



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MOTORES
ALTERNATIVOS DE AERONAVES BASADO EN EL ANÁLISIS DE
ACEITE USADO**

MIGUEL ALEJANDRO LUX MONROY

Asesorado por el Ing. LUIS FERNANDO GUILLÉN FERNÁNDEZ

Guatemala, octubre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MOTORES
ALTERNATIVOS DE AERONAVES BASADO EN EL ANÁLISIS DE
ACEITE USADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MIGUEL ALEJANDRO LUX MONROY

ASESORADO POR EL ING. LUIS FERNANDO GUILLÉN FERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

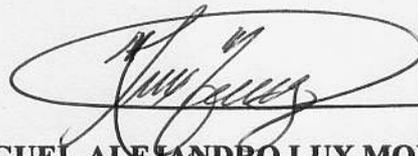
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Walter Guillermo Castellanos Rojas
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo 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 PREDICTIVO PARA MOTORES
ALTERNATIVOS DE AERONAVES BASADO EN EL ANÁLISIS DE
ACEITE USADO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica, el 15 de marzo de 2010.



MIGUEL ALEJANDRO LUX MONROY

Guatemala, 3 de agosto de 2010

Ingeniero

Julio César Campos Paiz

Director de Escuela de Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor director:

Por este medio me permito informarle que he concluido la asesoría del trabajo de graduación **"MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MOTORES ALTERNATIVOS DE AERONAVES BASADO EN EL ANÁLISIS DE ACEITE USADO"**, elaborado por el estudiante **MIGUEL ALEJANDRO LUX MONROY**.

Cumpliendo con los objetivos propuestos para su desarrollo, en tal virtud me permito recomendar su aprobación.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.



Ing. Luis Fernando Guillén Fernández
Colegiado No. 6109
Asesor

Ing. Mec. Luis Fernando Guillén
M.A. INGENIERIA DE MANTENIMIENTO
COLEGIADO No. 6109

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

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 PREDICTIVO PARA MOTORES ALTERNATIVOS DE AERONAVES BASADO EN EL ANÁLISIS DE ACEITE USADO**, del estudiante Miguel Alejandro Lux Monroy, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑADA TODOS

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área



Guatemala, agosto de 2010.

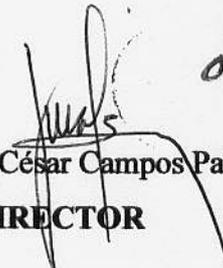
/bedei



FACULTAD DE INGENIERÍA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área Complementaria, al trabajo de graduación titulado **MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MOTORES ALTERNATIVOS DE AERONAVES BASADO EN EL ANÁLISIS DE ACEITE USADO**, del estudiante **Miguel Alejandro Lux Monroy**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR

Julio César Campos Paiz
Ingeniero Mecánico
Colegiado 2701

Guatemala, septiembre de 2010



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, al trabajo de graduación titulado: **MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MOTORES ALTERNATIVOS DE AERONAVES BASADO EN EL ANÁLISIS DE ACEITE USADO**, presentado por el estudiante universitario **Miguel Alejandro Lux Monroy**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, octubre de 2010

/cc
cc. archivo

ACTO QUE DEDICO A

MIS PADRES

**AGUSTÍN LUX CORTEZ
PAULA MONROY DE LUX**

Como recompensa a sus múltiples sacrificios y esfuerzos

MIS HERMANOS

HEIDI, EMILIO Y MANUEL

Por su cariño, consejos y apoyo a lo largo de mi vida

MIS ABUELAS

**NATIVIDAD CORTEZ (Q.E.P.D.)
ALBERTA PÉREZ**

Por ser los pilares fundamentales de la familia

MIS SOBRINAS

ALEJANDRA, MARÍA JOSÉ, DENNIS

Por ser la inspiración que me motiva

MI FAMILIA

Por su cariño sincero, en especial a mi tío

DIEGO Y SORAYDA MORALES

Al apoyarme y motivarme durante toda mi carrera

**LA UNIVERSIDAD DE SAN
CARLOS**

Por llenarme de orgullo al haber egresado de tan digna casa de estudio

**LA FACULTAD DE
INGENIERÍA**

Al brindarme las herramientas necesarias para afrontar los futuros retos como profesional

MIS AMIGOS

MYNOR, MILTON, HUGO, EDEN, ELIUD

RICARDO, por compartir la visión de un futuro mejor. **YELIZA Y SARAI** Al motivarme a concluir mi carrera

AGRADECIMIENTO A

DIOS

Por darme la vida, perseverancia y entendimiento para así cumplir su voluntad

ING. LUIS FERNANDO GUILLÉN

Por brindarme su amistad, apoyo y asesoría para así poder concluir este trabajo de graduación

CAP. P.A. EDGAR REYES

Sr. RUDY FLORES

Sr. ROBERTO SANTIZO

De la empresa AEROCHARTER, S.A.

Por permitirme el acceso a sus empresas y proporcionarme información y consejos durante la elaboración de esta tesis

Sr. ALEJANDRO VIZCAINO

De la empresa AERONAVES, S.A.

CAP. P.A. MYNOR PELÁEZ

1.2.1.2.1 Entrega de aeronave nueva	7
1.2.1.2.2 Todas las demás aeronaves	8
1.2.1.3 Inicio del programa de inspección de cuidado progresivo	9
1.2.1.3.1 Nacional (U.S.A)	9
1.2.1.3.2 Internacional (otros países)	10
1.2.1.3.3 Expedientes del mantenimiento del avión	10
1.2.1.3.4 Registro de la inspección del cuidado progresivo del avión	10
1.2.1.4 Utilización de horarios de operación	11
1.2.1.4.1 Título del bloque	11
1.2.1.4.2 Artículos de la inspección	11
1.2.1.4.3 Verificación/iniciales	12
1.2.1.4.4 Artículos que no son aplicables	12
1.2.1.4.5 Opciones especiales y artículos instalados en el campo	12
1.2.1.4.6 Artículos especiales de la inspección	13
1.2.1.4.7 Artículos post-inspección	13
1.2.1.4.8 Certificación para aprobar el avión para el regreso a servicio	14
1.2.1.5 Utilización de registros de inspección del cuidado progresivo	14
1.2.1.5.1 Registro de operación	14
1.2.1.5.2 Cartas de información de servicio, boletines de servicio y registro de directiva de navegabilidad	15
1.2.1.5.3 Artículos especiales del registro de la inspección	16
1.2.1.6 Realización de operaciones	17
1.2.1.7 Variación del programa de cuidado progresivo	22
1.2.1.7.1 Variación del programa normal	22
1.2.1.7.2 Modificación de horarios de operación	23
1.2.1.8 Cancelación del programa de cuidado progresivo	24

1.2.1.9 Procedimiento para el uso del programa de inspección progresiva en aeronaves monomotor de pistón no especificado en esta sección	24
1.2.1.9.1 Desarrollo de sus propios horarios de operación	26

2. MOTORES ALTERNATIVOS DE AERONAVES

2.1 Motor aeronáutico	29
2.1.1 Motores alternativos	29
2.1.1.1 Tipos de motores alternativos	30
2.1.1.1.1 Motor radial	31
2.1.1.1.2 Motor de cilindros horizontalmente opuestos	31
2.1.1.2 Diferencias entre motores con cilindros en oposición	32
2.1.1.3 Codificación de los motores recíprocos	33
2.2 Componentes principales	35
2.2.1 Especificaciones, límites y tablas	36
2.2.1.1 Abastecimiento y medida de aceite	37
2.2.1.2 Consumo de aceite	38
2.2.1.3 Rendimiento del motor	38
2.2.2 Descripción general	39
2.2.2.1 Caja cigüeñal	41
2.2.2.2 Cilindros	41
2.2.2.3 Enfriador de aceite	42
2.2.2.4 Cigüeñal	43
2.2.2.5 Bielas	43
2.2.2.6 Árbol de levas	43
2.2.2.7 Pistones	44
2.2.2.8 Anillos	44
2.2.2.9 Válvulas	44
2.2.2.10 Bujías	44

2.2.3 Sistema de lubricación	44
2.2.3.1 Sistema de lubricación de aeronaves	45
2.2.3.1.1 Parámetros a medir en el aceite	45
2.2.3.1.2 Esquema del sistema de lubricación	47
2.2.4 Refrigeración	48
3. LUBRICACIÓN	
3.1 Funciones del lubricante	51
3.2 Factores que afectan la lubricación en motores alternativos de aeronaves	51
3.3 Aceite lubricante	52
3.3.1 Aceites utilizados en motores alternativos de aeronaves	52
3.3.1.1 Aceite mineral	53
3.3.1.2 Aceite sintético	54
3.3.1.3 Ventajas y desventajas entre aceites minerales y sintéticos	56
3.4 Composición de los aceites lubricantes de aeronaves	56
3.4.1 Bases para aceites utilizados en aviación	57
3.4.1.1 Bases minerales	57
3.4.1.2 Bases semisintéticas	58
3.4.1.3 Bases sintéticas	58
3.4.1.3.1 Polialfaolefina	58
3.4.1.3.2 Esteres orgánicos	59
3.4.2 Aditivos para aceites utilizados en aviación	59
3.4.2.1 Aditivo antioxidante	59
3.4.2.2 Aditivo antiespumante	59
3.4.2.3 Aditivo dispersante sin cenizas	59
3.4.3 Diferencia entre aditivos utilizados en aviación y la industria automotriz	60

4. ANÁLISIS DE ACEITE

4.1 Descripción de pruebas utilizadas para el análisis de aceite	62
4.1.1 Normas ASTM	63
4.1.2 Método de prueba estándar para determinación de elementos aditivos, desgaste de metales y contaminantes en aceite lubricante usado por espectroscopia de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) ASTM D-5185	64
4.1.2.1 Resumen del método de prueba	64
4.1.3 Método de prueba estándar para determinación de viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos ASTM D-445	66
4.1.3.1 Resumen del método de prueba	66
4.1.4 Método de prueba estándar para determinación de agua y sedimentos por centrifugación ASTM D-96	66
4.1.4.1 Resumen del método de prueba	66
4.1.5 Método de prueba estándar para determinación de los puntos de inflamación y de combustión por vaso abierto Cleveland ASTM D-92	67
4.1.5.1 Resumen del método de prueba	67
4.2 Toma de muestra	67
4.2.1 Tipo de muestra	68
4.2.2 Pasos básicos para la toma de muestras	68
4.2.3 Precauciones	69
4.2.4 Periodicidad de muestreo	69
4.2.5 Muestreos extraordinario	70
4.2.6 Métodos utilizados para la toma de muestra	70
4.2.6.1 A través de la boca de carga del depósito	70
4.2.6.2 A través de drenaje	71
4.2.6.3 Mediante pistola de succión	72

