937 Conocimiento del principio de w. Pareto.
- 1939 Se controlan los trabajos de mantenimiento preventivo con estadística.
- 1946 Se mejora el control estadístico de calidad.
- 1950 En Japón se establece el control estadístico de calidad.
- 1950 En Estados Unidos se desarrolla el mantenimiento productivo.
- 1951 Se da a conocer el “Análisis de Weibull”
- 1960 Se desarrolla el mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- 1962 Se desarrollan los círculos de calidad.
- 1965 Se desarrolla el análisis causa- raíz.
- 1968 Se presenta la guía MSG-1, conocida como el RCM mejorado.
- 1970 Difusión del uso de la computadora para la administración de activos.
- 1971 Se desarrolla el mantenimiento productivo total.
- 1978 Se presenta la guía MSG-3 para mejorar el mantenimiento en naves aéreas
- 1980 Se desarrolla la optimización del mantenimiento planificado.
- 1995 Se desarrolla el proceso de los 5 pilares.
- 2005 Se estudia la filosofía de la conservación industrial.

Dentro de la línea de tiempo de la evolución del mantenimiento se han dado otros momentos, pero por fines de estudio se compiló los que le dieron sentido a la línea de evolución del mantenimiento.

1.2. Reseña histórica de la aviación guatemalteca

A mediados del siglo XIX, el guatemalteco Mariano de la Luz Morales diseñó una máquina aérea y escribió un folleto titulado “Teoría sobre una máquina aerostática”, en el año de 1854. Don Mariano solicitó la colaboración al gobierno de Francia, por ser este país uno de los pioneros de la aviación, pero se desconoce hasta la fecha los resultados de la misma.

El 30 de enero de 1848, don José María Flores trabajó en la construcción de un globo, que al terminarlo, fue probado. Ascendió en él, inflado con aire caliente, a la plaza de toros de aquel entonces, situado donde hoy queda la estación central de los ferrocarriles.

En 1911, don Alberto de la Riva, ayudado por el maestro carpintero Víctor Ortiz, construyó una especie de planeador.

Los primeros vuelos efectuados en Guatemala fueron en 1912, cuando la Secretaría de Fomento celebra un contrato para una semana de aviación, efectuada del 25 al 31 de marzo, con el señor Alfonso Farre.

El 11 de septiembre de 1929, durante el gobierno presidido por el general Lázaro Chacón, se creó la Dirección General de Aeronáutica Civil, como una dependencia del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, por medio del Decreto Gubernativo 1032.

A medida de que las necesidades aeroportuarias crecieron, dieron paso a la construcción del aeropuerto La Aurora, cuyas primeras actividades datan del año 1923. En 1942 fue construida la primera pista pavimentada, con una longitud de 2000 m.

En 1959, esta pista se extiende en 500 m por cada extremo. El primer avión jet comercial que aterriza en La Aurora fue un DC-8 de Panavías, en 1959.

El 30 de junio de 1966, se concluyó los trabajos de construcción de la nueva terminal aérea de pasajeros, con un área de 77 200 m². Los trabajos del edificio finalizaron en 1968.

En 1948 se promulgó la primera Ley de Aviación Civil de Guatemala, la cual se sustituye por una nueva ley a partir del 7 de diciembre de 1997. El 3 de marzo de 2001 entra en vigor la ley actual, contenida en el decreto 93-2000 del Congreso de la República.

El primer piloto aviador de la Fuerza Aérea guatemalteca, Dante Nannini, nació en la ciudad de Guatemala el 13 de septiembre de 1888.

En 1945 el Gobierno de la República contrató una misión militar norteamericana, con el objeto de dar a la Fuerza Aérea una organización acorde con los métodos y sistemas modernos que la evolución de la aviación involucra.

En 1954 ve llegar 3 aviones *Mustang* F-51D, prototipo considerado como el mejor avión caza de la II Guerra Mundial.

En 1958 llegaron a Guatemala, procedentes de Sacramento, California, Estados Unidos de América, tres aviones más tipo F-51.

En 1960 se adquiere 8 caza-bombarderos *Invader* A-26 B/C.

En 1963, la Fuerza Aérea Guatemalteca hace su ingreso a la era de la propulsión jet cuando, bajo el Programa de Asistencia Militar, en enero, llegan a

Guatemala 4 aviones T-33A. Bajo este programa llegaron en mayo de ese año 2 aviones C-47 y otros dos en diciembre.

El gobierno de Guatemala ha compró otras aeronaves *Cessna* 172,182 y otras; aeronaves *Piper* de diferentes modelos, 1 avión DC-6B de cuatro motores y capacidad de transporte pesado en 1973; 11 aviones *Arava* 201 de características *Stol* muy apreciadas en nuestro territorio por su topografía, los cuales hicieron su aparición entre los años 1976 y 1977, a la par de helicópteros franceses *Iama* sa315 y *Alloutle* III SA-319, robustos y fuertes caballos de carga, en los mismos años.

En 1982 se agregó los aviones *Fokker Friendship* F-27 para transporte de pasajeros y carga. Así mismo, algunos aviones *Beechcraft Super King Air* 300 y 200 dedicados al transporte ejecutivo, forman parte de este inventario, junto a helicópteros *Sikorsky* S-76A. Otros dos hechos importantes son la creación de la Reserva Aérea como un Comando Especial en 1982 y la Escuela Técnica Militar de Aviación, en 1983.

1.3. Motor alternativo en aviación

Un motor aeronáutico alternativo es aquel motor a pistón utilizado para la propulsión de la aeronave mediante la generación de una fuerza de empuje con ayuda de una hélice propulsora.

El motor de combustión interna aplicado a la aeronáutica fue introducido a finales del siglo XIX, gracias a la invención del ciclo Otto como principio básico de funcionamiento.

En la época de la Segunda Guerra Mundial, los aviones militares fueron equipados con motores radiales, los cuales tienen todos sus cilindros los tiene

distribuidos de forma radial con respecto al cigüeñal. Son de cuatro tiempos y refrigerados por aire de impacto. Debido a su pequeño tamaño de cárter ofrecían una buena relación de potencia en contra del peso.

El motor de cilindros, en oposición, llegó a ser el sucesor del motor radial. Cuenta con dos bancadas de cilindros colocados en contraposición de forma horizontal; En el caso de los helicópteros, pueden ser colocados de manera vertical y su tipo de refrigeración en aviación general es por medio de aire. Estos motores son los más comúnmente usados en aeronaves livianas y pequeñas como las series 100-300 de *Cessna*, que oscilan entre los 100 a 400 hp por motor.

A la fecha existen dos tipos de motores más utilizados en la propulsión de aeronaves livianas menores a 5 700 kg:

- Motor *Textron Lycoming*
- Motor *Continental*

1.3.1. Lycoming

Lycoming es una compañía dedicada a la manufactura de motores aeronáuticos y 89 años en la industria aeronáutica. Dentro de su línea histórica ha marcado momentos importantes como los siguientes:

- En 1845 la empresa fue fundada por Ellen Curtis Demorest. La empresa Demorest, por más de 60 años, fue creadora de bicicletas, imprentas y duplicadoras.
- En 1907 se creó la compañía *Lycoming* que diseñaba sus motores.
- En 1910 fueron incorporaron sus motores a vehículos de la época.

- En 1917 durante la Primera Guerra Mundial, *Lycoming* produjo 15 000 motores de potencia militar para camiones y ambulancias.
- En 1927 se expandió el mercado de sus motores adaptados a motores de la marina y se aventuraron en el mundo de la aviación.
- En 1929 lanza su primer motor aeronáutico, el motor radial R-680 de nueve cilindros.
- En 1933 empezó con la venta de partes para aviación, luego conocida como *AVCO*.
- En 1938 desarrolla el motor O-145, de cilindros opuestos. Fue el primer motor utilizado para la propulsión de un helicóptero, con una fuerza de 65 hp.
- En 1945 creó el *Sentinel*, el cual fue el primer avión aliado autorizado para aterrizar en Iwo Jima.
- En 1967 desarrolla su primer motor acrobático y fue el único certificado por la FAA.
- En 1982 habría construido más de 250 000 motores a pistón.
- En 1987, *Textron* compró *AVCO* incluida *Lycoming*.
- En 1997, los motores *Lycoming* eran usados en más del 85% de las aeronaves utilizadas para la aviación general producidas a nivel mundial.
- En 2001 construyó el motor número 300 000 horizontal opuesto de pistón, para aviación en general.
- En 2007 recibe la certificación AS 9100
- En 2010 incorpora la robótica y la automatización en las líneas de producción de motores a pistón para aviación.
- En 2012 lanza el nuevo *Firebird*.
- En el año 2013, *Lycoming* propulsa el nuevo *zeppelin* de *Goodyear*. En el mismo año fue elegido para propulsar a las aeronaves participantes en el *Red Bull Air Race World Championship*.

- En 2014 celebró sus 85 años de trayectoria e innovación en los motores aeronáuticos.

1.3.2. Continental

Continental Motors Inc es una compañía dedicada a la manufactura de motores aeronáuticos, la cual lleva 89 años en la industria aeronáutica.

- En 1905 Fue creada la compañía *Continental Motors*, en Muskegon, Michigan.
- En 1906 se desarrolla el motor tipo "O", horizontal opuesto, de 45 caballos de fuerza.
- En 1929 se introduce el motor radial de siete cilindros A-70 radial.
- En 1930 se introduce el motor de cuatro cilindros A-40 a las aeronaves.
- En 1940 es desarrollado el motor A65, ampliamente utilizado para la flota del saltamontes.
- En 1945 es desarrollado el motor E-185 de seis cilindros *Beechcraft Bonanza*.
- En 1946 vendió 34 358 motores.
- En 1950, el motor A-65, con 100 hp, se convirtió en el más potente.
- En 1960 se implementa en la aviación general el motor de turbo alimentación y la inyección de combustible.
- En 1986 fue desarrollado el *Voyager Rutan*, primer motor de émbolo en circunnavegar el mundo sin paradas.
- En 1997 NASA selecciona *Continental* para desarrollar y producir un nuevo motor de 200 caballos de fuerza que opera en combustible Jet-A.
- En 1999, Continental desarrolla y pone a prueba su primer motor FADEC.

- En 2004, *Columbia Aircraft* comienza la producción del motor TSIO-55-C de *Continental*. En el mismo año, Libertad Aeroespacial certifica el nuevo avión de *Continental XL2* con FADEC IOF240B.
- En 2009 desarrolla el motor O-200 certificado por la FAA. Tiene un peso reducido de 199 libras. Lo mejor en su clase para todos los aviones de entrenamiento en todo el mundo.
- En 2011, *Flight Design* selecciona la nueva serie de motores IO-360-AF que funciona con un combustible alternativo para la aeronave C4.
- En 2012 se introduce el motor O-200-AF, que opera con un combustible alternativo en combinación de peso ligero.

1.4. Introducción del motor *Lycoming O-320*

El motor *Lycoming O-320* es uno de los motores para aviación más queridos; se trata de un propulsor que tiene un historial de servicio excelente y eficiente.

Su aplicación varía en varios modelos y marcas de aeronaves, entre las que se puede resaltar las marcas *Piper* y *Cessna* en las versiones de aeronaves livianas. La nomenclatura del nombre del motor define la posición de los cilindros y el desplazamiento de estos en pulgadas cúbicas.