4.2.6.4 Ventajas y desventajas de los métodos utilizados para la toma de muestra	74
5. REALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	
5.1 Método de análisis a utilizar	75
5.1.1 Recopilación de datos	75
5.1.2 Toma de muestra	76
5.2 Guía de investigación de averías	77
5.2.1 Dilución de combustible	79
5.2.2 Viscosidad	80
5.3 Interpretación de los resultados del informe de la prueba y acción correctiva a tomar	82
5.3.1 Normal	82
5.3.2 Anormal	82
5.3.3 Critico	83
5.4 Resultados obtenidos durante la prueba	83
5.4.1 Reporte de laboratorio 1	83
5.4.2 Reporte de laboratorio 2	85
5.5 Establecer rutinas de análisis de aceite	87
5.6 Creación de historial del análisis de aceite	88
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	93
ANEXOS	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Registro de operación	15
2.	Cartas de información de servicio, boletines de servicio y registro de directiva de navegabilidad	16
3.	Artículos especiales del registro de la inspección	17
4.	Tipos de motor según la colocación de los cilindros	30
5.	Vista frontal, tres cuartos lado derecho motor O-470	35
6.	Diagrama de componentes del motor (vista superior)	39
7.	Vista trasera, tres cuartos lado izquierdo motor O-470	40
8.	Cilindros de aeronaves	41
9.	Enfriador de aceite de 9 placas, Aero-Classics	43
10.	Indicadores de presión y temperatura de aceite	46
11.	Esquema del sistema de lubricación	47
12.	Flujo de aire del motor	49
13.	Formulación de lubricantes	57
14.	Método de extracción a través de la boca de carga del deposito	71
15.	Método de extracción a través de drenaje	72
16.	Pistola de succión	74
17.	Reporte de laboratorio 1	84
18.	Reporte de laboratorio 2	86
19.	Forma de notificación del programa de inspección de cuidado progresivo	97

TABLAS

I.	Modelos de aeronaves incluidas en el programa de inspección progresiva	2
II.	Modelos de aeronaves monomotor de pistón incluidas en el programa de inspección progresiva	4
III.	Número de parte para manual de servicio y horario de operación	25
IV.	Carta de referencia cruzada de horario de operación a modificar	26
V.	Accesorios	36
VI.	Detalles del sistema de ignición	36
VII.	Características y dimensiones	37
VIII.	Limites de temperatura	37
IX.	Limites de presión	38
X.	Grados de viscosidad de aceite	38
XI.	Elementos determinados y longitud de onda sugerida	65
XII.	Fuentes de contaminación y desgaste en el aceite	78
XIII.	Horarios de operaciones para monomotores por número de pieza	101

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
°C	Celsius, unidad de medida de temperatura, SI
AD	<i>ashless-dispersant</i> , dispersante sin cenizas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> , Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
cc	Centímetro cubico, unidad de volumen
CESSNA	Compañía fabricante de aeronaves
Cu.in.	Pulgadas cubicas, unidad de volumen
FAR	<i>Federal Aviation Regulations</i> , Regulaciones Federales de Aviación
LL	<i>Low lead</i> , bajo en plomo
mg/kg	Miligramo por cada kilogramo
nm	Nanómetro, unidad de longitud
OEMs	<i>Original engine manufacturers</i> , Fabricantes de motores originales
qt	Cuarto, medida de volumen
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> , <i>Sociedad de ingenieros automotrices</i>
TSMOH	Time since major overhaul, tiempo desde la reconstrucción mayor

GLOSARIO

Aeronave	Toda máquina que puede sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones de la misma contra la superficie de la tierra.
Avgas	Gasolina de alto octanaje diseñada específicamente para uso en motores de aviación alternativos.
Boletines de servicio	Son mandatorios en los cuales se requieren alguna modificación o inspección del motor, para ser cumplida en un tiempo específico.
Boroscopia	Este ensayo permite inspeccionar interiormente equipos, sin acceso observando en vivo la transmisión de las imágenes que envía la fibra por medio de un monitor externo.
Cartas de servicio	Son de naturaleza informativa, usualmente pertinente a políticas de servicio o productos de proveedores.
Catálogo de partes	Es un catálogo ilustrado que permite la identificación de partes, el cual incluye un índice de referencia numérico.
Desgaste	El desgaste es el daño de la superficie por remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo.

Especificaciones del motor y dibujos de instalación	Estos materiales son necesarios para aquellos que planean instalar un modelo de motor en particular en sus aeronaves.
Esteres	Son compuestos orgánicos en los cuales un grupo orgánico reemplaza a un átomo de hidrógeno (o más de uno) en un ácido oxigenado.
Instrucciones de servicio	Esta publicación cubre una variedad de objetivos; como procesos de reparación, procedimientos de de modificación, inspección y métodos de overhaul.
Manual de operador	Es un manual que contiene información de uso para pilotos y personal de mantenimiento, este contiene especificaciones del motor, procedimientos de inspección, información operacional.
Manual de overhaul	Es una guía para reparaciones mayores del motor. Este contiene el procedimiento completo para inspección, reparación, armado y desarmado y pruebas del motor.
Overhaul	Reconstrucción de un motor a sus condiciones originales.
Publicaciones de servicios especiales	Estas publicaciones son concernientes a temas de interés general y objetos que son muy largos para incluirlos en los manuales de mantenimiento.
Viscosidad	Medida de la resistencia de un lubricante a fluir.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación tiene como tema principal la incorporación del método predictivo de análisis de aceite usado en rutinas de mantenimiento aeronáutico. Motivo por el cual se da a conocer una breve descripción de los diferentes tipos de mantenimiento aplicable a aeronaves, así como un programa de inspección progresiva.

Así también, se presenta una descripción de motores alternativos con sus componentes principales y una serie de especificaciones tomadas con base en un motor O-420, y el sistema de lubricación y refrigeración utilizado en este tipo de aeronaves.

Se da a conocer la teoría fundamental de lubricación, los tipos de aceites y la descripción de la composición de estos como son las bases y aditivos utilizados en la industria aeronáutica para motores alternativos.

Una descripción de las pruebas realizadas por el laboratorio a las muestras tomadas, así como los pasos, precauciones necesarias para la toma de muestras y técnicas de muestreo.

Por último, se hace referencia a la implementación del análisis de aceite usado al mantenimiento de rutina, una guía de investigación de averías y ejemplos de los resultados emitidos por un laboratorio especializado en el análisis de muestras de aceite usado.

OBJETIVOS

GENERAL

Ser una guía en la cual se darán a conocer los procedimientos utilizados en el análisis de aceite usado para su implementación dentro del plan de mantenimiento rutinario para operadores de aeronaves con motores alternativos.

ESPECÍFICOS

1. Dar a conocer principios básicos de los diferentes tipos de mantenimiento realizados a las aeronaves con motores alternativos, así como sus elementos internos.
2. Realizar una descripción de los diferentes métodos para la toma de muestras y pruebas utilizadas para el análisis de aceite.
3. Proponer mediante el análisis, interpretación de datos y frecuencias de muestreo de aceite usado un programa de mantenimiento predictivo.

INTRODUCCIÓN

Durante el transcurso de los años, el uso del mantenimiento preventivo ha consistido en la sustitución o reparación de elementos de máquinas en intervalos fijos, ya sea indicados por el fabricante o por historiales de la maquinaria, no garantizando este los altos niveles de confiabilidad requeridos en la actualidad. El mantenimiento predictivo se enfoca en síntomas de falla que se identifican utilizando las distintas técnicas tales como análisis de lubricantes, análisis de vibraciones, y los ensayos no destructivos como: radiografías, ultrasonido, termografía, etc. que permiten detectar los síntomas de inicio de falla de la maquinaria. Se tiene como gran beneficio, mediante la utilización de estas herramientas, identificar alertas tempranas permitiendo la planificación de paradas para corregir los problemas detectados, logrando así una mayor confiabilidad y reducción del número de fallas catastróficas.

En el presente trabajo se aborda la importancia del análisis de lubricantes, como herramienta al momento de llevar adelante una estrategia de mantenimiento predictivo. El análisis de aceite permite conocer el estado del lubricante, desgaste del sistema, los contaminantes internos y externos presentes, así como identificar las causas que provocan las fallas, para poder corregirlas, aumentando de ésta forma, la confiabilidad y disponibilidad del equipo.

1. MANTENIMIENTO DE AERONAVES

1.1 Definiciones de mantenimiento en aeronaves

Indica revisión, reparación, inspección, sustitución, modificación o rectificación de defectos de una aeronave/componente de aeronave, o cualquier combinación de estas.

1.1.1 Mantenimiento correctivo en aeronaves

Este incluye reparaciones, chequeos, pruebas y ajustes menores, de elementos de la aeronave que han sido removidos y normalmente reinstalados después de la terminación del trabajo.

1.1.2 Mantenimiento preventivo en aeronaves

Reparaciones menores o simples de mantenimiento y remplazo de piezas menores estándar a intervalos fijos determinados, ya sea con base en recomendaciones del fabricante de la aeronave o por estadísticas extraídas de los historiales, este tipo de mantenimiento no involucra operaciones complejas de ensamblaje.

1.1.3 Mantenimiento predictivo en aeronaves

Se enfoca a los síntomas de falla que se identifican utilizando las distintas técnicas tales como análisis de lubricantes, boroscopia, y ensayos no destructivos como: inspección visual, tintas penetrantes, partículas magnetizables, corrientes inducidas, radiografías, ultrasonido. Estos permiten detectar los síntomas de inicio de falla de la aeronave.

1.2 Programa de inspección progresiva

Es una eficiente y comprensiva inspección progresiva y un programa de mantenimiento que se diseña para ser utilizado en lugar de un mantenimiento convencional de 100 horas y/o un programa de inspección anual. El programa de inspección progresiva de Cessna se ha diseñado para ayudar a maximizar la seguridad y capacidad de mantenimiento del avión mientras que reduce al mínimo el tiempo de inactividad de aeronaves. El Programa cumple con las Regulaciones Federales de Aviación que abarcan las inspecciones progresivas.

Aunque el programa de inspección progresiva de Cessna se puede utilizar en los siguientes modelos de Aeronaves. Los beneficios se logran en los aviones que están volando 200 horas o más por año. (400 horas o más para Caravana I).

TABLA I. Modelos de aeronaves incluidas en el programa de inspección progresiva

MODELO	AÑO	MODELO	AÑO
172/F172	1977 – 1986	T303	1982 - 1984
182/F182/T182	1977 – 1986	310R	1975 - 1981
R182/FR182/TR182	1978 – 1986	335	1980
206/T206	1977 – 1986	340/340A	1972 - 1984
208 SERIES	TODOS	402C	1979 - 1985
210/T210	1985 – 1986	404	1977 - 1981
P210	1985 – 1986	414/414A	1970 - 1985
421 C	1976 – 1985		

Fuente: *Cessna Aircraft Company*. Manual de Operaciones Cuidado Progresivo e Inspección continua pág. 1.

Los modelos de aeronaves no incluidos en la tabla de arriba pueden usar este programa (ver pagina 24).

Cessna Aircraft Company recomienda a los aviones que hayan volado 200 horas o más por año (400 horas para la caravana I) se pongan en el programa de Cessna si el avión ha volado para alquiler o no. Una ventaja importante del programa es su flexibilidad para programar. Esta es una importante particularidad para los operadores que utilizan el avión como taxi aéreo, chárter y entrenamiento, donde el avión tiene una estrecha agenda . El programa permite que la carga de trabajo de la inspección y del mantenimiento sea dividido en operaciones más pequeñas que se pueden lograr en menos tiempo. Estos períodos más cortos proveen al operador la utilización y la flexibilidad para la realización del programa.

Bajo el programa de Cessna el avión se examina y se mantiene en cuatro (1, 2, 3 y 4) operaciones en los intervalos 50-horas durante 200-horas o un período anual. Y se reinicia el ciclo de operaciones cada 200 horas, los cuales se registran en un expediente especialmente proporcionado para la inspección de avión según sea conducida la operación.

Nota:

El caravana I se examina y se mantiene en los intervalos 100-horas durante un ciclo 400-horas o un período anual.

El programa de inspección progresiva de Cessna cumple con los requerimientos concernientes a Inspecciones Progresivas cubiertas en las partes 43.15, 91.409 y 135.419 de las Regulaciones Federales de Aviación.

1.2.1 Programa de inspección de cuidado progresivo para aeronaves monomotor de pistón

Según lo descrito en F.A.R. parte 91.409(d), un dueño/operador que desee colocar una aeronave en un programa inspección progresiva debe tener el aeroplano examinado de conformidad con un programa de inspección progresiva aprobado. El dueño/operador puede seleccionar uno de los siguientes programas de inspección progresiva:

- Un programa de inspección diseñado por el dueño/operador
- Un programa de inspección aprobado del fabricante

Esta sección presenta el programa de inspección recomendado por *Cessna Aircraft Company* para los siguientes modelos de aeronaves monomotor de pistón.

TABLA II. Modelos de aeronaves monomotor de pistón incluidas en el programa de inspección progresiva

MODELO	AÑO
172/F172	1977 - 1986
182/F182/T182	1977 - 1986
R182/FR182/TR182	1978 - 1986
206/T206	1977 - 1986
210/T210	1985 - 1986
P210	1985 - 1986

Fuente: *Cessna Aircraft Company*. Manual de Operaciones Cuidado Progresivo e Inspección continua pág. 6.

Todas las aeronaves monomotor de pistón que no aparecen en la tabla superior se abordan en el capítulo 1.2.1.9.

El programa de inspección de cuidado progresivo para aeronaves monomotor de pistón de Cessna se divide en cuatro operaciones separadas. Una operación (inspección) se realiza cada 50 horas de operación.

Los requisitos adicionales de inspecciones especiales que se requieren en otros intervalos son especificados en la sección 2 del manual de reparaciones del avión.

Las cuatro operaciones recomendadas se detallan a continuación:

- OPERACIÓN 1

Esta inspección consiste en todos los artículos de la inspección de 50 horas.

- OPERACIÓN 2

Esta inspección consiste en todos los artículos de la inspección de 50 horas y todos los artículos de la inspección de 100 horas.

- OPERACIÓN 3

Esta inspección consiste en todos los artículos de la inspección de 50 horas.

- OPERACIÓN 4

Esta inspección consiste en todos los artículos de la inspección de 50 horas, además de todos los artículos de la inspección de 100 horas y todos los artículos de la inspección de la inspección de 200 horas.

La realización de estas cuatro operaciones en los puntos especificados asegurarán el cumplimiento con los requisitos de tiempo límite fijado por el fabricante. Los requisitos de las inspecciones especiales adicionales serán logrados en sus intervalos prescritos y/o los intervalos que coincidan con las operaciones de 1 a 4.

Según lo definido por F.A.R. Parte 91.409 (d) (4), la frecuencia y los detalles de la inspección progresiva deberá proveer la inspección completa del avión dentro de los 12 meses calendario.

Si la aeronave se está acercando al final de un período de 12 meses calendario, pero el ciclo completo de las cuatro operaciones no se ha logrado, será necesario terminar las restantes operaciones sin importar las horas que el avión lleve antes del final del período de 12 meses calendario.

El programa de inspección progresiva de Cessna es utilizado en lugar del programa convencional de inspección anual de 100 horas. Los operadores que utilizan el cuidado progresivo de Cessna no requieren realizar las inspecciones anuales cada 12 meses calendario siempre y cuando los requisitos del programa de inspección progresiva sean cumplidos.

1.2.1.1 Manuales y formularios necesarios

Los manuales y formularios siguientes son utilizados para el programa de inspección de cuidado progresivo para aeronaves monomotor de pistón de Cessna.

1.2.1.1.1 Manual de operaciones

El propósito de este manual es proporcionar la información necesaria para promover, establecer y conducir un programa de cuidado progresivo de Cessna para dueños y operadores

1.2.1.1.2 Formulario de notificación

Este formulario es enviado a la agencia gubernamental de aviación al activar un programa de inspección de cuidado progresivo en una aeronave específica.

1.2.1.1.3 Horario de operación

Como ayuda en la ejecución de las inspecciones, los horarios de la operación han sido preparados como formularios de trabajo para el uso en el taller. Estos horario de operación detallan artículos de la inspección para cada operación y se proporciona un lugar para que el mecánico y el inspector del avión firmen cuando cada articulo sea haya realizado.

1.2.1.1.4 Registro de la inspección del cuidado progresivo del avión

Todas las operaciones se registran a medida que se llevan a cabo ofreciendo así al propietario un permanente registro de mantenimiento de aeronaves, a través del Programa de Inspección de Cuidados Progresivos.

1.2.1.2 Clasificación de aeronaves para el programa de cuidado progresivo

1.2.1.2.1 Entrega de aeronave nueva

La entrega de un avión nuevo debe tener menos de 50 horas de tiempo total en servicio y suficiente tiempo calendario restante desde la fecha de la emisión del certificado original de aeronavegabilidad para permitir al dueño/operador terminar un ciclo de cuatro operaciones antes de que llegue a realizarse la primera inspección anual. La operación número 1 deberá ser realizada a las 50 horas de tiempo en servicio.

La operación 2 deberá ser realizada a las 100 horas, operación 3 deberá ser realizada a las 150 horas y la operación 4 deberá ser realizada a las 200 horas.

Ejemplo:

Si el avión le quedan dos meses antes de que el certificado de aeronavegabilidad caduque (Inspección anual deberá ser realizada) y tiempo total del avión fue de sólo 45 horas, la aeronave puede que no haya volado lo suficiente requerido para la realización de las operaciones de 1 a 4 en los dos meses restantes. En este ejemplo, el avión se remitirá al párrafo siguiente.

1.2.1.2.2 Todas las demás aeronaves

Para calificar las demás aeronaves que tienen más de 50 horas de tiempo de servicio para el programa de inspección de cuidado progresivo, Se conduce una inspección completa del aeroplano. Esta inspección consiste en todos los artículos de inspección de 50-horas, 100-horas y 200-horas más esos artículos especiales de inspecciones anuales que deben realizarse en un tiempo especificado. La operación número 1 se convertirá en 50 horas desde el momento en que fue realizada la inspección completa del aeroplano.

Nota:

Las variaciones para el capítulo 1.2.1.2.1 y 1.2.1.2.2 para el inicio del programa de cuidado progresivo se puede encontrar en el capítulo 1.2.1.7

1.2.1.3 Inicio del programa de inspección de cuidado progresivo

F.A.R. Parte 91.409(d) establece los siguientes requerimientos para la colocación de una aeronave en el programa de inspección progresiva.

1.2.1.3.1 Nacional (U.S.A.)

Presentar una petición escrita a la oficina de distrito de estándares del vuelo de FAA que tiene jurisdicción sobre el área en la cual el aspirante está situado al cual debe proporcionar lo siguiente.

- a) El nombre de un mecánico certificado que lleve a cabo una autorización de la inspección, el nombre de una estación de reparación certificada o el nombre del fabricante o del avión al cual supervisarán la inspección progresiva.

La forma de notificación P/N D5497-1-13 que se estará utilizando para este propósito y que debe ser firmada por el dueño del avión y la organización de servicio. Una copia de esta forma se proporciona en los anexos.

- b) Un manual actualizado de los procedimientos de la inspección (manual de operaciones) disponible y fácilmente comprensible al piloto y al personal del mantenimiento.
- c) Una copia del formulario de la inspección que será utilizada mientras que el avión estará en el programa de inspección progresiva.

1.2.1.3.2 Internacional (otros países)

Contactar con la agencia gubernamental de aviación local antes de colocar el avión en cuidado progresivo asegurar que estén familiarizados y de acuerdo con el programa.

1.2.1.3.3 Expedientes del mantenimiento de avión

Realizar una entrada en los registros de mantenimiento de avión indicando que el avión se ha colocado en programa inspección de cuidado progresivo anotando la fecha y las horas del avión.

1.2.1.3.4 Registro de la inspección del cuidado progresivo del avión

En la cubierta interior del expediente de la inspección de cuidado progresivo del avión:

- a) Llenar la información del dueño y del avión.
- b) Completar y firmar la verificación en el bloque de información.
- c) Llenar la primera entrada en el expediente de la inspección de cuidado progresivo del avión indicando el total de horas del avión cuando la operación número 1 será realizada (es decir 50 horas totales de servicio para aviones nuevos y 50 horas a partir del tiempo en que la inspección completa del aeroplano fue conducida para todas las demás aeronaves).

1.2.1.4 Utilización de horarios de operación

- a) Los horarios de operación se han desarrollado para los modelos específicos enumerados abajo e incorporados en la sección 2 de sus respectivos manuales de reparaciones. Copias adicionales de estos horarios están disponible en el catálogo de partes de distribución de Cessna y son enumerados por número de pieza en los anexos.

- b) Cada horario de operación ha sido preparado como una hoja de trabajo para el uso en el taller de servicio y las copias están disponibles en el catalogo de partes de distribución de Cessna y han sido coloreadas para una fácil identificación.

OPERACIÓN 1 – AZUL

OPERACIÓN 3 - VERDE

OPERACIÓN 2 – AMARILLA

OPERACIÓN 4 - ROSA

1.2.1.4.1 Título del bloque

El titulo del bloque se utiliza para registrar la información importante sobre la organización, cliente, y avión.

1.2.1.4.2 Artículos de la inspección

Los horario de la operación de monomotores se componen de listas las cuales tienen intervalos de inspección de 50, 100, y 200 horas.

OPERACIÓN 1..... Listas de 50 Horas

OPERACIÓN 2..... Listas de 50 y 100 horas

OPERACIÓN 3..... Listas de 50 Horas

OPERACIÓN 4..... Listas 50, 100 y 200 horas

1.2.1.4.3 Verificación/iniciales

Un espacio es proporcionado en el lado derecho de cada hoja para que el mecánico y el inspector del avión verifique y firme con iniciales cuando cada artículo es completado.

1.2.1.4.4 Artículos que no son aplicables

Algunos de los artículos enumerados en el horario de operación pueden no ser aplicables a algún avión específico. En este caso, el mecánico debe dejar fuera el artículo o artículos que no aplican ingresando las letras "NA" (no aplicable) precediendo sus iniciales.

1.2.1.4.5 Opciones especiales y artículos instalados en el campo

- a) Cessna ha preparado los horarios de operación para asistir al dueño/operador para satisfacer los requisitos de la inspección de F.A.R. Parte 91.409. Los horarios de operación no pretenden ser exclusivos, porque ningunas de tales cartas pueden substituir el buen juicio de un mecánico certificado en la realización de sus deberes.