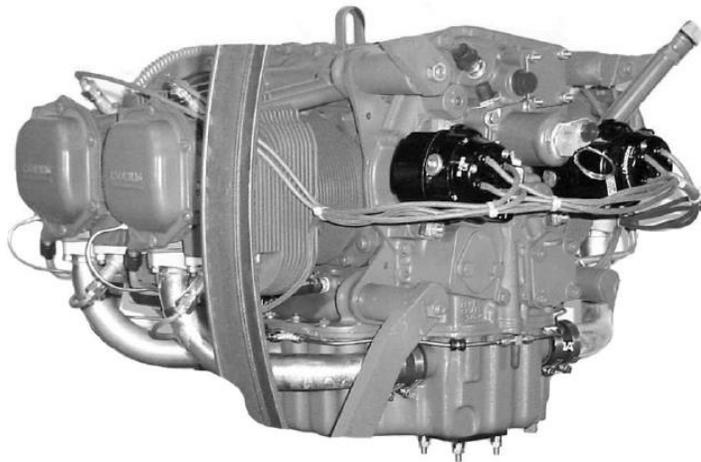
El diseño original fue presentado en 1953 con su predecesor el O-290, que contaba con elevadores hidráulicos y le dio a *Lycoming* muy buenas ideas. El modelo básico fue el O-320-A1A usado en el aeroplano de tres plazas *apache* que estaba configurado con una abertura de 5,125 pulgadas y una carrera de 3,875 pulgadas, con un radio de compresión de 7,1.

Figura 1. **Típico motor *Lycoming* O-320 series, vista delantera derecha**



Fuente: *Textron Lycoming, inc. Operator's Manual Lycoming O-320 series* pág. 9.

Figura 2. **Típico motor *Lycoming* O-320 series, vista trasera izquierda**



Fuente: *Textron Lycoming, inc. Operator's Manual Lycoming O-320 series* pág. 9.

Al referirse a la distribución de los diferentes componentes y accesorios del motor, podemos denotar que van en relación a que el motor es instalado en la

parte frontal de la aeronave; por tanto, el extremo de fuerza de salida se encuentra en la parte frontal del motor y la unidad de conexión de accesorios en la parte trasera. La referencia al lado izquierdo y derecho del motor se hacen mirando hacia la parte trasera. Los cilindros están numerados de adelante hacia atrás; los impares a la derecha y los pares a la izquierda. La dirección de rotación del cigüeñal también es determinada de esta manera y expresada mediante las agujas del reloj.

1.5. **Aeronave Cessna 172**

Es una aeronave de ala alta, monomotor, manufacturada en su totalidad de metal, en el monocasco. Está equipada con un tren de aterrizaje de tres ruedas, triciclo fijo, con los principales amortiguadores delanteros de una mezcla de fluido hidráulico y aire tubulares de acero. Es de cuatro asientos estándar y una anchura doble para el asiento trasero. Es impulsada por un motor de cuatro cilindros horizontalmente opuestos, enfriado por aire. La hélice es de paso fijo. Cuenta con ventanas laterales y traseras en una envoltura alrededor de todo el casco.

Figura 3. **Aeronave Cessna 172**



Fuente: <http://www.continentalaero.com/page/2/>

2. MANTENIMIENTO

Con el fin de mantener el rendimiento y la confiabilidad de la aeronave se debe seguir ciertos pasos y rutinas de inspección y mantenimiento, con base en un programa planificado de lubricación y mantenimiento preventivo basado en las condiciones de vuelo y climáticas de la región donde opere la aeronave.

Para llevar a cabo un proceso de mantenimiento adecuado es recomendable verificar la información proporcionada por el fabricante de la aeronave y sus componentes, así como entidades que regulan la aviación. Todo esto con el fin de aprovechar sus conocimientos y experiencia en la aeronave y realizar informes de posibles fallas y programas de prevención de posibles fallas.

2.1. Definición de mantenimiento

El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o sistema se mantiene en, o se restablece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas. Es un factor importante en la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia para una competencia exitosa.

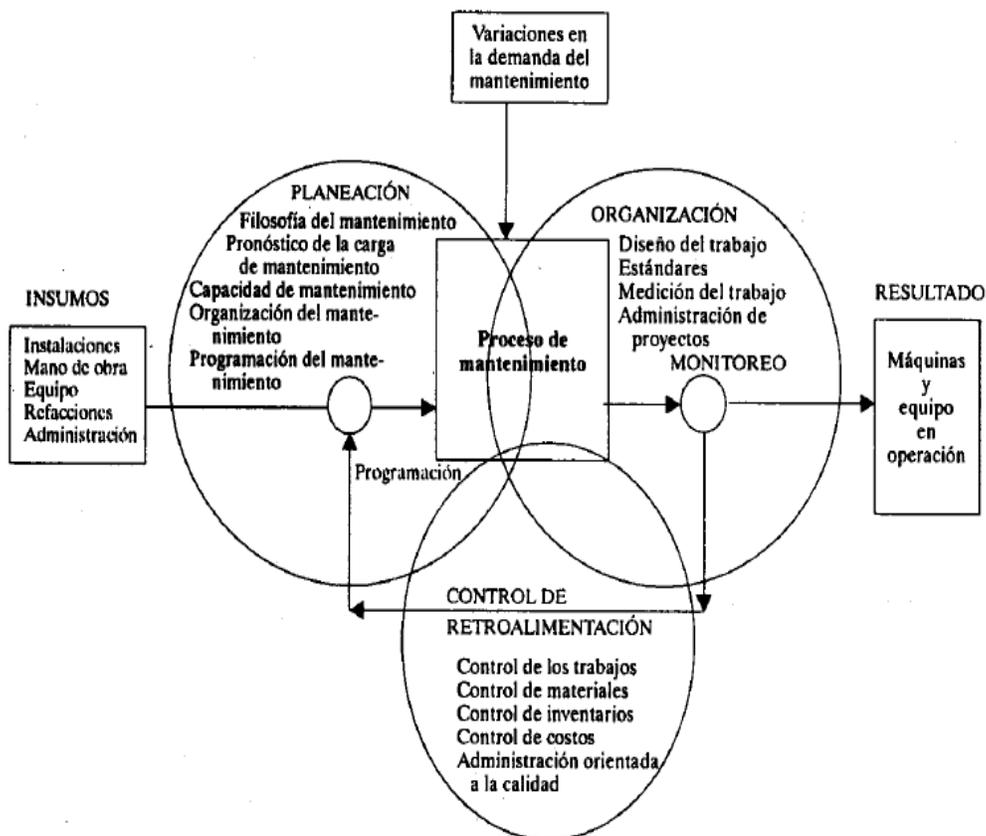
Las inconsistencias en la operación del equipo dan por resultado una variabilidad excesiva en el servicio y, en consecuencia, ocasionan un servicio defectuoso.

El mantenimiento puede ser considerado como un sistema o un conjunto de actividades que se realizan en paralelo con los sistemas de operación.

Un sistema de mantenimiento puede verse como un modelo sencillo de entrada-salida. Las entradas de dicho modelo son la mano de obra, administración, herramientas, repuestos, equipo, entre otras. La salida es el equipo funcionando confiablemente y bien configurado para lograr la operación planeada. Esto permite optimizar recursos para aumentar al máximo las salidas en el sistema de mantenimiento.

En la figura 4 se muestra un sistema típico de mantenimiento con las actividades necesarias para hacer este sistema funcional.

Figura 4. Sistema típico de mantenimiento



Fuente: Duffuaa, Raouf, Dixon, *Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control*. p31.

2.1.1. Tipos de mantenimiento

Como se describe en el capítulo anterior, el mantenimiento ha evolucionado conforme el tiempo, dando lugar a nuevas y mejoradas técnicas para el desarrollo y funcionalidad en tema de mantenimiento. A continuación se detalla los tipos de mantenimiento más relevantes en relación a este estudio.

2.1.1.1. Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento se entiende como la corrección de averías o fallas, cuando se presentan en el equipo. Es la habitual reparación tras una avería que obligó a detener la máquina afectada por el fallo.

El MC nace como servicio a la producción, lo que en la línea del tiempo del mantenimiento se denomina como primera generación del mantenimiento. Esto significa que la prevención para esta época no era de mayor importancia. La prevención de fallas no era prioridad y la mayoría de los equipos eran simples. Esto hacía que fueran fiables y fáciles de reparar.

El mantenimiento correctivo presenta importantes inconvenientes como única base del mantenimiento. La operación del equipo se vuelve impredecible y poco fiable. Las paradas y fallos pueden producirse en cualquier momento, la vida útil de los equipos se acorta, impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla. Las averías y fallas de los equipos no solo ponen en riesgo la operación: también pueden suponer accidentes con riesgo en la seguridad industrial, se elevan los costos de reparación, los indicadores de tiempo de paro de los equipos y sistemas involucrados se elevan significativamente por lo consiguiente se presentan pérdidas de operación.

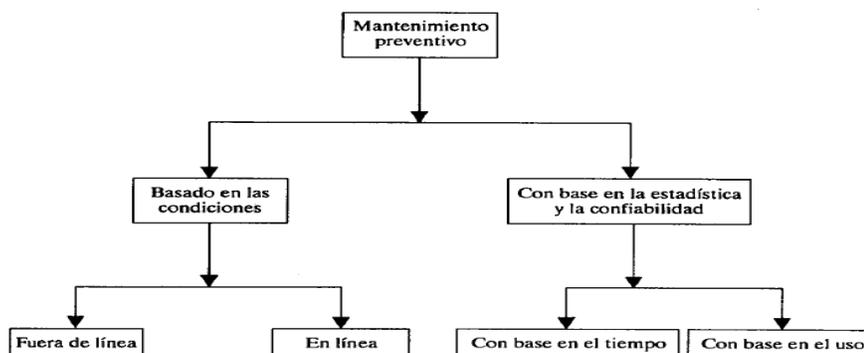
2.1.1.2. Mantenimiento preventivo

El MP es una serie de tareas planeadas previamente que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de fallas potenciales de dichas funciones. Esto es diferente a un mantenimiento correctivo, en el cual normalmente se considera como un reemplazo de piezas o reparación general del equipo.

El MP puede prevenir una falla prematura y reducir su frecuencia, la severidad de la falla y mitigar sus consecuencias, proporcionar un aviso de falla inminente y reducir el costo de administración de equipos.

Este tipo de mantenimiento se realiza para asegurar la disponibilidad y confiabilidad del equipo. La primera puede definirse como la probabilidad de que un equipo sea capaz de funcionar siempre que se le necesite. La segunda es la probabilidad que el equipo esté en funcionamiento en un tiempo determinado. El objetivo del mantenimiento preventivo es aumentar la disponibilidad y confiabilidad el equipo con un mantenimiento planeado.