- b) Además, los horarios de las operaciones no tratan artículos especialmente instalados o cualquier artículo instalado en el campo (es decir: flotadores y suplementos certificados). Es responsabilidad de los mecánicos de asegurar que todos los artículos sean examinados para la navegabilidad antes de que sea el avión aprobado para retornar a servicio.

1.2.1.4.6 Artículos especiales de la inspección

- a) Aunque los intervalos de inspección en los horarios de operación son basados en horas de tiempo de servicio, hay algunos artículos que también tienen limitaciones de calendario.

Por ejemplo, un cambio de aceite puede ser requerido en un específico intervalo de tiempo en el horario de operación o en un intervalo mensual cualquiera que llegue primero.

- b) Artículos con inspecciones especiales con limitaciones de horas y/o calendario se demuestran en la sección 2 del manual de reparaciones del avión. Las limitaciones de artículos de horas y calendario en esta categoría se deben supervisar de cerca y las operaciones apropiadas conducidas por consiguiente. En una sección del registro de la inspección de cuidado progresivo para registrar y para supervisar los artículos de la inspección especial.

1.2.1.4.7 Artículos post-inspección

Como parte de cada operación, un chequeo funcional del motor, la aviónica, y los instrumentos deberá ser llevado a cabo para asegurar la operación apropiada. Los artículos enumerados en esta categoría también incluyen un chequeo del archivo del avión para materiales requeridos y de conformidad con las cartas de información de servicio, boletines de servicio recomendatorio y mandatorio, directivas de navegabilidad y lubricación de componentes de acuerdo con las cartas de lubricación del manual de servicio.

1.2.1.4.8 Certificación para aprobar el avión para el regreso a servicio

- a) Un lugar se proporciona en el final de cada horario de operación para certificar que la operación ha sido completada y que el avión está listo para la aprobación para retornar al servicio. Se proporcionan los espacios para que el mecánico supervisor y el inspector del avión firmen. Un espacio también se proporciona para registrar el tiempo de servicio que llevaba el avión cuando se realizó la operación.

- b) Al aprobar el avión para el regreso a servicio. Se debe firmar el expediente de la inspección de cuidado progresivo de este. Esta acción asegurará un historial completo de cada inspección realizada.

1.2.1.5 Utilización de registros de inspección del cuidado progresivo

Hay tres diferentes tipos de registros contenidos en el expediente de la inspección de cuidado progresivo del avión. Su propósito e instrucciones para su uso son los siguientes:

1.2.1.5.1 Registro de operación

Se proporcionan espacios para registrar toda la información esencial mientras que cada operación sea realizada. Según lo demostrado en la hoja del registro de muestra, cada operación se debe incorporar y endosar correctamente por un inspector de la aeronave.

Figura 1. Registro de operación

OPERATION RECORD						
Operation Number	Operation Due (Hours)	Operation Accomplished (Hours)	Date	Work Order No.	Company Name	Aircraft Inspector Signature and Certificate Number
Operation # 1	950	950	7/3/94	T7110	ABC Flying Serv.	C. L. Smith IA1234
Operation # 2	1000	1000	10/2/94	T7131	ABC Flying Serv.	C. L. Smith IA1234
Operation # 3	1050					
Operation #						
Operation #						
Operation #						
Operation #						
Operation #						
Operation #						
Operation #						
Operation #						

*I certify that in accordance with a progressive inspection program (Cessna Progressive Care Program) the operation entered above was performed and the aircraft is approved for return to service

Fuente: *Cessna Aircraft Company*. Manual de Operaciones Cuidado Progresivo e Inspección Continua pág. 18.

1.2.1.5.2 Cartas de información de servicio, boletines de servicio y registro de directiva de navegabilidad

También incluidas como parte del expediente de la inspección de avión estas hojas proveen referencias de conformidad con las cartas de información de servicio, boletines de servicio y directivas de navegabilidad.

Figura 2. Cartas de información de servicio, boletines de servicio y registro de directiva de navegabilidad

CESSNA SERVICE INFORMATION LETTER, SERVICE BULLETIN AND FAA AIRWORTHINESS DIRECTIVE COMPLIANCE RECORD					
Date	Service Letter, Service Bulletin or Airworthiness Directive Number	Aircraft Hours	Work Order Number	Company Name	Aircraft Inspector Signature
10/2/94	SEB86-21	1000	T7131	ABC Flying Service	C. L. Smith A&P1234
10/9/94	AD86-20-09	1037	T7156	ABC Flying Service	C. L. Smith A&P1234

Fuente: *Cessna Aircraft Company*. Manual de Operaciones Cuidado Progresivo e Inspección Continua pág. 18.

1.2.1.5.3 Artículos especiales del registro de la inspección

Las últimas páginas del registro de la inspección del avión consisten en hojas para registrar los artículos especiales de la inspección.

Figura 3. Artículos especiales del registro de la inspección

SPECIAL INSPECTION ITEMS RECORD						
Date	Special Inspection Item	Aircraft Hours	Work Order Number	Company Name	Next Inspection Due (Hours or Date)	Aircraft Inspector Signature
10/2/94	Selector Valve	1000	T7131	ABC Flying Serv.	1500	J. Jones A&P1121
10/2/94	NG Pivot Brgs	1000	T7132	AB C Flying Serv.	2000	J. Jones A&P1121

Fuente: *Cessna Aircraft Company*. Manual de Operaciones Cuidado Progresivo e Inspección Continua pág. 18.

1.2.1.6 Realización de las operaciones

Las siguientes sugerencias y recomendaciones se proporcionan para asistir en la conducción de las operaciones.

1. Realizar las operaciones cuando deben de realizarse utilizando el horario aplicable de operación.

Información importante

Los intervalos de la inspección se pueden exceder por 10 horas si es necesario, o de forma temprana en cualquier momento antes del intervalo regular como se explica a continuación:

- a) En caso de cumplimiento tardío de una operación programada, la secuencia de la siguiente operación mantiene en el punto de realización a partir del momento en el que la operación tardía estaba programada originalmente.

Ejemplo:

Operación	Operación programada	Operación lograda
1	50 HORAS	50 HORAS
2	100 HORAS	100 HORAS
3	150 HORAS	159 HORAS*
4	Para realizar a las 200 HORAS	

*La operación número 3 fue realizada nueve (9) horas tarde (dentro del período de 10 horas de tolerancia).

La siguiente operación conserva un punto de realización de 50 horas a partir del momento en el que la operación 3 estaba originalmente programada. En este ejemplo, la operación número 4 es realizada a las 200 horas.

NOTA

Cualquier operación se puede exceder por 10 horas en caso de necesidad, INCLUYENDO la operación número 4. Según lo indicado en F.A.R. 91.409(d)(2)(ii), el período de gracia de diez horas se puede utilizar solamente para tiempo de vuelo en ruta.

- b) En caso de cumplimiento temprano de cualquier operación programada, esto ocurre 10 horas o menos antes de la programación, el punto de realización de la siguiente operación puede seguir siendo donde fue fijado originalmente.

Ejemplo:

Operación	Operación programada	Operación lograda
1	50 HORAS	50 HORAS
2	100 HORAS	100 HORAS
3	150 HORAS	145 HORAS *
4	para realizar a 200 HORAS	

*Porque la operación número 3 fue realizada cinco (5) horas antes (dentro del periodo de 10 horas de tolerancia), la operación número 4 conservará el punto de realización programada originalmente.

- c) En caso de cumplimiento temprano de cualquier operación programada, esto ocurre 10 horas o más antes de la programación, el punto de realización de la siguiente operación se debe cambiar para establecer un nuevo punto desde el punto de la realización temprana.

Ejemplo:

Operación	Operación programada	Operación lograda
1	50 HORAS	50 HORAS
2	100 HORAS	100 HORAS
3	150 HORAS	135 HORAS *
4	Para realizar a 185 HORAS	

*Porque la operación número 3 fue realizada quince (15) horas temprano (más de las 10 horas del periodo de tolerancia), la operación número 4 se debe cambiar para tener un punto de realización de 50 horas después de que la operación número 3 fue realizada. En este ejemplo, la operación número 4 fue restablecida para ser realizada a las 185 horas.

2. Antes de comenzar una operación, se debe realizar un chequeo del expediente de la inspección progresiva de la aeronave de lo siguiente.
 - a) Registro de la operación para determinar qué operación será realizada.
 - b) Las cartas de la información de servicio, boletín de servicio, expediente de las directivas de conformidad de navegabilidad para la previa conformidad y los artículos que serán realizados.
 - c) Expediente de inspecciones especiales para artículos que se realizaran.

Ejemplo:

Es importante revisar la sección 2 del manual de reparaciones del avión para todos los elementos de inspecciones especiales realizadas y verificar que cada elemento sea registrado en el expediente de inspección progresiva de la aeronave.

3. La intención del horario de operación es proveer al personal de la inspección una lista de comprobación de los puntos que requiere la inspección. Por lo tanto, al conducir una operación, el personal de la inspección tendrá disponible la información adicional siguiente:
 - a) Manuales de reparaciones y catálogos de piezas aplicables puesto que éstos deben ser utilizados para obtener la información técnica necesaria para el cumplimiento de los puntos de la inspección y el mantenimiento de la aeronave según sea requerido.

- b) Cartas de información de servicio de Cessna, boletines de servicio obligatorio y recomendatorio y directivas de navegabilidad de F.A.A. puesto que el chequeo de conformidad con estos artículos debe ser realizado como parte de cada operación.

- 4. Las discrepancias encontradas en la inspección como resultado de la conducción de una operación deben ser registradas y corregidas como sea necesario antes de aprobar el avión para el regreso al servicio.

- 5. Cuando la operación es completada, el mecánico supervisor y el inspector de la aeronave debe firmar el horario de la operación y el inspector del avión debe completar y firmar el expediente de la inspección de cuidado progresivo. Cualquier artículo de inspección especial, cartas de información de servicio, boletines de servicio o directivas de navegabilidad que se realicen durante la operación también deben ser ingresados en la hoja de registro apropiada en la parte posterior del expediente de la inspección de cuidado progresivo para futura referencia.

Nota:

Aunque el expediente de la inspección de cuidado progresivo de la aeronave proporciona un registro permanente de las inspecciones realizadas bajo el programa de cuidados progresivos de Cessna, las bitácoras y registros originales del avión, motor y hélices deben ser mantenidos de acuerdo con las FAR's concernientes a la inspección, mantenimiento, reparación y alteraciones.

1.2.1.7 Variación del programa de cuidado progresivo

1.2.1.7.1 Variación del programa normal

- a) Para incrementar la flexibilidad en el programa, una operación se puede dividir y lograr sobre un período de varios días permitiendo al avión que permanezca en estado operativo de vuelo.

EJEMPLO:

Si un punto realización de la operación se fija en 50 horas, una porción de la operación se podría hacer en 40 horas, y otra porción en 45 horas y el resto en 50 horas. En el registro de la operación del expediente de la inspección del avión, la entrada bajo operación lograda sería la de las horas reales del avión en el momento en que la parte inicial de la operación se inició, que en el ejemplo anterior era 40 horas.

- b) Según lo indicado en la sección anterior, titulada: realización de las operaciones; en caso de cumplimiento temprano de cualquier operación programada, esto ocurre 10 horas o menos antes de la programación, el punto de realización de la siguiente operación puede seguir siendo donde fue fijado originalmente. En caso de cumplimiento temprano de cualquier operación programada, esto ocurre 10 horas o más antes de la programación, el punto de realización de la siguiente operación se debe cambiar para establecer un nuevo punto desde el punto de la realización temprana.

1.2.1.7.2 Modificación de horarios de operación

- a) El avión que es utilizado en muchos tipos de operaciones de vuelo puede ser sometido a condiciones ambientales o climáticas por las cuales se puede hacer necesario cambiar la frecuencia de la inspección y del mantenimiento de varios componentes y piezas del avión.

- b) Dado que la frecuencia de las inspecciones de los puntos contenidos en los horarios de operaciones se basan en la operación de aeronaves en condiciones normales de funcionamiento y del medio ambiente, la experiencia real del servicio puede indicar la necesidad de realizar cambios en el horario de operación a fin de mantener un alto nivel de seguridad y confiabilidad de la aeronave. Esto, por supuesto, dependerá del uso particular y la localización geográfica de la aeronave.

- c) Los cambios resultantes del punto(s) inspeccionado(s) con más frecuencia se pueden manejar de la siguiente manera:

Cualquier inspección programada que requiera la inspección de varios artículos detallados en el horario de la operación que se realizará en una frecuencia igual a la especificada o mayor es aceptable para *Cessna Aircraft Company*.

- d) Los cambios resultantes del punto(s) inspeccionado(s) con menos frecuencia se pueden manejar de la siguiente manera:

Cualquier inspección de un artículo realizada excedida del periodo de tiempo especificado en el horario de la operación debe ser aprobada por la apropiada agencia gubernamental de la aviación.

1.2.1.8 Cancelación del programa de cuidado progresivo

1. Si el programa de cuidado progresivo es descontinuado, el dueño/operador debe notificar a la agencia gubernamental de aviación local, de forma escrita, de la discontinuidad. Después de la descontinuación, la primera inspección anual bajo FAR 91.409 (a) realizada dentro de los 12 meses calendario después de la última inspección completa. La inspección de 100-horas bajo 91.409 (b) realizada 100 horas después de la inspección completa.
2. Una inspección completa del avión, para determinar cuando las inspecciones anuales o de 100-horas son realizadas, requiere una inspección detallada de la aeronave y de TODOS sus componentes de acuerdo con la inspección progresiva. Una inspección rutinaria de la aeronave y una inspección detallada de varios componentes no se consideran ser una inspección completa.

1.2.1.9 Procedimiento para el uso del programa de inspección progresiva en aeronaves monomotor de pistón no especificado en esta sección

1. a) En el pasado, Cessna proporcionaba los siguientes horarios de operación que cubría una amplia variedad aeronaves monomotor de Cessna.

Número de parte	Horarios de operación
D5000-1-13	monomotor ligero (LSE)
D5017-13	monomotor de alto rendimiento/ <i>utility</i> (HPSE/UTILILINE)
D5004-13	avión agrícola excepto <i>Ag Husky</i> (AG)

- b) Estos horarios de operación ya no están disponibles. Cessna recomienda a cada dueño/operador que utiliza actualmente estos horarios que tome la siguiente acción inmediatamente.

- c) Examinar, modificar y en caso de ser necesario, desarrollar y someter nuevos horario (si es modificado) para la aprobación de la agencia gubernamental local de la aviación.
 - d) Las siguientes guías asistirán al dueño/operador a desarrollar nuevos horario de operación para los modelos específicos no proporcionados por *Cessna Aircraft Company*.
2. a) Utilizar un horario actualizado de operación contenido en uno de los manuales de reparaciones del avión siguiente: (usar la última revisión del manual de reparaciones).

TABLA III. Número de parte para manual de servicio y horario de operación

MODELO	AÑO	MANUAL	HORARIO
		DE SERVICIO	DE OPERACIÓN
		No. DE PARTE	No. DE PARTE
172/F172	1977 - 1986	D2065-2-13	D5102-2-13
182/F182/T182	1977 - 1986	D2068-2-13	D5101-1-13
R182/FR182/TR182	1978 - 1986	D2069-2-13	D5103-2-13
206 & T206	1977 - 1986	D2070-2-13	D5104-2-13
210 & T210	1985 - 1986	D2073-1-13	D5105-1-13
P210	1985 - 1986	D2074-1-13	D5106-1-13

Fuente: *Cessna Aircraft Company*. Manual de Operaciones Cuidado Progresivo e Inspección Continua pág. 26.

- b) Como una guía para asistir al operador en elegir el horario de operación a modificar, se utiliza la carta de referencia cruzada de abajo.

TABLA IV. Carta de referencia cruzada de horario de operación a modificar

MODELO	UTILIZAR ESTE HORARIO DE OPERACIÓN
120, 140, 150, 152, 170, 172, F172, 175	MODELO 172 P.N. D5102-2-13
177, 180, 182, F182, T182, 185, 188	MODELO 182/T182 P.N. D5101-1-13
172RG, 177RG, R182, FR182, TR182	MODELO R182/TR182 P.N. D5103-2-13
205, 206, T206, 207, T207	MODELO 206/T206 P.N. D5104-2-13
210, T210	MODELO 210/T210 P.N. D5105-1-13
P210	MODELO P210 P.N. D5106-1-13

Fuente: *Cessna Aircraft Company*. Manual de Operaciones Cuidado Progresivo e Inspección Continua pág. 27.

- c) Modificar uno de estos horarios para adaptarse a cada aeronave específica.
- d) Revisar el horario de operación y eliminar elementos que no son aplicables a la aeronave específica.
- e) Después de revisar la aeronave específica, agregar los requisitos de la inspección del horario de operación para los artículos específicos que no se cubren.
- f) Someter los horarios de operación revisados a la agencia gubernamental local para su aprobación.

1.2.1.9.1 Desarrollo de sus propios horarios de operación

- a) La sección 2 de cada manual de reparaciones del avión dado por el fabricante contiene los intervalos recomendados para la inspección de cada modelo. Hay que utilizar estas recomendaciones para desarrollar horarios de operaciones que funcionen de manera eficiente para la aeronave específica.

- b) Luego de finalizado el desarrollo de los horarios de operación, presentarlos a la agencia gubernamental local de aviación para su aprobación junto con la documentación exigida por F.A.R. Parte 91.409 a utilizar en el programa de inspección progresiva.

2. MOTORES ALTERNATIVOS DE AERONAVES

2.1 Motor aeronáutico

Un motor aeronáutico o motor de aviación es aquel que se utiliza para la propulsión de aeronaves mediante la generación de una fuerza de empuje.

2.1.1 Motores de alternativos

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

Los motores de aviación tienen sistemas de encendido doble. Cada cilindro tiene dos bujías y dos magnetos, de los cuales uno proporciona energía a todas las bujías "pares" de los cilindros y otro a las bujías "impares". Si una bujía o un magneto se estropea, la otra bujía que es alimentada por el otro magneto siguen haciendo saltar la chispa que enciende el combustible en el cilindro. Un detalle muy importante es que los magnetos, son accionados por el giro del motor, por lo que no dependen de la batería para su funcionamiento.

La mayoría de los motores aeronáuticos están refrigerados por aire. Esta particularidad evita cargar con el peso de un radiador y del refrigerante, y que una avería del sistema de refrigeración o la pérdida de refrigerante provoquen una avería general del motor.

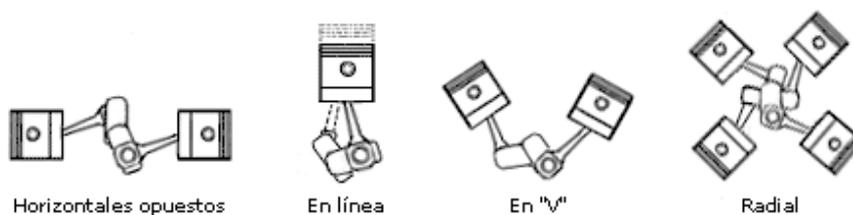
Como los motores de aviación funcionan a distintas altitudes, el piloto dispone de un control manual de la mezcla, control que utiliza para ajustar la proporción adecuada de aire y combustible de entrada a los cilindros.

2.1.1.1 Tipos de motores alternativos

Atendiendo a la colocación de los cilindros, los motores pueden ser: horizontales opuestos, en los cuales 4 o 6 cilindros están colocados horizontalmente, la mitad de ellos opuestos a la otra mitad; en línea, cuando todos los cilindros están colocados uno detrás de otro verticalmente o con una ligera inclinación; en "V", con la mitad de los cilindros en cada rama de la V; radiales, cuando los cilindros (entre 5 y 28) están montados en círculo alrededor del cigüeñal, a veces en dos o más bancadas; etc.

Los motores con cilindros horizontales opuestos, son los más comunes en aviones ligeros.

Figura 4. Tipos de motor según la colocación de los cilindros



Fuente: <http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF31.html>

2.1.1.1.1 Motor radial

Es un motor con cilindros generalmente impares dispuestos en torno a un cigüeñal, de cuatro tiempos, refrigerados por aire, el cual consta de un bloque fijo donde se aloja el cigüeñal y se atornillan los cilindros. Así que en este caso los cilindros no giran en torno al cigüeñal como en los motores rotativos; tienen menor complejidad del conjunto en comparación a los motores en línea o en V, ya que no necesitan del sistema de refrigeración por líquido o sus componentes.

2.1.1.1.2 Motor de cilindros horizontalmente opuestos

El motor de cilindros horizontalmente opuestos es un sistema que emergió casi en paralelo al motor radial en la industria de la aviación. Estos motores son de 4, 6 y excepcionalmente de 8 cilindros que se ubican en bancadas con pares de cilindros en contraposición. Con cilindradas mucho menores que en los motores radiales, los motores de cilindros opuestos impulsaron la aviación general ya que son relativamente pequeños, livianos y pueden ajustarse en compartimientos de aviones pequeños donde los motores radiales podrían resultar demasiado grandes, pesados o complejos, o resultaban ser aviones muy pequeños y baratos como para albergar una turbina.

Estos motores se siguen fabricando hasta la actualidad por diversas compañías generalmente estadounidenses, alemanas, francesas y rusas, y son usados por una amplia gama de aviones ligeros tanto de aviación general, como de aviación militar y comercial. Eventualmente el octanaje ofrecido para operarlos se incrementó hasta la actual medida de 100 a 110 octanos, en la gasolina AvGas 100LL.

2.1.1.2 Diferencias entre motores con cilindros en oposición

Tanto los motores horizontalmente opuestos, como el sistema Boxer y la V con apertura de 180°, son tres sistemas distintos de motores con cilindros en oposición. Ocasionalmente, se confunde el término motores con cilindros en oposición con una de sus variantes, el motor de disposición Boxer usado principalmente en automóviles Porsche. En la disposición Boxer, los pistones que están enfrentándose (dos o tres bancadas de cilindros con pares que se oponen en torno al cigüeñal) se acercan y se alejan del cigüeñal al mismo tiempo que su opuesto, ya que las bielas comparten un mismo muñón perpendicular.