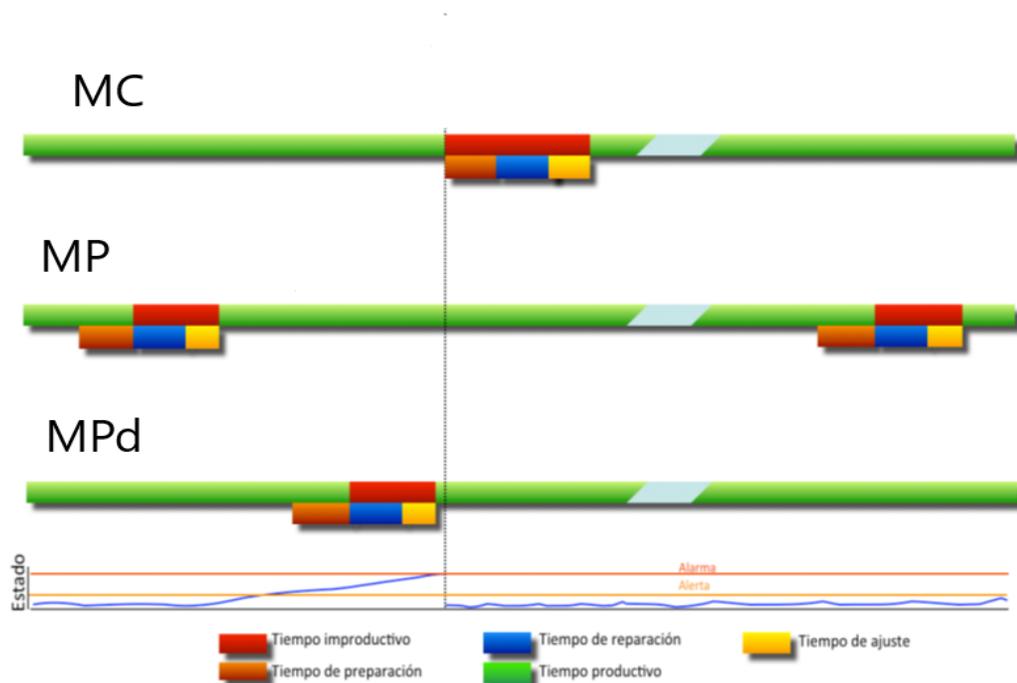
Figura 5. **Categorías del mantenimiento preventivo**



Fuente: Duffuaa, Raouf, Dixon, *Sistemas de Mantenimiento Planeacion y Control*. P77

El MP puede estar basado en datos obtenidos de los registros históricos y las condiciones del equipo. Las tareas basadas en las condiciones, justificadas cuando se desconoce el enfoque de la prevención, se centran en la medición de un parámetro que indique deterioro o una degradación en el rendimiento funcional del equipo. Estas mediciones pueden programarse en un tiempo regular planificado con el equipo en operación.

Figura 6. **Comparativo del MC, MP y MPd respecto al tiempo**



Fuente: Ballesteros, Francisco, *La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial*, p.6.

2.1.1.3. Mantenimiento predictivo

El MPd o basado en condición se basa en el estado del equipo y sus condiciones actuales. Da una proyección a futuro y recomienda una intervención

o no, lo cual produce ahorros significativos en la realización de las acciones de mantenimiento.

El diagnóstico y la predicción del equipo optimizan el mantenimiento preventivo; da una proyección que determina el tiempo y momento adecuado para cada intervención en los equipos monitoreados.

El MPd es una serie de técnicas instrumentadas de medición y análisis de variables para caracterizar, en términos de fallas potenciales, la operación del equipo analizado. Su objetivo es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de equipos al menor costo.

Para caracterizar la medición se debe presentar ciertos requisitos:

- La medida y el monitoreo de las variables debe ser con el equipo en condiciones normales de operación.
- Los resultados de las mediciones deben ser expresados en unidades y dimensionales físicas.
- La variable obtenida pueda ser analizada y parametrizada para que presente información de probabilidades de fallo y diagnóstico crítico.

Las técnicas de medición predictivas más relevantes son:

- Análisis de vibraciones
- Inspecciones térmicas
- Análisis de aceite usado
- Ultrasonidos

El análisis objetivo y recreación de estadísticas de los resultados obtenidos en las inspecciones periódicas generan información necesaria para realizar informes de estado actual y predictivos a futuro, los cuales indican el momento adecuado para planear la intervención y la prioridad de esta.

Con el MP y el MPd el tiempo es productivo, puesto que al programarse la intervención o reparación ya se conoce en dónde y qué componentes intervenir por tanto se preparan los trabajos con antelación.

2.1.1.4. Mantenimiento proactivo

El mantenimiento proactivo investiga las causas de las averías y busca soluciones para prevenir que la falla se repita y así aumentar la fiabilidad del equipo analizado. Esta técnica persigue la causa raíz de las fallas para tener la oportunidad de corregirlos y prevenirlos en un futuro, para que no vuelvan a ocurrir.

El análisis de causa raíz se ve apoyado en las técnicas predictivas para el diagnóstico de las fallas. Hay tecnologías desarrolladas para hacer más fácil establecer las acciones de prevención y corrección del equipo, lo cual da como resultado equipos más confiables, con menos estadísticas de fallas repetitivas y una gestión de mantenimiento bien apoyada y fundamentada.

2.1.1.5. Mantenimiento centrado en la confiabilidad

El RCM se basa en las técnicas estadísticas para determinar procesos de intervención con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento y fiabilidad del equipo. Para mantenerlo en operación óptima y desempeñando todas las funciones para las que fue creado.

El RCM realiza un análisis crítico de las funciones del equipo, propone un modelo ideal de cómo debe operar y entregar sus funciones específicas y ambiente adecuado. Analiza de qué manera puede presentar una falla, cuáles serían sus consecuencias y analiza las acciones necesarias para prevenir los futuros fallos del equipo.

Este análisis estadístico y predictivo adopta tareas importantes en cuanto a acciones preventivas.

- Tareas con base en la condición del equipo. La mayoría de fallas presentes en un equipo dan con antelación algún tipo de señal de advertencia de que están a punto de suceder. Esto se conoce como una falla potencial que se puede prevenir.
- Tareas de sustitución o reacondicionamiento cíclico. Dadas las proyecciones y registros históricos de mantenimiento se pueden formar patrones en los cuales los equipos presentan una falla irreversible, causando muchas pérdidas, altos costos de pérdida en operación y elevados costos de mantenimiento. Por tanto una sustitución o reacondicionamiento del equipo o de sus componentes con una frecuencia determinada, pueden reducir las consecuencias de dichas averías.

Las técnicas y labores adoptadas por el RCM deben ser implementadas y analizadas desde un punto inicial, el cual le brindará el máximo uso de la información recopilada, para una mejora continua. Se puede reemplazar las rutinas de mantenimiento sistemáticas por acciones debidamente planeadas y analizadas en busca de mitigar y disminuir toda probabilidad de falla, para mantener el equipo siempre en condiciones de operación normal y brindando una confiabilidad alta.

2.1.1.6. Mantenimiento de clase mundial

El MCM es una serie y conjunto de técnicas e ideales dirigidas a orientar y satisfacer todas las necesidades del mantenimiento como un sentido de mejora constante y estandarizada, con el fin de obtener un enfoque de bienestar en las actividades y prácticas de la gestión de mantenimiento, la cual debe ser disciplinada y competitiva a nivel mundial.

Estas técnicas estandarizadas cuentan con enfoques en diferentes aspectos relacionados directamente con la gestión de mantenimiento. Se centra en la excelencia de procesos, calidad y rentabilidad, capacitación constante de colaboradores del mantenimiento, seguridad industrial y protección ambiental.

El MCM busca satisfacción y superación de toda meta y expectativa trazada por la organización, políticas de liderazgo y conexión con toda la estructura organizacional y potencializa la aplicación de tecnologías del momento. Está relacionados con el contexto social, de seguridad operacional, medio ambiente y estándares altos de calidad.

Implementa métodos de sistemas de planificación, programación, control de sistemas de información y control de fallas.

2.1.2. Mantenimiento de aviación

El mantenimiento en aviación está enfocado en la preservación de la aeronave para cumplir con el tiempo de vida útil para el cual fue diseñada. La mejora constante y el monitoreo de condición son sus bases fundamentales para obtener la confiabilidad y la seguridad que los operadores y pasajeros requieren.

Para lograr esto, se utiliza diferentes tipos de mantenimiento para corrección de averías, prevención y análisis de fallas. Engloba el mantenimiento en un programa especializado para cada tipo de aeronave, siguiendo las normas internacionales y locales.

Estos programas de mantenimiento involucran a todas las personas relacionadas con la aeronave, como el piloto operador, pasajeros, mecánicos y administrativos del mantenimiento, esto el fin de una mejora continua.

Dentro de las tareas que involucran a cada una de las personas relacionadas se encuentran los reportes de: la tripulación de la aeronave y de las organizaciones de mantenimiento, con el fin de mantener información y monitoreo constante en operación.

2.1.2.1. Mantenimiento no programado

Son todas las acciones que se involucran en el mantenimiento con el fin de corregir las fallas o discrepancias encontradas mediante los informes de tripulación o detectadas en las rutinas de mantenimiento periódicas.

Estas acciones correctivas no están contempladas en tiempo calendario, horas o ciclos de la aeronave; son acciones tomadas inmediatamente con el fin de solventar cualquier discrepancia en la aeronave.

2.1.2.1.1. Reportes de tripulación

Dentro del sistema de organización del mantenimiento de la aeronave, la tripulación mantiene una rutina de inspección prevuelo que consiste en una

verificación visual de 360° de la aeronave, la cual determina si esta se encuentra en condiciones de realizar el vuelo.

También mantiene un constante monitoreo de operación de la aeronave durante el vuelo, en el cual se anota todos los parámetros y variables determinadas por el manual de vuelo.

Toda discrepancia encontrada antes y durante el vuelo por parte de la tripulación es enviada como reporte al personal de mantenimiento, el cual realiza el análisis y las acciones correctivas correspondientes.

2.1.2.1.2. Reportes de mantenimiento

Son realizados por las personas encargadas de las tareas y rutinas de mantenimiento de la aeronave. Incluyen todas aquellas discrepancias y posibles fallas que puedan ocurrir, encontradas durante el mantenimiento programado. Deben ser analizadas y categorizadas por criticidad, dependiendo de su condición y componente afectado, para así tomar la acción correctiva inmediata o programarla a futuro. Los reportes son dirigidos al operador de la aeronave y a las autoridades que regulan la aeronavegabilidad de la DGAC.

2.1.2.2. Mantenimiento programado

Dentro de las técnicas de mantenimiento aeronáutico se realizan tareas planificadas con anterioridad para dar seguimiento de control a las variables y condiciones de operación. Estas tareas se pueden revelar en rutinas específicas a cada aeronave, las cuales usan técnicas correctivas, preventivas, predictivas y proactivas. Estas se realizan conforme a las recomendaciones del fabricante de

la aeronave y dependencias locales (DGAC) y extranjeras (FAA) que regulan el correcto mantenimiento y operación de la aeronave.

Las tareas son apoyadas por históricos de mantenimiento e información proporcionada por otras organizaciones de mantenimiento y operadores, como las directivas de aeronavegabilidad (AD) y boletines y cartas de servicio, las cuales indican procedimientos de análisis para la prevención de fallas y componentes con índices de fallas altos.

Figura 7. **Motor alternativo de la aeronave Cessna 172**



Fuente: Empresa Multiservicios Aéreos, S.A.