Otra forma de motor con cilindros en oposición es la V de 180°, en la cual los cilindros confrontados comparten la misma posición en el muñón del cigüeñal (como ocurre con los motores en V de 45, 60, 75 o 90° de apertura) y la configuración del orden de encendido se distribuye entre las distintas bancadas. Así en una bancada de cilindros que se oponen, mientras un pistón se acerca al cigüeñal el otro se aleja.

En los motores con cilindros horizontalmente opuestos (los que se usan comúnmente en aviación), el orden de encendido se ha distribuido de forma tal que los pistones en oposición no comparten la misma posición en el cigüeñal y todos están a destiempo: en el motor Boxer los pistones se alejan y acercan al tiempo del cigüeñal, y en la V de 180° los pistones confrontados se alejan a medida que el otro se acerca al cigüeñal.

2.1.1.3 Codificación de los motores recíprocos

- L: en L
- O: con cilindros opuestos
- R: radial
- V: en V

En estas cuatro nomenclaturas la variante específica "g" corresponde a información adicional (componentes específicos, uso o no de sobrealimentación, etc.) que se encuentra en el manual de cada motor. Se usó como una clasificación militar de los motores que usaban las aeronaves de dicha aviación, pero con la llegada del jet y otros avances han caído en desuso y solo es aplicable para motores antiguos que fueron cobijados bajo este sistema.

Letras (características de un motor de cilindros opuestos):

- G: Geared (con caja reductora de engranajes)
- I: Injected (cuenta con sistema de inyección)
- S: Supercharger (con sobrealimentador)
- O: Opposite (Motor de cilindros horizontalmente opuestos)
- T: Turbo (con turboalimentador)

En los motores de cilindros horizontalmente opuestos la variante específica "g" tiene que ver con información sobre el sistema de combustible que el fabricante ha desarrollado para el motor, lo cual incluye los accesorios que van en el conjunto del motor: acoples, sistema de control de gasolina, tipo de carburador o piezas del sistema de inyección, etc.

Así por ejemplo el motor Pratt & Whitney R-1830-55 es un motor Radial de 1830 pulgadas cúbicas de desplazamiento (1,830 cu. in. = 29,988 cc aprox.) con la variante específica -55.

El Allison V-1710-34 es un motor en V de 1,710 cu. in. (28,000 cc aprox) con la variante específica -34.

El motor Lycoming GTSIO-520M es un motor de cilindros horizontalmente Opuestos de 520 cu. in. (8,520 cc aprox) con sistema de Inyección de combustible, Turbo Sobrealimentado, con caja reductora de engranajes (Geared); la M quiere decir que todos los componentes del sistema de control de combustible, se rige bajo las partes que tengan la letra M para ese motor.

Si por ejemplo se trata de un Continental O-550G indica que es un motor de aspiración normal (con carburador), sin ninguna mejora o variante en el sistema de mezcla de combustible o aspiración, y la referencia del sistema de combustible es G.

El motor Lycoming TIO-540AF1B indica que es un motor turbocargado y con sistema de inyección de 540 cu. in (8850 cc aprox.) con partes del sistema de combustible de diversas características.

Esta codificación puede estar sujeta a las diferentes formas en que los fabricantes presentan sus motores y sólo sirven como referencia en los casos en los que sea aplicable.

2.2 Componentes principales

En esta sección se tomó como ejemplo, con base en el manual de instrucciones de overhaul, al motor O-470 como un motor básico. Este es un motor de seis cilindros, horizontalmente opuestos, enfriado por aire, de cuatro ciclos manufacturado por *Teledyne Continental Motors*.

Figura 5. **Vista frontal, tres cuartos lado derecho motor O-470**



Fuente: *Teledyne Continental Motors* Manual de instrucciones de overhaul O-470 pág. A-1-2

2.2.1 Especificaciones, límites y tablas

Tabla V. **Accesorios**

Accesorios	Cantidad
Carburador	1
Magneto	2
Estárter	1
Generador	1
Enfriador de Aceite	1
Bomba de combustible	1
Bujías	12

Fuente: Teledyne Continental Motors. Manual de instrucciones de overhaul O-470 pág. A-2-1

Tabla VI. **Detalles del sistema de ignición**

Características	Valor
Magneto izquierdo encienda abajo las bujías No. 1, 3, 5 y arriba las bujías No. 2, 4, 6	
Magneto derecho encienda arriba las bujías No. 1, 3, 5 y abajo las bujías No. 2, 4, 6	
Orden de encendido (número de cilindros)	1, 6, 3, 2, 5, 4

Fuente: Teledyne Continental Motors. Manual de instrucciones de overhaul O-470 pág. A-2-1

Tabla VII. **Características y dimensiones**

Dimensión	Valor
Movimiento del piston por ciclo	4
Número de cilindros	6
Diametro del cilindro (pulg.)	5
Recorrido del piston (pulg.)	4

Fuente: Teledyne Continental Motors. Manual de instrucciones de overhaul O-470 pág. A-2-1

2.2.1.1 Abastecimiento y medida de aceite

La capacidad del colector de aceite es de 12 cuartos americanos. El tapón de relleno de aceite esta unido al cuello del llenador del aceite sobre el cárter al lado izquierdo. El colector de aceite cuenta con un medidor de nivel con muescas y estampado de números que representan cuartos, de 6 estampado "L"(low) bajo a 12 estampado "F"(full) lleno con incrementos de 2 cuartos.

Tabla VIII. **Limites de temperatura**

Condición indicada	Mínimo	Máximo
Temperatura del aceite al despegue	75 ⁰ F	
Temperatura en vuelo	----**	225 ⁰ F
Temperatura en la cabeza del cilindro (termocupla tipo bayoneta)*	----	450 ⁰ F
Temperatura del magneto (en el tornillo de asentamiento de la bobina)	----	170 ⁰ F

* Instalado con un golpe ligero en el agujero de la culata

** Todos los motores con enfriador de aceite no deben exceder 240⁰F de temperatura máxima de aceite

Fuente: Teledyne Continental Motors. Manual de instrucciones de overhaul O-470 pág. A-2-2

Tabla IX. **Limites de presión**

Indicación	Mínimo	Máximo
Presión de aceite (ralentí)	10 p.s.i.	----
Presión de aceite (en vuelo)	30 p.s.i.	60 p.s.i.
Presión de aceite (con aceite frío)	----	100 p.s.i.

Fuente: Teledyne Continental Motors Manual de instrucciones de overhaul O-470 pág. A-2-2

Tabla X. **Grados de viscosidad de aceite**

Temperatura de operación de aceite	S.A.E.
Debajo 40°F	30
†120°F - 40°F	50

† La temperatura ambiente en un factor controlado en todos los motores que tienen valvulas de control de temperatura de aceite instalado.

Fuente: Teledyne Continental Motors Manual de instrucciones de overhaul O-470 pág. A-2-2

2.2.1.2 Consumo de aceite

El consumo de aceite a una tasa de 0.65 qts./hr. Es aceptable.

2.2.1.3 Rendimiento de un motor

Se da por el peso del motor indicando el caballaje.

2.2.2 Descripción general

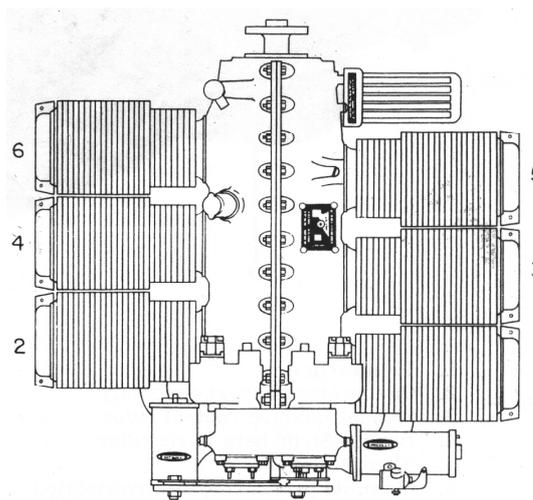
El motor de aviación se divide mecánicamente en tres partes:

CARTER DE NARIZ, (hélice y reductores planetarios)

CARTER DE POTENCIA, (bloque, cilindros, pistones, cigüeñal)

CARTER DE ACCESORIOS (gobernador, generador, arranque, magnetos)

Figura 6. **Diagrama de componentes del motor (vista superior)**

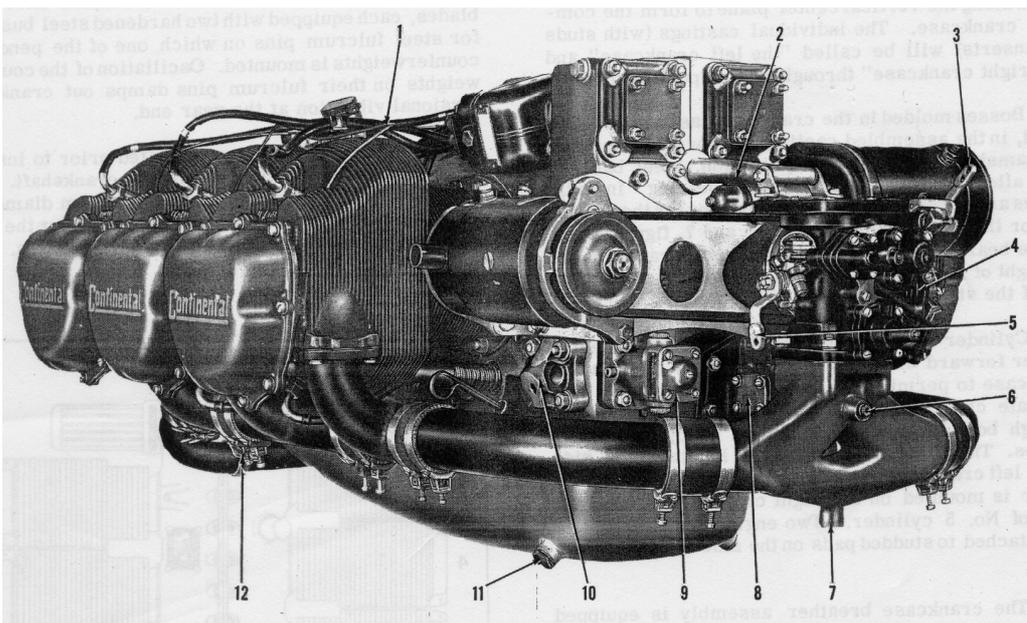


Fuente: Fuente: *Teledyne Continental Motors* Manual de instrucciones de overhaul O-470 pág. A-3-1

El arreglo y el aspecto de los componentes del motor están indicados en las figuras 5, 6, 7. Se observa que la longitud mínima del motor ha sido alcanzada montando el motor de arranque en una unidad de ángulo recto al impulsor el cual también conduce el generador montado en forma lateral a través de una correa en V, y montando los magnetos en el lado delantero del compartimiento accesorio del engranaje formado por los bastidores del cárter del motor en la parte posterior.

La localización del magneto también sirve para acortar las líneas de alta tensión tanto como sea posible, el colector de aceite tipo automóvil proporciona capacidad adecuada en el mínimo espacio.

Figura 7. Vista trasera, tres cuartos lado izquierdo motor O-470



Fuente: *Teledyne Continental Motors* Manual de instrucciones de overhaul O-470 pág. A-3-2

- | | |
|---|---|
| 1. Línea principal | 7. Conexión de drenaje del múltiple |
| 2. Soporte del ensamble del carburador | 8. Cubierta del engrane conductor del tacómetro |
| 3. Control manual del nivel de la mezcla | 9. Bomba de combustible Romec |
| 4. Carburador Bendix-Stromberg | 10. Soporte trasero izquierdo |
| 5. Palanca de acelerador | 11. Tapón de drenaje izquierdo del carter |
| 6. Conector del medidor de presión en el colector | 12. Soporte del tubo de balance del colector |

2.2.2.1 Caja del cigüeñal

Dos piezas fundidas de la aleación de aluminio se ensamblan a lo largo el plano central vertical para formar bloque motor completo.

2.2.2.2 Cilindros

El cilindro es la parte del motor fabricada de dos tipos de materiales o aleaciones metálicas, para los motores de uso aeronáutico y enfriado por aire.

Figura 8. **Cilindros de aeronaves**



Fuente: <http://alaskanaircraftengines.com/images/c-1.jpg>

La característica de este elemento consiste de que el barril es fabricado de acero forjado con aleación al cromo-níquel-molibdeno, con cuerda en la parte superior para unirse a la cabeza mediante él apriete térmico la cual es fabricada de aleación de aluminio, ambos con aletas de enfriamiento integradas. Los requisitos básicos para su diseño y que deben cumplir los cilindros usados en motores alternativos de aviación son:

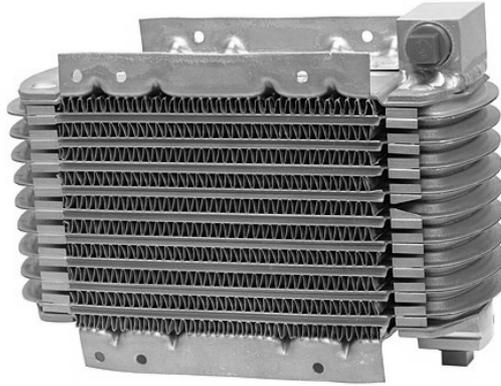
- Proveer el espacio suficiente para encerrar la carga de mezcla que en cada revolución se requiere para, mediante reacción química dar lugar a la formación de energía calorífica.
- Servir de guía al embolo en su movimiento alterno.
- Desalojar energía calorífica en mayor cantidad posible como producto de la combustión.
- Servir de soporte para las guías y válvulas.
- Contar con un espacio adecuado para la colocación de la bujía y en su caso los inyectores de combustión.
- Contar con una zona para ubicar y sujetar a los ductos o múltiples de admisión y escape.

Además de todos los requisitos antes señalados, los cilindros de uso aeronáutico deben ser los más ligeros posibles.

2.2.2.3 Enfriador de aceite

Un enfriador de aceite es un dispositivo en el cual se disipa el calor del aceite del motor manteniendo este a una temperatura constante óptima para la operación del motor.

Figura 9. **Enfriador de aceite de 9 placas, Aero-Classics**



Fuente: <http://www.chiefaircraft.com/airsec/Aircraft/OilSystem/OilCoolers.html>

2.2.2.4 Cigüeñal

Árbol que transforma el movimiento rectilíneo alternativo del conjunto pistón-biela de un motor, en movimiento circular. (Convierte movimiento circular en lineal).

2.2.2.5 Bielas

Barra, que mediante articulaciones fijadas (pasador o muñón), en sus extremos une dos piezas móviles y sirve para transmitir y transformar el movimiento.

2.2.2.6 Árbol de levas

Es un mecanismo formado por un eje en el cual se colocan distintas levas, una por cada válvula de motor. Las levas fuerzan a las válvulas a abrirse por una presión ejercida por la leva mientras el árbol rota. Este giro es producido porque el árbol de levas está conectado con el cigüeñal, que es el eje motriz que sale del motor. La conexión entre cigüeñal y árbol de levas se realiza por medio de engranajes.

2.2.2.7 Pistones

Es un embolo que va dentro del cilindro, en forma ajustada por anillos y que tiene movimiento gracias a una biela.

2.2.2.8 Anillos

Aros de metal que se incrustan en ranuras del pistón, garantizando mejor lubricación y refrigeración de las partes afectadas por fricción.

2.2.2.9 Válvulas

Tapones sometidos a la presión de un resorte y cuyo movimiento sirve para regular el paso de un fluido, hay dos tipos: de admisión y de escape. La de escape es cóncava y en su interior lleva sodio en polvo, el cual se licúa una vez estén saliendo los gases quemados permitiendo refrigerar la válvula y la de admisión de un tamaño superior construida de una aleación de acero al cromo-níquel.

2.2.2.10 Bujías

Son las encargadas de producir un salto de corriente para que se encienda la chispa y así incendiar la mezcla, puede haber una o dos bujías por cilindro, en la aviación su corriente es alimentada desde un magneto que la transporta a través de un arnés que puede subir su voltaje, las bujías pueden ser frías o calientes.

2.2.3 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación tiene la función de proporcionar lubricación a las partes del motor que lo necesiten, y mantenerla en unos niveles adecuados.

2.2.3.1 Sistema de lubricación de aeronaves

El depósito o sumidero del aceite (el cárter de los automóviles) está localizado en la parte baja del motor. Una bomba, accionada por el motor, cuya toma de entrada está sumergida en el depósito, toma el aceite y lo envía a presión, pasando por un filtro, a los elementos a lubricar mediante una serie de conductos internos del motor. Estos conductos, además de depositar el aceite en los sitios necesarios, se comunican con la mayoría de los ejes giratorios (cigüeñal, árbol de levas, etc.) y otros elementos (bielas, bulones de pistón, etc.) permitiendo su lubricación. Una vez cumplida su función, el aceite vuelve al depósito o sumidero por su propio peso.

Una válvula, reguladora de presión, sirve para mantener la presión constante y para evitar que un exceso de presión dañe algún conducto o pieza. Por encima de una cierta presión, la válvula se abre para que el aceite causante de la sobrepresión vuelva al depósito en lugar de integrarse en el sistema de lubricación; una vez la presión tiene valores normales la válvula se cierra permitiendo al aceite circular por el sistema.

Al encontrar exceso de presión a la salida de la bomba pudiendo ser la causa un filtro tapado, a partir de ese momento una válvula bypass se abrirá dejando así que el aceite continúe alimentando al sistema, pero sin pasar por el filtro.

2.2.3.1.1 Parámetros a medir en el aceite

Debido a la importancia de la lubricación en los motores, es de suma importancia chequear tres valores del aceite: cantidad, presión y temperatura.

La cantidad de aceite se puede medir de igual manera que en los automóviles, con una varilla graduada que se mete y saca por el conducto en que está contenida. La monitorización de la presión y la temperatura se realiza por medio de los correspondientes indicadores en el cuadro de mandos.

Cada uno de estos indicadores consiste en un dial, graduado a veces, consistente en un arco con unas marcas de colores, sobre el cual una aguja muestra el valor de la medición. La aguja en el arco blanco indica que el aceite está por debajo de los valores normales de operación; el arco verde corresponde al rango de valores normales; en el arco amarillo los valores están por encima de los normales (precaución) y el arco rojo indica peligro en el sistema de lubricación.

Figura 10. **Indicadores de presión y temperatura de aceite**



Fuente: http://www.cruik.org/blog/mixture/IMG_0354_cluster2.JPG

En algunos aviones, se cuenta además con un testigo luminoso en el cuadro de mandos (*OIL*) el cual se enciende en caso de problemas en el sistema.

2.2.4 Refrigeración

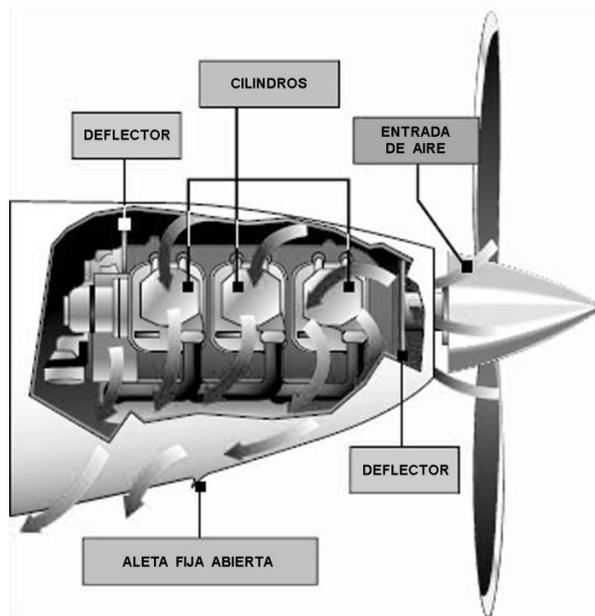
Debido a la incapacidad del motor para convertir en trabajo útil toda la energía liberada por la combustión, existe una gran cantidad de calor residual producto de dicha combustión, parte de la cual se elimina con los gases, quedando una parte que debe ser disipada para evitar un calentamiento excesivo del motor. De esa parte, una pequeña cantidad se transfiere al lubricante y la restante (hasta cierto límite) se disipa gracias al sistema de refrigeración.

Los motores aeronáuticos normalmente se refrigeran por aire, debido a que ello elimina la necesidad de cargar con el radiador y el refrigerante, evitando además la posibilidad de que una avería del sistema o una fuga del refrigerante deje al motor sin refrigeración.

En el proceso de refrigeración por aire, este penetra en el compartimento del motor a través de aberturas en la parte frontal del avión. El aire no circula de forma aleatoria sino que gracias a la disposición del compartimento, es forzado a fluir rápidamente, sobre todo hacia los cilindros; unas finas aletas de metal en la parte exterior de los cilindros aumentan la tasa de transferencia de calor exponiendo mayor superficie metálica al aire en circulación; cumplida su función, el aire caliente sale de nuevo a la atmósfera. Las aleaciones ligeras utilizadas en la construcción de los motores modernos aportan una buena ayuda en el proceso de refrigeración.

Algunos aeroplanos tienen unos dispositivos conocidos como aletas de refrigeración (cowl flaps), mediante las cuales el piloto controla de forma manual la temperatura del motor en las distintas fases de vuelo. Si la temperatura es baja, el piloto puede cerrar las aletas restringiendo la circulación de aire; si por el contrario es alta, puede abrirlas para incrementar el flujo de aire de refrigeración. Lo habitual es que en operaciones a baja velocidad y mucha potencia, tales como despegues y ascensos, las aletas se abran mientras que con alta velocidad y baja potencia, tal como en vuelo de crucero o descensos, las aletas se cierran.

Figura 12. **Flujo de aire del motor**



<http://www.premierflightct.com/newsletters/Newsletter2010-03-10.html>

3. LUBRICACIÓN

La lubricación consiste en la interposición y/o aplicación de una capa de un producto que reduzca el contacto metal-metal entre las superficies en rozamiento, denominando a este producto como lubricante. Teniendo como función básica mantener completamente separadas dos superficies en movimiento.