2.2. Motor alternativo de aeronaves

El motor alternativo, comúnmente conocido como motor de combustión interna o de pistón, ha demostrado ser una fuente de propulsión adecuada para fines del transporte aéreo.

Estos operados principalmente por combustible AVGAS. Este es un tipo de gasolina con un nivel de octanaje de 120 octanos, que proporciona así una alta relación de compresión para brindar una adecuada potencia de propulsión y fiabilidad del ciclo de combustión.

Los motores alternativos aplicados a las aeronaves desde finales del siglo XIX, han experimentado cambios cuanto a su distribución y posición de los cilindros. Los más relevantes para este estudio son los motores radiales y horizontalmente opuestos.

2.2.1. Motor radial

Este tipo de motor alternativo incorpora el uso de pistón y cilindro de una o más filas, posicionados de forma circular alrededor del cigüeñal de ubicación central. Cada fila de cilindros circulares de un número impar de cilindros con el fin de encontrar un equilibrio en el funcionamiento. El *carter* central es de un tamaño relativamente pequeño en relación a la cantidad de cilindros, lo que lo hace un motor con un balance de peso y potencia muy bueno. Son refrigerados por medio de aire de impacto.

2.2.2. Motor horizontalmente opuesto

Este tipo de motor es el más usado para la aviación liviana. Cuenta con la disposición de los cilindros ubicados horizontalmente opuestos, comúnmente llamados motores bóxer; son, al igual que los motores radiales, enfriados por medio de aire de impacto frontal. Cuentan con una amplia gama de configuraciones, dependiendo de su forma de aspiración de aire, mezcla de aire combustible, cantidad de cilindros y relación de compresión. Su rango de entrega

de potencia se encuentra entre los 100 a 400 hp, dependiendo de su configuración.

2.3. Código de identificación de motores *Lycoming*

Los motores fabricados por la empresa *AVCO Lycoming* están clasificados según su desplazamiento cúbico, aplicación aeronáutica y configuración. Esta clasificación está designada por un código alfanumérico, como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 1. Código de identificación de motores Lycoming

O	320	E2D
Prefijo	Desplazamiento	Sufijo
L= rotación en contra de las manecillas del reloj	Pulgadas cúbicas	A o AA= sección de potencia
T= turbo cargado		2= sección de nariz
I= inyección de combustible		B= sección de accesorios
G= engranaje reductor		6= aplicador de contra peso
S= súper cargado		D= magnetos duales
V= vertical Helicóptero		
H= helicóptero horizontal		
A = acrobático		
AE= motor acrobático		
O= cilindros opuestos		

Fuente: elaboración propia

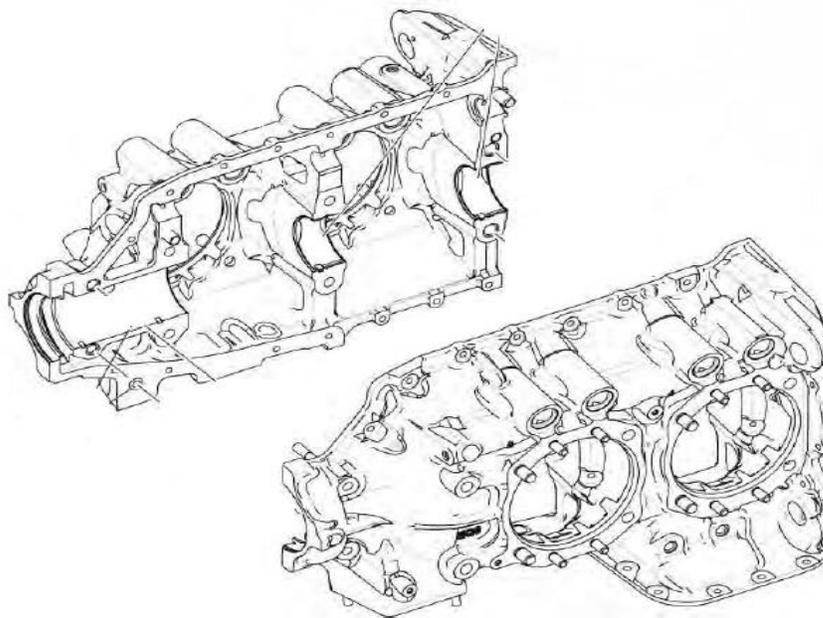
2.4. Componentes principales

El motor alternativo horizontalmente opuesto cuenta con componentes internos, los más importantes de los cuales serán descritos en esta investigación.

2.4.1. Caja de cigüeñal

Comúnmente llamada *cárter*, es la caja que aloja todos los componentes internos del motor, árbol de levas, cigüeñal y demás rodamientos. Está manufacturada por dos piezas de aleación de aluminio reforzado y dividido en dos partes iguales por el centro y se sujetan entre sí por una serie de tornillos centrales. Las dos partes se unen sin necesidad de usar un empaque de junta.

Figura 8. Caja de cigüeñal

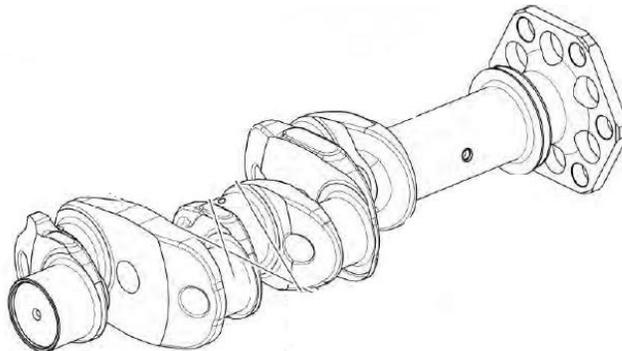


Fuente: Textron Lycoming, inc. Engine Maintenance Manual IO-360-N1A, página 115.

2.4.2. Cigüeñal

Es el eje principal del motor, en el cual están acopladas las bielas y pistones. Manufacturada de una aleación de níquel, molibdeno y cromo, con un tratamiento de revestimiento nitrado.

Figura 9. **Cigüeñal**



Fuente: Textron Lycoming, inc. Engine Maintenance Manual IO-360-N1A, página 111.

2.4.3. Contrapesos del cigüeñal

Son un sistema de balance del cigüeñal. Su principal objetivo es eliminar las vibraciones provocadas por la dinámica de torsión. Son instalados en los motores de seis y ocho cilindros, aunque en algunos motores de cuatro cilindros están incorporados.

2.4.4. Cubierta de accesorios

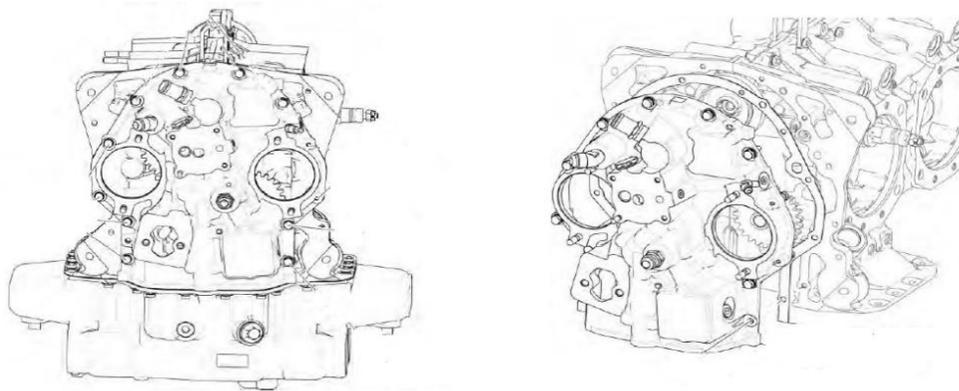
Es una base en la cual se montan los accesorios como bomba de succión, magnetos, filtro de aceite, salidas y entradas de aceite bomba de combustible,

entre otras. Situada en la parte trasera del cárter y es fabricada de una aleación de aluminio resistente.

2.4.5. Caja de conexión de rodamientos principales

En este componente se insertan los rodamientos de deslizamiento externos, fabricados en bronce, que conectan el cigüeñal. Las tapaderas de los rodamientos en el extremo del cigüeñal de las varillas están retenidos por dos tornillos de cada tapa.

Figura 10. **Cubierta de accesorios**



Fuente: Textron Lycoming, inc. Engine Maintenance Manual IO-360-N1A, página 131.

2.4.6. Pistones

Los pistones son manufacturados por medio de forja de aluminio y posteriormente mecanizados para darles un buen acabado final. En los costados tienen ranuras, en las cuales se colocan los anillos.

Cuentan con un pasador de acero de tipo flotante, el cual se lubrica por medio de orificios internos del pistón.

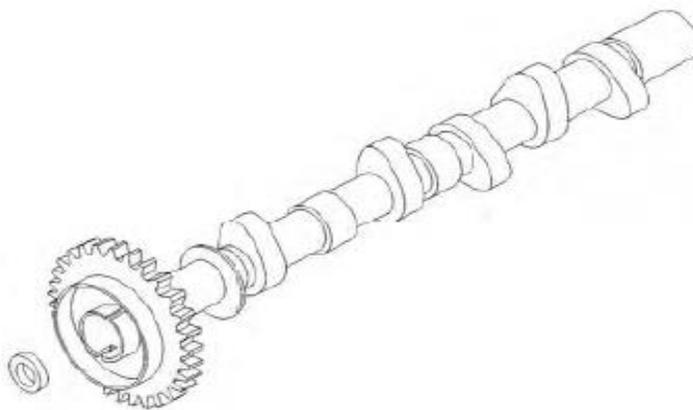
2.4.7. Anillos

Los anillos son aros manufacturados en aleación de acero. Dependiendo del material del cilindro, su función principal es la hermeticidad de la cámara de combustión y la lubricación del cilindro. Colaboran con la disipación del calor y regulan el consumo de aceite del motor.

2.4.8. Sistema de lubricación

Como parte del sistema de lubricación, los modelos O-320 y empleados con sistema de cárter húmedo a presión completa, cuentan con un intercambiador de calor para el aceite, ubicado de forma externa en el motor.

Figura 11. **Árbol de levas**



Fuente: Textron Lycoming, inc. Engine Maintenance Manual IO-360-N1A, página 118.

2.4.9. Árbol de levas

El árbol de levas está sincronizado con el movimiento del cigüeñal por medio de engranajes internos. Su función principal es girar el eje que contiene levas que soportan a los empujadores hidráulicos, transmitiendo fuerza motriz para la correcta lubricación de las válvulas y guías.

2.4.10. Empujadores hidráulicos

Son cilindros pequeños de acero con un agujero interno, el cual se encarga de lubricar las válvulas y guías en la cabeza del cilindro. Cuando las válvulas se cierran y la leva está en su parte de movimiento superior, ejerce una fuerza de empuje que se transmite como una pequeña presión contra las varillas. Estas empujan a la válvula de retención dentro de su asiento y hacen que la presión del sistema de lubricación quede atrapada en la válvula.

2.4.11. Sistema de refrigeración

Para disipar el calor producido dentro del motor, cuenta con un sistema de refrigeración por impacto de aire, el cual proviene del exterior de la aeronave. Ingresa en la parte frontal del motor gracias a orificios en el *cowline*. Dentro del motor hay unos baffles, los cuales generan una presión de aire y la direccionan dentro de las paredes y superficies del motor, principalmente alrededor de los cilindros. Intercambiando calor y desechan el aire caliente por la parte posterior del motor, en conjunto con unas compuertas manuales que sirven para controlar la temperatura.

Cuenta con un intercambiador de calor para el sistema de lubricación, colocado en la parte posterior del motor, sujeto a la pared de fuego.

2.4.12. Sistema de combustible

El sistema de alimentación de combustible es sencillo y eficaz. Cuenta con dos tanques de almacenamiento, uno en cada ala de la aeronave. Para el motor en estudio, hay dos tipos de alimentación de aire combustible para la realización de la mezcla, carburado e inyectado. Son algo similares en apariencia pero albergan diferentes tipos de principio activo.

En los dos principios para la operación de la aeronave se controla la cantidad de aire y la cantidad de combustible ingresado al motor, con el fin de crear una mezcla de aire y combustible ideal para cada situación de vuelo.

2.4.12.1. Carburado

Este sistema cuenta con su componente principal, el carburador, el cual está colocado en la parte inferior del motor.

Su base principal de funcionamiento es un tubo venturi, el cual, mientras el aire ingresa y es estrangulado aumentando su velocidad, crea una caída de presión que succiona partículas de combustible. Genera una mezcla de aire y combustible que va directo a la cámara de combustión.

El control y la cantidad de la mezcla son manuales. Se controlan por medio de dos palancas colocadas dentro de la cabina de control.

2.4.12.2. Inyectado

Este sistema cuenta con una bomba de combustible, la cual eleva la presión para ser enviada a la cámara de mezcla. Esta se controla independientemente

desde dos palancas colocadas dentro de la cabina del motor. Posteriormente viaja por unos tubos capilares y es distribuida independiente para cada cámara de combustión dentro de cada cilindro. Es introducida dentro de cada cilindro por medio de unas pequeñas toberas, las cuales atomizan la mezcla para una mejor dispersión de las partículas.

Figura 12. **Carburador *Marvel Schebler* MA-4SPA**



Fuente: <https://msacarbs.com/10-3678-35.html>. Consulta: septiembre de 2018

2.4.13. Sistema de encendido

Para poner en marcha el motor, cuenta con un motor eléctrico independiente que funciona por medio de corriente directa. Está colocado al frente del motor, enganchado al volante del cigüeñal.

El motor está equipado con un sistema de corriente de ignición para las bujías, de doble encendido, el cual proporciona una fuente de energía independiente del sistema eléctrico. Este trabaja aún sin tener energía externa

de alimentación, generando su propia chispa. Estos componentes son los magnetos, que distribuyen la chispa generada secuencialmente a cada par de bujías en cada cilindro.

2.5. Aeronave Cessna 172

La aeronave *Cessna 172* es un modelo con sus alas en el borde superior de su fuselaje, monomotor, construida en su totalidad de diferentes materiales ferrosos, principalmente de aluminio.

2.5.1. Descripción general

La aeronave está equipada con un sistema de aterrizaje de tres neumáticos fijo, con un amortiguador delantero de acero y una mezcla de fluido hidráulico y aire. Tiene capacidad de cuatro personas, dos butacas delanteras, un asiento doble en la parte trasera y un compartimiento de carga en la parte trasera.

2.5.2. Dimensiones principales

Tabla II. **Dimensiones aeronave Cessna 172**

Tripulación	1 piloto
Capacidad	3 pasajeros
Longitud	8,3 m.
Envergadura	11 m.
Altura	2,7 m.
Superficie alar	16.2 m ² .
Peso vacío	743 kg
Peso máximo de despegue	1110 kg
Motor	4 cilindros opuestos.
Potencia	150hp

Fuente: elaboración propia

2.5.3. Motor

El sistema propulsor de la aeronave es un motor de cuatro tiempos, de gasolina, con la configuración de cuatro cilindros opuestos, refrigerados por aire de impacto, sistema de ignición doble, con 150 hp de potencia.

2.5.4. Hélice

La hélice propulsora de la aeronave *Cessna 172* es fabricada de aleación de aluminio, de dos palas de 75 pulgadas de diámetro total. La hélice es de paso fijo; esto quiere decir que no es posible controlar el ángulo de ataque de la hélice como en otros modelos para motores con más potencia.

2.5.5. Capacidad de combustible

El combustible es almacenado en dos tanques, uno en cada ala de la aeronave, desciende por medio de la gravedad. Su capacidad neta de almacenaje es de 42 gal de combustible por tanque.

2.5.6. Superficies de control

Las superficies de control de la aeronave son controles que la direccionan a través de sus tres ejes (longitudinal, lateral y vertical). Están en diferentes puntos de las alas y parte trasera del fuselaje. Los mandos de control pueden ser de control mecánico o eléctrico.

El piloto de la aeronave tiene el control de estos mecanismos gracias a dos elementos de actuación principal: el volante de mando y los pedales del timón de dirección.

2.5.6.1. Flaps

Son dispositivos que aumentan la sustentación de la aeronave cuando se encuentra volando a velocidades menores y bajas densidades de aire. Situadas en el borde de salida de las alas, se mueven de forma conjunta, en dirección hacia abajo, creando con esto una mayor fuerza de empuje hacia arriba y compensando la baja sustentación de la aeronave.

2.5.6.2. Alerones

Son superficies de contacto que proporcionan un movimiento de la aeronave sobre su eje longitudinal. Situados en el borde externo de salida del ala, son de mando mecánico, mediante un mecanismo de cables de acero y poleas. Su movimiento es diferencial; esto quiere decir que mientras se gira el timón de dirección a la derecha, el alerón derecho sube y el izquierdo baja; lo contrario sucede al girar el timón a la izquierda.

2.5.6.3. Rodder

Es la superficie de control que proporciona un movimiento a través del eje vertical de la aeronave. Situado en el borde de salida del estabilizador vertical. Su movimiento básico es a la derecha o izquierda, por medio de los pedales de control situados en la cabina de mando.

Al presionar el pedal derecho se crea un movimiento trasero del *rodder* hacia la derecha el cual forma un giro vertical a la aeronave hacia la derecha. Y lo mismo sucede al presionar el pedal izquierdo.

2.5.6.4. Elevador

Son superficies de control que proporcionan un movimiento a través del eje transversal de la aeronave, situadas en el borde de salida del estabilizador horizontal en la parte trasera de la aeronave. Su movimiento es de forma sincronizada y son controlados mediante el timón de control, con movimientos ascendentes y descendentes.

2.5.7. Tren de aterrizaje

Tiene la función de absorber las cargas producidas por el aterrizaje, hasta que sean aceptables y dentro de los valores de tolerancia de los materiales de la estructura de la aeronave.

El tren de aterrizaje para la aeronave *Cessna 172* está compuesto de una configuración de tres ruedas situadas geométricamente, dos al medio de la aeronave (una de cada lado) y una rueda al frente, comúnmente llamada rueda de nariz. El tren de aterrizaje en la mayoría de modelos 172 es fijo, pero hay modelos que cuentan con tren de aterrizaje retráctil, que despliegan el tren y lo alojan dentro de compartimientos internos de la aeronave.

El tren de aterrizaje fijo ofrece gran cantidad de resistencia aerodinámica de avance, pero cuenta con mayor mantenibilidad y simplicidad de diseño en costo beneficio.

El tren de aterrizaje principal cuenta con sistemas de suspensión de tipo ballesta, el cual consiste en un tubo con capacidades de carga flexibles de acero. Un extremo está atornillado al fuselaje de la aeronave y otro al eje central de la rueda principal. El tren de nariz cuenta con un amortiguador hidráulico y

neumático, el cual se basa en la compresibilidad de los líquidos sometidos a altas presiones. Fabricados en acero, constan de dos cámaras internas las cuales están separadas por un pistón, las cuales alojan líquido hidráulico y presión de aire.

El tren de aterrizaje cuenta con tres ruedas, las cuales son el soporte de contacto de la aeronave con la superficie. Estas resisten las cargas estáticas y de remolque de la aeronave, cuentan con un peso relativamente mínimo y son de fácil montaje.

3. CONTROL DE MANTENIMIENTO

La administración y control de los trabajos de mantenimiento de la aeronave se regulan mediante su tiempo en horas de operación. Este control es esencial para lograr las proyecciones de TBO de la aeronave, coordinar la demanda de mantenimiento, los recursos necesarios, herramienta y equipo, procedimientos y talento humano para lograr ejecutar con eficiencia y confiabilidad el mantenimiento.

3.1. Herramienta y equipo

Antes de empezar cualquier acción de mantenimiento, se debe corroborar que el técnico cuente con las herramientas y el equipo necesario para cumplir los requerimientos de cada proceso y tareas específicas.

Para fines de esta investigación se mencionarán las herramientas y equipos relevantes para el mantenimiento del motor Lycoming O-320 series, pudiendo necesitarse otras herramientas de mano básicas.

Las herramientas de mano y equipo de calibración deben cumplir con estándares de fijación, cubierto por las normas SAE AS28431A-2011, SAE AS954G-2011, ANSI B107.5. Estos estándares internacionales son aplicables para herramientas de uso aeroespacial, el cual cubre los requisitos dinamométricos, de impulso y micrométrico.

Las herramientas mínimas que debe poseer el técnico de mantenimiento son:

- Llaves de 3/32" a 1"
- Destornilladores comunes, tipo Phillips
- Destornilladores comunes, tipo plano
- Alicates de diferentes tamaños
- *Vise grip* de diferentes tamaños
- Alicates para *snap ring*
- Cortadoras diagonales de lámina
- Entorchadora de alambre de seguro
- *Ratchets* raíz de 1/2", 3/8", 1/2"
- Conectores para *ratchets*
- Copas de 3/32" a 1"
- Martillo de polímero
- Llave de torque calibrada de 0-100 lbs/p
- Micrómetro
- Vernier
- Multímetro

Dentro de las herramientas de uso especial tenemos:

Tabla III. **Herramientas de uso especial**

Herramienta	Aplicación
Llave de correa	Removedor de filtro de aceite
Llave de tuercas 12 puntos, forma y ángulo especial	Llave para tuercas de base de cilindros
Manómetros de diferencial de presión	Inspección de condición de anillos, válvulas y cámara de combustión
Indicador de tensión de correas	Medida de tensión en correas

Continuación tabla III

Indicador de tiempo aeronáutico	Indica los grados de posición del cigüeñal para poner a tiempo los magnetos
Prueba de regulador de voltaje	Detecta problemas de voltaje de carga del alternador
Luz de tiempo de magnetos E100	Designado para encontrar el punto de tiempo exacto de ignición de magnetos.

Fuente: elaboración propia

3.2. Frecuencia de mantenimiento

El mantenimiento de la aeronave y sus componentes están ligados a programar las rutinas de inspección, según sus ciclos, horas de vuelo y condiciones de operación.

Los intervalos principales de inspección son: las primeras 25 horas de vuelo, 50, 100 y 400 horas. En las mismas se realizan tareas de inspección, servicio, limpieza y lubricación de diferentes puntos de la aeronave y sus componentes. Algunos componentes cuentan con tiempo de vida límite, los cuales, apoyados con el manual del fabricante y boletines de servicio, deben ser reemplazados o reacondicionados.

Dentro de las políticas de la FAA y la DGAC de Guatemala se encuentra una inspección anual a la aeronave, como requisito para la entrega del certificado de aeronavegabilidad, el cual se otorga cada año a las aeronaves registradas con matrícula guatemalteca.

3.3. Diagramas de proceso

Para establecer la ejecución y seguimiento de las rutinas de mantenimiento se establecen diagramas de proceso, los cuales simplifican y orientan al técnico en un sistema esquematizado de las tareas por realizar.

Los diagramas deben estar orientados a garantizar con qué herramienta y equipos deben realizarse, las competencias necesarias del técnico, el desempeño y calidad de las tareas indicadas, los métodos por seguir e información técnica que se debe consultar, con el fin de una mejora continua del proceso y una gestión de calidad y confiabilidad adecuada a cada rutina de mantenimiento.

3.4. Manejo en tierra de la aeronave

La aeronave debe ser preparada antes del vuelo, por lo que se debe realizar maniobras en tierra para movilizarla de un lugar a otro. La aeronave cuenta con puntos donde se puede aplicar fuerzas de empuje y dirección, estos son los soportes de las alas y el del tren de aterrizaje frontal.

Para realizar estas maniobras se debe contar con el equipo de remolque adecuado y aplicarle las fuerzas de empuje en los puntos indicados, ya que aplicarle otras fuerzas en otras superficies pueden dañar significativamente la aeronave.

Hay inspecciones en las cuales se requiere que la aeronave quede suspendida en el aire, anclada a torres hidráulicas, las cuales se deben colocar en los puntos apropiados para estas tareas. Estos puntos están diseñados para soportar todo el peso de la aeronave y que esta quede debidamente balanceada.

3.5. Inspecciones generales de la aeronave

La aeronave requiere de cuidados y tareas de inspección para garantizar la operación, confiabilidad y disponibilidad de todos sus componentes.

Los componentes, accesorios y mecanismos deben ser inspeccionados las primeras 25 horas de vuelo y cada 50, 100, 200 y 400 horas de vuelo, según sean sus condiciones de operación.

La FAA y DGAC de Guatemala, establece en sus regulaciones, para una aeronave con registro guatemalteco, un requerimiento mínimo de una inspección anual, para otorgarle el certificado de aeronavegabilidad. Este debe cumplir con las directivas de aeronavegabilidad publicadas por la FAA.

Toda inspección cuenta con tareas de lubricación, limpieza, servicio, el reemplazo de partes, toma de muestras, aseguramiento de componentes, prevención de corrosión, inspección de sistemas eléctricos, entre otras.

3.6. Inspección prevuelo de motor

Antes de poner en marcha el motor y de cualquier operación de la aeronave, se debe cumplir con una inspección de los parámetros, niveles y estados adecuados de los componentes y superficies de control. Esta inspección la realizará el piloto a cargo del vuelo, para familiarizarse y conocer personalmente el estado de su equipo.

El piloto debe realizar un recorrido de inspección visual de 360° alrededor de la aeronave, inspeccionando puntos básicos de la superficie y mecanismos de

la aeronave, con la ayuda del manual de operaciones, el cual indica todos los puntos que debe inspeccionar.

Si durante la inspección de 360° el piloto encuentra alguna discrepancia, debe ser reportada de inmediato para su reparación o inspección más específica.

3.7. Inspección 25 horas

Para mantener un control de los parámetros del funcionamiento del motor y prevenir la probabilidad de falla dentro de las primeras horas de operación, luego de su fabricación o reacondicionamiento, se programa una inspección a las 25 primeras horas de operación. En esta se revisan los parámetros y se realizan pruebas de aceite para analizar, garantizando así una etapa de acondicionamiento interno adecuado y seguro de la aeronave.

3.8. Inspección 50 horas

Se requiere una inspección a las 50 horas de operación luego de su última inspección, donde se inspecciona los componentes, se verifica el funcionamiento interno del motor y se reemplaza el aceite y el filtro.

3.9. Inspección 100 horas

Esta inspección requiere de tareas más específicas de prevención de fallas, y verificación de todos los componentes y accesorios de la aeronave. Con tareas de limpieza, ajuste, lubricación y verificación de todos los mecanismos móviles y estáticos del motor, fuselaje. Se verifican los sistemas de localización de emergencia, sistemas de aire estático y sistemas de comunicación.

3.10. Inspección 400 horas

Dentro del sistema de control de mantenimiento de la aeronave se programa una inspección de 400 horas para efectuar reacondicionamientos, reparaciones, remplazos y ajuste de componentes que pueden no funcionar adecuadamente, para prevenir así su posible falla futura.

Se analizan y reemplazan todos los componentes que son requeridos por la lista de componentes con vida límite.

Se realizan todas las tareas contenidas en la inspección de 50 y 100 horas e inspecciones especiales periódicas, como la aplicación de tratamientos en prevención a la corrosión, carga lenta a la batería, revisión de estado de cinturones y anclajes de butacas.

Se realizan inspecciona los magnetos, sistema de ignición y tiempo de encendido del motor.

3.11. Inspección no programada

La inspección no programada es la reparación de toda discrepancia encontrada dentro de las rutinas de mantenimiento y las inspecciones pre vuelo realizadas por los pilotos de la aeronave.

Las averías encontradas deben ser reportadas a la organización de mantenimiento a cargo de la aeronave y a las autoridades de la DGAC, con el objetivo de que sea reparada y quede un antecedente de análisis para determinar las causas y las acciones preventivas que se debe tomar.

3.12. Componentes con vida límite

Algunos componentes han sido previamente estudiados y llevados al límite, ensayados en ambientes controlados, los cuales se analizan estadísticamente para determinar un tiempo límite de operación con baja probabilidad de falla.

Estos componentes con vida límite se deben reemplazar o reacondicionar según lo requiera el manual del fabricante o publicaciones técnicas a la fecha de la inspección.

4. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Un programa de mantenimiento adecuado y controlado a cada motor de cada aeronave, tiene como resultado una reducción de costos y mejora de la confiabilidad de la aeronave.

La planeación integrada de cada rutina de mantenimiento, que incluye la inspección y servicios de los componentes en intervalos específicos, es de vital importancia para elevar la calidad y disponibilidad del motor y todos sus componentes.

Dentro de la planeación se debe incluir y abastecer de los materiales y herramientas necesarias que se pueda utilizar, con el fin de reducir el tiempo de parada de la aeronave.

También se debe tomar en cuenta toda reparación de emergencia que pueda llegar a ocurrir. Esta se debe prever en la programación y estimar entre un 10 % y 15 % de toda la actividad de mantenimiento por realizar en ese momento.

4.1. General

Tabla IV. **Especificaciones técnicas del motor Lycoming O-320-E2D**

Dato	Especificaciones
Modelo del motor	O-320-E2D
Numero de cilindros	4 horizontales opuestos
Desplazamiento	320 pulgadas cúbicas
Radio de compresión	7.00 : 1
Potencia a nivel del mar	150 hp
Octanos mínimo para combustible	87 octanos

Continuación tabla IV.

Carburador	MA-4SPA
Capacidad de aceite	8 qts
Modelo de magnetos	4251 <i>slick</i>
Tiempo ignición de magnetos	25°
Orden de encendido	1 – 3 – 2 - 4
Presión de combustible mínimo y máximo	0.5 – 8 psi
Presión de aceite mínimo y máximo	55 – 95 psi
Peso del motor en vacío	249 lbs
TBO	2,000 h

Fuente: elaboración propia.

Las tareas de mantenimiento preventivo para el motor *Lycoming O-320-E2D* se realizan a distintos sistemas y componentes que lo conforma.

Figura 13. **Cowling de motor**



Fuente: Multiservicios Aéreos, S.A.

- Cowling de motor: se conforma por dos cobertores que cubren el motor, colocados sobre pequeños montantes y asegurados por tornillos de rápida liberación. Se le realizan las siguientes tareas de mantenimiento:
 - Retirar todos los tornillos de liberación rápida, se desconectar las conexiones eléctricas de las luces de aterrizaje y taxeo.
 - Limpiar todas las superficies de los cobertores, con un paño con solvente o mezcla de desengrasante. Inspeccionar todas las superficies en busca de grietas o rajaduras.

- Sistema de ignición, comprendido por dos magnetos, 8 bujías, 8 arneses de ignición, *switch* de ignición y cables de puesta a tierra entre el *switch* y cada uno de los magnetos. Al sistema de ignición se le da el siguiente mantenimiento:

Figura 14. **Magneto**



Fuente: Multiservicios Aéreos, S.A.

- Verificación de tiempo interno de encendido de los magnetos. Se retira la bujía superior del cilindro número 1, se gira la hélice en sentido contrario a las agujas del reloj, hasta lograr el PMS del pistón; se verifica visualmente que esté en el punto TC, marcado en el volante y el punto de referencia marcado en el frontal del motor de arranque. Luego de verificado el punto TC, se gira la hélice hasta encontrar el punto de 25° de la misma forma. Se conecta la herramienta E100 a los magnetos, conectando los cables rojos en cada conexión de los magnetos, y el cable negro a cualquier punto de tierra. Se enciende la herramienta E100 y con pequeños movimientos a la hélice, se verifica que los dos magnetos enciendan las luces de ignición al mismo tiempo, en el punto de 25°.

Figura 15. **Verificación del Punto TC**



Fuente: Multiservicios Aéreos, S.A.

- Inspección, limpieza y ajuste de bujías. Cuenta con 2 bujías por cilindro, las cuales se retiran y se colocan de forma enumerada para su análisis visual, el cual indica las condiciones de encendido dentro de la cámara de combustión. Luego de la inspección se limpian con solvente y se inspecciona la abertura adecuada del electrodo. Luego se inspecciona la resistividad interna de la bujía. Se coloca un multímetro digital en la escala de ohmios Ω en cada extremo de la bujía, como lo muestra la figura 16. El rango de operación de la bujía esta entre 0,500 – 5000 Ω , indicación que la bujía está en buen estado y puede seguir en funcionamiento.

Figura 16. **Medición de ohmios de bujías**



Fuente: Multiservicios Aéreos, S.A.

- Inspección de arneses de ignición. Conectados entre los magnetos y cada bujía, los arneses deben ser limpiados y verificados visualmente.

Se buscan rajaduras y desgastes de los cables y estados de las conexiones. De haber alguna discrepancia deben ser reemplazados inmediatamente.

- Controles de motor. Los controles principales del motor deben ser inspeccionados en cada rutina de mantenimiento. Se debe verificar que estos estén ajustados y se deslicen suavemente durante todo su recorrido, que se mantengan en esa posición segura y que el brazo el mecanismo que actúa, opere de manera adecuada a través de los componentes del motor. Además que puedan ser posicionados en los parámetros máximos y mínimos, según la carrera de la palanca de control.
- Sistema de escape. Está conformado por dos partes, una para cada lado de los cilindros. Se inspecciona de manera visual todo el sistema de escape incluyendo el *muffler*, en busca de orificios, rajaduras o solturas mecánicas que puedan presentar los tornillos de sujeción y abrazaderas. De presentar alguna discrepancia se deben cambiar las partes inmediatamente.
- Sistema de arranque. El motor eléctrico de arranque debe ser inspeccionado periódicamente. Se debe inspeccionar que la batería tenga la carga adecuada; inspeccionar el nivel de ácido de todas las celdas y el estado de las terminales eléctricas. Al motor de arranque se debe de inspeccionar y limpiar los contactos internos; esto se realiza desmontando la tapadera trasera del motor de arranque. Posteriormente, inspeccionar que los cables eléctricos no presenten desgaste ni daños externos.
- Dentro de las rutinas de mantenimiento se debe hacer una inspección al motor antes de cada vuelo, con el objetivo de garantizar un estado óptimo y seguridad en cada puesta en marcha. Incluye las siguientes tareas:

- Inspeccionar el nivel de combustible manualmente. Esto se realiza con la ayuda de una varilla medidora, la cual se sumerge directamente dentro del tanque y se toma una lectura directa e inmediatamente. Se comprueba así la cantidad de combustible requerida para las horas de vuelo previstas. La válvula selectora de tanque de combustible debe estar situada en posición de ambos tanques.

- Comprobar el nivel de aceite disponible. En la parte superior se encuentra una inspección de abertura situada en el *cowling* del motor. Al destaparla se encuentra el tapón y varilla medidora de aceite; en el primero se encuentra grabado, la cantidad máxima de aceite para ese motor. En este caso serán 8 qts de aceite. Posteriormente se desenrosca el tapón y se extrae la varilla, se limpia con un paño seco, luego se inserta nuevamente y se retira. Se debe leer directamente de la varilla cuánto aceite tiene el motor.

- Comprobar las condiciones de la hélice propulsora. En la parte frontal se encuentra la hélice. Por medio de inspección visual se debe de comprobar que no tenga golpes, rajaduras, o daños evidentes. El mismo procedimiento se ejecuta con el *spinner*.

- Verificar la tensión de la correa del alternador. Con una inspección visual y comprobando la tensión con la mano, es suficiente para verificar que esté en buenas condiciones y con una tensión adecuada para el vuelo.

- Verificar los orificios y entradas de aire. Los orificios y entradas de aire situadas en el *cowling* del motor deben estar libres de cualquier

obstrucción y suciedad, dado que estas son las entradas de aire directas al motor y su refrigeración.

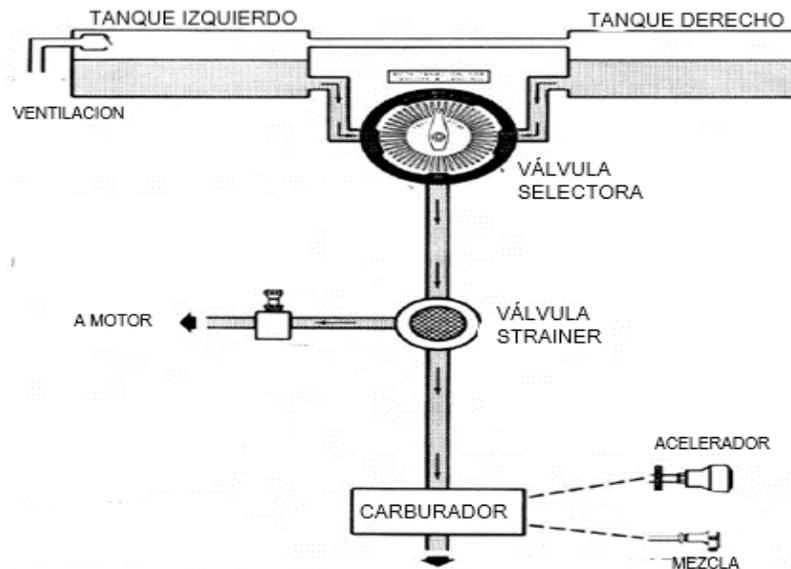
- Verificar que el filtro de aire de motor, situado en la parte frontal baja del *cowling* de motor, este libre de obstrucción y suciedad.
- Comprobar los controles de mezcla y acelerador. Se debe verificar el mecanismo de control de motor, situado en el panel de instrumentos dentro de la cabina. Verificar que las dos palancas actúen de forma normal.

4.2. Sistema de combustible

El mantenimiento para el sistema de combustible se centra en limpieza de todo el sistema y el reemplazo de los componentes y válvulas que lo requieran luego de cada tipo de inspección.

- Cerrar flujo de combustible. Se debe cerrar la válvula de selección de combustible, que debe estar en posición off.
- Identificar las líneas de combustible de entradas y salidas en el motor, tanto para el filtro como para la bomba de combustible.
- Remover las líneas metálicas y mangueras, desenroscando los *fittings* de conexión.
- Remover las abrazaderas y ganchos de sujeción.

Figura 17. Sistema de combustible con Carburador

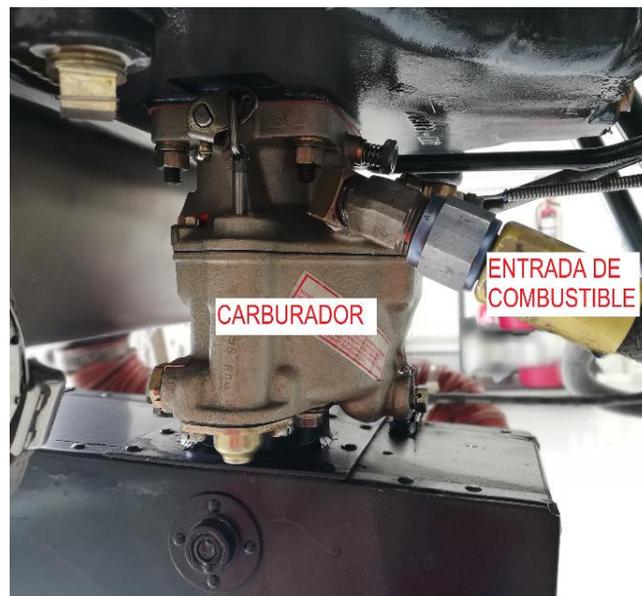


Fuente: Cessna Aircraft Company. *Owner's Manual Model 172 and Skyhawk 1972*, página 9

- Inspeccionar las líneas y mangueras en busca de posibles rajaduras, o desgastes. De ser necesario, se reemplazan.
- Limpiar con presión de aire todas las líneas y mangueras.
- Retirar los seguros metálicos colocados en la campana de drenaje.
- Retirar el filtro de combustible, para verificación y limpieza.
- De contener carburador, se retiran las tuercas y conexiones para retirar el carburador. Se verifica su funcionamiento y se realiza una limpieza.

- De ser inyectado, se retiran los 4 inyectores y empaques, contenidos en cada cilindro, para su limpieza, verificación y/o remplazo. Los inyectores no son reparables ni ajustables; de ser necesario, se reemplazan.
- Instalar de nuevo todos los componentes.
- Verificar la bomba de combustible eléctrica.
- Inspeccionar visualmente ambos tanques de combustible desde su orificio de entrada.
- Si presenta contaminación por partículas, se debe de drenar todo el combustible para su limpieza.

Figura 18. **Entrada de combustible al carburador**



Fuente: Multiservicios Aéreos, S.A.

4.3. Sistema de lubricación

El mantenimiento al sistema de lubricación se centra en la inspección y reemplazo, cuando así se requiera, de los componentes que lo conforman, como también el cambio periódico del lubricante adecuado para el motor. Se debe de tomar en cuenta la viscosidad y el tipo de lubricante que se requiere según sea las condiciones climáticas y de operación del motor.

Figura 19. **Válvula de drenaje de aceite**



Fuente: Multiservicios Aéreos, S.A.

- Drenar el aceite de motor contenido mientras el motor esté aproximadamente a unos 40°C, con el fin de que el drenado sea fluido. Se debe abrir la válvula girando la perilla 90° en contra de las agujas del reloj, que se encuentra en la parte inferior del contenedor de aceite.
- Drenar el contenido de aceite del enfriador de aceite. Se desconecta la línea de entrada de aceite al enfriador y se deja escurrir el aceite.

- Retirar el filtro de aceite, para su posterior análisis por partículas. Es muy importante que se realice, ya que dentro del filtro están atrapadas toda impureza y rastros de material desgastado que pudiera ser desprendido por algún rodamiento interno o parte de piezas en movimiento.

Figura 20. **Enfriador de aceite**



Fuente: Multiservicios Aéreos, S.A.

Figura 21. **Filtro de aceite**



Fuente: Multiservicios Aéreos, S.A

4.4. Procedimiento para la solución de problemas

Cuando se presenta algún índice de falla, se debe seguir procedimientos de inspección dependiendo el sistema al que afecte. En las siguientes tablas se muestran algunas posibles fallas, su posible causa y la inspección o solución requerida.

Tabla V. Solución de problemas de funcionamiento de motor

Problema	Posible causa	Solución
Falla al poner en marcha el motor.	Procedimiento inadecuado.	Referirse al manual de operación de piloto.
	Sin combustible.	Verificar la cantidad de combustible.
	Sin paso de combustible.	Verificar que la válvula selectora de combustible se encuentre en posición de ambos tanques.
	Bujías en mal estado.	Remover, limpiar e inspeccionar la condición de las bujías.
	Switch de magneto defectuoso.	Inspección por continuidad, reparación o cambio.
	Magneto fuera de tiempo.	Inspeccionar el tiempo del magneto, corregir a 25°
	Combustible contaminado de agua.	Purgar una muestra de combustible de cada tanque y purga de filtro de combustible.
	Mezcla de aire combustible en posición pobre.	Mover la palanca de mezcla a posición rica.
	Carburador no inyecta combustible.	
Limpieza y servicio a las agujas de inyección de combustible		

Continuación tabla V.

	Falta de chispa de ignición.	Inspección visual por desgaste o rotura de arneses de ignición.
		Inspección y reparación de disparador dentro del magneto
Motor de arranque en mal estado.	Switch de motor de arranque defectuoso.	Inspección por continuidad, reparación o cambio.
	Solenoides de motor de arranque defectuoso.	Inspección por continuidad, reparación o cambio.
	Bajo voltaje de batería.	Comprobar la carga de la batería, que brinde el voltaje correcto necesario según motor de arranque.
	Motor de arranque defectuoso.	Retirar, inspeccionar todas las partes y contactos del motor de arranque, reemplazar o reparar de ser necesario.
Motor arranca pero con problemas.	Mezcla mal ajustada.	Ajustar los parámetros máximos y mínimos de la mezcla en el carburador.
		Inspección de cable de control de mezcla.
	Bujías en mal estado.	Remover, limpiar e inspeccionar la condición de las bujías.
	Bomba mecánica en defectuosa.	Si con la bomba eléctrica auxiliar, el motor se mantiene. Reemplazar la bomba mecánica.
	Aire de admisión obstruido.	Inspección visual al filtro de aire, remover y limpiar obstrucciones, de ser necesario reemplazar filtro.
	Motor defectuoso.	Inspeccionar diferencial de compresiones en cilindros, inspección general. Reparar si es necesario.

Continuación tabla V.

Motor no se desempeña correctamente y tiene pérdidas de potencia.	Sistema de combustible obstruido.	Inspeccionar y limpiar los filtros de combustible.
	Mezcla mal calibrada.	Ajustar los parámetros mínimos y máximos de la mezcla, en el carburador
	Bujías desgastadas.	Inspeccionar la abertura de las bujías y su resistencia interna.
	Hélice fuera de balance.	Inspeccionar hélice por golpes, balancear hélice.
	Montantes de motor en mal estado.	Inspeccionar los 4 montantes de motor, retorque a los tornillos, cambiar montantes, de ser necesario.
Alta temperatura en cilindros.	Obstrucción en entradas de aire.	Inspección visual a entradas de aire en <i>cowling</i> y retirar obstrucción.
	Motor defectuoso.	Inspeccionar diferencial de compresiones en cilindros, inspección general. Reparar si es necesario.
	Perdida de sello en baffles.	Inspección visual, instalar <i>baffles</i> apropiadamente, cambiar si es necesario
	Octanaje de combustible incorrecto.	Drenaje de todo el combustible, llenar con combustible adecuado.
	Tiempo incorrecto de encendido.	Inspeccionar el tiempo del magneto, corregir a 25°

Fuente: elaboración propia

Tabla VI. **Solución de problemas sistema de lubricación**

Problema	Posible causa	Solución
Sin indicación de presión de aceite.	Sin contenido de aceite.	Verificar la cantidad de aceite, de hacer falta ajustar la cantidad de 8 qts con el grado de aceite adecuado.
	Línea de presión de aceite rota, obstruida o con fuga.	Inspección visual a la línea de presión de aceite dentro del panel de instrumentos y fuera de la pared de fuego.
Baja presión de aceite.	Cantidad baja de aceite.	Verificar la cantidad de aceite, de hacer falta ajustar la cantidad de 8Qts con el grado de aceite adecuado.
	Baja viscosidad en aceite.	Drenar todo el aceite contenido y se vierte aceite nuevo del grado de aceite adecuado para el modelo de motor y temperatura ambiental.
	Resorte de válvula de presión de aceite, en mal estado o roto.	Se saca el resorte, se inspecciona visualmente y de ser necesario, se reemplaza.
	Instrumento de presión de aceite en mal estado.	Se mide la presión de aceite con un manómetro externo en paralelo con el instrumento interno, se cotejan resultados. De ser necesario, reemplazar el instrumento interno.
Alta presión de aceite.	Alta viscosidad de aceite.	Se drena todo el aceite contenido en el motor y se vierte aceite nuevo del grado de aceite adecuado para el modelo de motor y temperatura ambiental.

Continuación tabla VI.

	Instrumento de presión de aceite en mal estado.	Se realiza una medición de presión de aceite con un manómetro externo en paralelo con el instrumento interno, se cotejan resultados. De ser necesario, reemplazar el instrumento interno.
Alta temperatura de aceite.	Intercambiador de calor de aceite obstruido.	Se inspecciona visualmente el conducto de aire al intercambiador de calor, se limpia y se verifica su desempeño.
	Cantidad baja de aceite.	Verificar la cantidad de aceite, de hacer falta ajustar la cantidad de 8 qts con el grado de aceite adecuado.
	Operación de motor a alta revolución en tierra.	Mantener en tierra el motor operando a menos de 1500 rpm.
	Inspeccionar el instrumento.	Se mide la temperatura de aceite con un instrumento externo en paralelo con el instrumento interno. De ser necesario, reemplazar el instrumento interno.

Fuente: elaboración propia

Tabla VII. **Solución de problemas sistema de combustible**

Problema	Posible causa	Solución
El motor no recibe combustible.	Tanques de combustible vacíos.	Llenar los tanques con el combustible adecuado.
	Vapor de combustible, climas cálidos y motor caliente.	Se drena el vapor de combustible realizando una purga en el sistema.

Continuación tabla VII.

	Inyectores o carburador obstruidos.	Se retira e inspeccionan los inyectores o agujas del carburador para su limpieza o reemplazo.
	Filtros de combustible obstruidos.	Se retiran, inspeccionan y limpian los filtros de combustible.
Motor no se mantiene en marcha lenta.	Mezcla mal calibrada.	Ajustar los parámetros mínimos y máximos de la mezcla, en el carburador.
	Restricción en sistema de combustible.	Inspeccionar y limpiar los filtros de combustible.
	Fugas en manifold de admisión.	Inspeccionar las pipas, empaques, ductos y abrazaderas de manifold de admisión. De ser necesario cambiar los ductos y empaques.
	Fuga en válvulas de admisión en cámara de combustión.	Inspeccionar con prueba de diferencial de presión. Reparar cilindros afectados.

Fuente: elaboración propia

4.5. Lista de verificación

Cada vez que se realice mantenimiento al motor se debe realizar el mantenimiento que sea necesario, según las condiciones y el tiempo en horas de operación. Cada tipo de mantenimiento requiere de ciertas tareas anteriormente descritas. Con la ayuda de la lista de verificación, se puede visualizar qué tareas están asignadas en los tiempos estipulados, así como ayuda a llevar un orden sistemático de las inspecciones requeridas.

En la lista de verificación se debe de anotar:

- Matrícula de la aeronave.
- Modelo del motor y número de serie.
- Tipo de mantenimiento.
- Fecha de realización.
- Mecánico a cargo.
- Tacómetro o número de horas de operación de la aeronave a la fecha del mantenimiento.
- El estado en el que se encuentra cada ítem de la lista de verificación, dado el caso que se deba lubricar, inspeccionar, reemplazar algún componente o en totalidad.

Se presenta un modelo de lista de verificación, el cual es una referencia técnica hacia los procedimientos descritos anteriormente.

Cada tarea de mantenimiento, en la tabla VIII, que muestra en la parte izquierda de la lista cuenta con un periodo de realización que se muestra en la parte derecha.

Tabla VIII. Modelo de lista de verificación

Lista de Verificación		FECHA: _____			
		MATRICULA: _____			
		NAVE: _____			
		No. SERIE: _____			
		TACOMETRO: _____			
		No O./T. _____			
No	DESCRIPCION DE PROCESO	50 H.	100 H.	200 H.	ESTADO
MOTOR: _____		No. SERIE _____			
1	Drenar Aceite, verificar tapón, varilla y retirar filtro de aceite.	X			
2	Estado de enfriador de aceite.		X		
3	Filtro de aire. Limpieza /Reemplazo.	X			
4	caja de aire, compuertas y válvulas. Inspección / limpieza.		X		
5	Mangueras de aire frío/caliente. Inspección/condición.			X	
6	Baffles de motor.	X			
7	Cilindros, tapa de balancines y cobertores de varillas.		X		
8	Inspección de block y sección de accesorios por condición		X		
9	Mangueras, líneas metálicas y forros. Inspección / condición	X			
10	Sistemas de admisión y gases de escape. Condición y soldaduras	X			
11	Inspección de arnes de ignición.				
12	Inspección, limpieza, calibración, rotación de bujías.		X		
13	Chequeo de compresiones, diferencial de presión a 80 psi.			X	
14	Inspección de sistemas de vacío, bomba y líneas.			X	
15	Cableado eléctrico, Inspección.		X		
16	Alivio de vacío y filtro de válvula (área cabina).			X	
17	Controles de motor, y enlaces. Inspección /lubricación.	X			
18	Inspección de montantes de motor, bancada y sujetadores.			X	
19	Motor de arranque, solenoide y conexiones.		X		
20	Cepillos de motor de arranque, inspección desgaste.			X	
21	Conexiones eléctricas de alternador.		X		
22	Cepillos de alternador, inspección desgaste.			X	
23	Inspección externa de magnetos y conexiones eléctricas.		X		
24	Tiempo de magnetos (motores nuevos cada 25hrs).		X		Tiempo 25°
25	Drenar carburador, inspección y limpieza de filtro.		X		
26	Inspección pared de fuego, y <i>cowling</i> .	X			
27	Limpieza / inspección de inyectores.		X		
28	Sistema de turbo Cargador, mangueras, líneas de lubricación.	X	X		
29	Revisar sistema lubricación.	X			
30	Drenaje, filtro y taza de combustible.	X			
31	Correr motor, verificación de parámetros.	X			
32	Inspección de carga de batería.	X			

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

1. El motor alternativo, utilizado en la industria aeronáutica, cuenta con grandes ventajas en comparación de otros modelos de motores alternativos utilizados en diferentes industrias. Cuenta con sistemas y componentes duales, como el sistema de inyección, que utiliza dos bujías por cilindro y dos magnetos generadores de chispa independientes.
2. Los motores alternativos horizontales opuestos ofrecen una gran versatilidad y reducción de vibraciones, debido a la posición horizontal y opuesta de sus cilindros. Crean un balance dinámico al poner en marcha el motor a diferentes rangos de operación.
3. El mantenimiento preventivo se debe ejecutar con la debida frecuencia que el manual del fabricante recomienda, evitando con esto un desgaste interno y prematuro de los componentes y sistemas del motor.
4. El mantenimiento debe ser programado con antelación, para garantizar que los materiales, herramienta, equipo, componentes y la disponibilidad técnica, sea la adecuada y se cuente con lo necesario para garantizar la ejecución segura y dentro del menor tiempo posible.
5. Las condiciones de operación, régimen de vuelo y condiciones meteorológicas, son parámetros importantes por considerar en el análisis y ejecución de los periodos de mantenimiento e inspecciones especiales.

RECOMENDACIONES

1. Antes de empezar a realizar cualquier tarea de mantenimiento, se debe de asegurar que todos los componentes estén en modo seguro, las válvulas de combustible estén en modo apagado, todos los *switch* de corriente estén apagados y la aeronave se encuentre en un ambiente adecuado para su mantenimiento.
2. El mantenimiento de los motores alternativos utilizados en la industria aeronáutica debe ser ejecutado por personal técnico profesional, debidamente preparado y con autorización de la DGAC de Guatemala.
3. La lista de verificación es un modelo creado como recomendación para verificar los intervalos y tareas de mantenimiento según el tiempo de operación del motor.
4. Todo mantenimiento debe estar referenciado y siguiendo las indicaciones del manual del fabricante, publicaciones técnicas y bajo las leyes de aviación civil de Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

1. AVCO, Corporation. *Engine Maintenance Manual IO-360-N1A Engine*. 1a ed. USA: Lycoming Engines, 2016. 185 p.
2. BALLESTEROS ROBLES, Francisco. *La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial*. España: Preditec/IRM, 2011. 12 p.
3. CESSNA AIRCRAFT COMPANY. *Owner's Manual Model 172 and Skyhawk 1972*. USA: Cessna Aircraft company, 1972. 73 p.
4. *Service Manual 1977 Thru 1986 Model 172 Series*. Rev. 8. USA: Cessna Aircraft company, 2012. 594 p.
5. DUFFUAA, Salih. RAOUF, A. DIXON CAMPBELL, John. *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*. 1a ed. México: Limusa, 2000. 419 p.
6. MORALES FERNÁNDEZ, Stephanie. *Administración de mantenimiento programado y correctivo para aeronaves ejecutivas y helicópteros en un taller aeronáutico*. Tesina de Ing. Aeronáutica. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, México, 2013. 69 p.
7. OÑATE, Esteban Antonio. *Conocimientos del avión*. 6ta ed. España: Paraninfo, 2007. 1048 p.