3.1 Funciones del lubricante

Las funciones principales que deben cumplir los lubricantes son:

- Disminuir la fricción
- Reducir el desgaste
- Transferir el calor generado por las pérdidas de potencia en el mecanismo
- Sellar
- Evacuar impurezas de tipo orgánico o metálico
- Transmitir potencias

3.2 Factores que afectan la lubricación en motores alternativos de aeronaves

Presión y temperatura extrema son las principales condiciones a las cuales se somete un motor aeronáutico, pudiendo alterar las condiciones de los lubricantes y por consecuencia la lubricación en el sistema.

3.3 Aceite lubricante

Se define como cualquier sustancia de origen animal, vegetal, mineral o sintética que permite la separación de dos superficies en movimiento relativo, reduciendo el desgaste, refrigerándolas, evacuando contaminantes y protegiéndolas del medio circundante.

3.3.1 Aceites utilizados en motores alternativos de aeronaves

Todos los lubricantes de aviación deben cumplir con ciertas especificaciones para su aprobación las cuales se consigue después de un amplio programa de pruebas supervisadas por la Marina de los EE.UU. Esto comienza con las pruebas de laboratorio, seguido de pruebas de motor de 150 horas antes de ser finalmente evaluados en vuelo. Las dos especificaciones SAE utilizados son: SAE J1899 (antes MIL-L-22851) – Aceite con dispersante sin cenizas, SAE J1966 (antes MIL-L-6082) – Aceite grado mineral. Las especificaciones militares fueron reemplazadas por las especificaciones SAE a finales de 1990. Por referencia es probable que aún se utilicen especificaciones militares a medida que se insertan las nuevas especificaciones en la industria.

Los aceites de aviación constituyen la lubricación, teniendo algunas diferencias pues cada fabricante mezcla aditivos patentados para mejorar el aceite y proporcionar características fiables de rendimiento para el usuario final. Cada grado de viscosidad del aceite está diseñado para satisfacer las necesidades específicas del motor. Usar el aceite adecuado para la lubricación del motor de una aeronave específica puede ayudar a mejorar la eficiencia del motor.

3.3.1.1 Aceite mineral

Aunque los aceites minerales de hoy, reunidos en la especificación militares (MILSPEC) MIL-L-6082B, están bien establecidos, comúnmente los lubricantes motores de aeronaves, tiene algunas desventajas importantes. Cuando se airea a altas temperaturas, sobre todo después de apagar el motor, la oxidación se lleva a cabo, que es la formación de depósitos de carbón. Incluso a temperaturas de 150 grados e inferiores, la combinación de vapor de agua, compuestos de plomo, y combustible parcialmente quemado tienden a cocerse formando lodos. Esta masa pegajosa obstruye el filtro y puede incluso dañar los cojinetes del motor.

Hace algún tiempo hubo un aceite detergente de cenizas metálicas. Fue un aceite mineral con una formación de sales de adición de cenizas metálicas de bario y calcio. Inicialmente, parecía ser la respuesta a los problemas asociados con aceite mineral. Se redujo la tendencia a la oxidación, bujías sucias, tendencia a la preignición, y tuvo un efecto mínimo en el proceso de combustión, al mismo tiempo que facilitaba la acción de limpieza del motor. Este último se consideró especialmente digno de mención porque el aceite viajó a través del motor, el cual eliminó los depósitos de carbón y lodos. Desafortunadamente, el aceite detergente de cenizas metálicas, fue un desastre. Los depósitos aflojados terminaron obstruyendo los filtros y conductos de aceite y, en general causando un caos dentro del motor. Es por eso que aceite detergente de cenizas metálicas ya no se utiliza en los motores de las aeronaves.

Por otra parte, el aceite dispersante sin cenizas (ashless-dispersant, AD), reunidos en las especificaciones SAE J1899 (antes MIL-L-22851), prácticamente se ha apoderado del mercado de los motores de aviones de pistón, mediante el uso de un aditivo polimérico no metálicos; el aceite dispersante sin cenizas ha acabado con los problemas de la formación de carbono de los aceites minerales sin añadir el problema de depósitos de cenizas del aceite detergente.

El aditivo dispersante causa que las partículas se repelen entre sí, evitando los lodos; al mismo tiempo, el dispersante mantiene separada la materia en suspensión hasta que se quita cuando se cambia el aceite. Originalmente, existía la preocupación de que las partículas que flotan libremente actuaran como un abrasivo, formando una especie de papel de lija que desgastaría las piezas por las cuales fluye. La experiencia ha demostrado que es todo lo contrario, AD es un buen lubricante que muchos fabricantes requieren un periodo de adaptación del motor nuevo usando este aceite mineral.

3.3.1.2 Aceite Sintético

Con los motores alternativos operando a temperaturas más altas que nunca, además de ser sometido a diversos entornos, los nuevos tipos de lubricantes fueron propuestos para satisfacer las nuevas necesidades. El aceite sintético es un intento de resolver el problema de las variaciones de temperatura. Por ejemplo, un aceite sintético puede tener la misma viscosidad a 20 °F, como un aceite no sintético AD a 0 °F. Debido a que el aceite sintético tiene una fricción interna menor que los aceites minerales, este tiene excelentes cualidades de lubricación a temperaturas muy bajas; de hecho, el piloto observador notaría una baja de 3-5 psi en la presión de operación que con aceites minerales.

Motores que utilizan aceite sintético son encendidos sin precalentamiento a temperaturas de hasta -40 °F. Si bien no es definitivamente la posibilidad de eliminar el precalentamiento, la mayoría de fabricantes siguen recomendando precalentamiento del motor en temperaturas extremadamente bajas. Sin embargo, ciertamente significa que el precalentamiento se ha reducido en gran medida, y tal vez la mejor parte es no tener que vaciar el aceite sólo por los cambios climáticos. El aceite sintético es un aceite para todo tipo de clima.

El aceite sintético permite un mayor tiempo entre cambios de aceite, ya que produce menos oxidación a alta temperatura y tiene mejores características de desgaste que el aceite mineral. Probablemente el mejor beneficio para el piloto o dueño ocasional es que se adhiere al metal mejor que otros tipos de aceite durante semanas, e incluso meses esto se traduce en larga vida del motor porque esto protege las paredes del cilindro de la corrosión y proporciona la lubricación instantánea en el arranque, incluso para los aviones que no vuelan con regularidad. Sin embargo tiene algunas desventajas. Este tiene una fuerte tendencia a suavizar productos de caucho y resina, así que tienes que tener mucho cuidado con derrames y fugas. Es también mucho más caro que los otros tipos de aceite, y mientras el período de cambio de aceite se extiende tiende a compensar el gasto adicional, un sistema de aceite con fugas, representa un gran gasto de dinero.

Es un error común que no se pueda mezclar diferentes marcas de aceite. Dentro de las categorías básicas, todos los aceites son compatibles. Todas las AD que cumplen con SAE J1899 (antes MIL-L-22851) son compatibles entre sí, sino que también son compatibles con aceite mineral simple. Sin embargo, si el motor tiene gran cantidad de horas y siempre ha utilizado aceite mineral simple, el cambio a aceite de AD no puede ser tan eficaz como en un motor con pocas horas. Si está pensando en cambiar a un sintético de cualquier AD o aceite mineral simple, entonces usted debe drenar y limpiar el sistema según las recomendaciones del fabricante. Si se utiliza un aceite sintético en el motor y hay necesidad de agregar un cuarto o dos de aceite, pero no tienen sintético disponible, es seguro de usar aceite mineral. Tenga en cuenta, que como se diluye el sintético con el aceite mineral, que está eliminando el propósito primordial de utilizar un aceite sintético.

3.3.1.3 Ventajas y desventajas entre aceites minerales y sintéticos en motores de aeronaves de pistón

La decisión de utilizar aceites sintéticos se debe basar en el uso previsto del aceite. Dado que los costos de los aceites sintéticos es de por lo menos dos veces mayor que el de los productos basados en aceite mineral, hay una tendencia por parte del operador de esperar alcanzar resultados superiores en todas las circunstancias. En el entorno de motores de pistón de aeronaves, sin embargo, las propiedades favorables de los aceites sintéticos son marginales. Los fanáticos de los aceites sintéticos tienen básicamente dos afirmaciones fundamentales: aumentar el tiempo entre los cambios de aceite y mejorar el encendido a temperaturas extremadamente bajas.

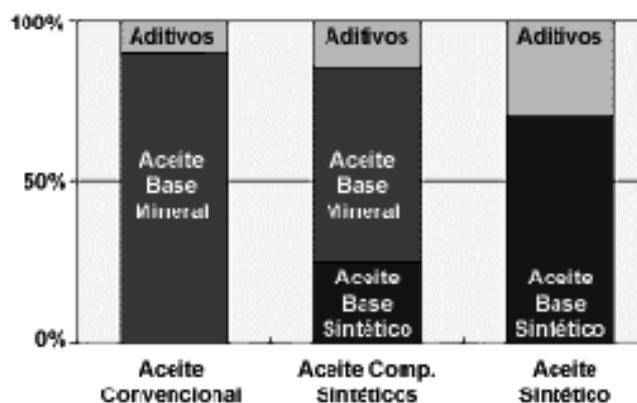
Los aceites sintéticos se contaminan con la misma rapidez como el aceite mineral en los motores de pistón de las aeronaves, no mostrando estos productos sintéticos ninguna diferencia apreciable en los niveles de desgaste. Fabricantes de equipos no hacen distinción entre los productos sintéticos y productos de base mineral para las recomendaciones de cambio de aceite. Además, para los aviones de pistón, cualquier posible beneficio a baja temperatura para un aceite sintético es irrelevante ya que las aeronaves de pistón que se arrancan a temperaturas de 20 °F o menos deben calentarse previamente.

Con respecto a la operación a muy alta temperatura, muy pocas aeronaves de pistón operan a temperaturas que podrían poner en relieve los beneficios de los aceites sintéticos.

3.4 Composición de los aceites lubricantes

Un lubricante está compuesto esencialmente por una base más aditivos.

Figura 13. **Formulación de lubricantes**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos10/lubri/lubri.shtml>

3.4.1 Bases para aceites utilizados en aviación

Las bases lubricantes determinan la mayor parte de las características del aceite, tales como: viscosidad, resistencia a la oxidación, punto de fluidez.

Según su composición los aceites lubricantes pueden ser:

- de base mineral
- de base semisintética
- de base sintética

3.4.1.1 Bases minerales

Los aceites minerales se obtienen de la destilación del petróleo bruto a partir de varios y complejos procesos de refinación.

Es el componente mayoritario de los lubricantes, por lo que su calidad tiene gran influencia en la del producto final.

3.4.1.2 Bases semisintéticas

Los aceites semisintéticos se obtienen a partir de una mezcla de aceites minerales y aceites de síntesis (generalmente compuestos entre un 70 y un 80% por aceite mineral y entre el 20 y el 30% por aceite de síntesis).

3.4.1.3 Bases sintéticas

Son aquellos obtenidos únicamente por síntesis química, ya que no existen en la naturaleza. Una de las grandes diferencias de los aceites sintéticos frente a los minerales es que presentan una estructura molecular definida y conocida, así como propiedades predecibles, fruto de esta información. Los productos que hasta hoy se conocen como lubricantes sintéticos utilizados en la industria automotriz y aeronáutica son ubicados en la siguiente clasificación:

3.4.1.3.1 Polialfaolefinas

Son el resultado de una química del etileno que consiste en la reacción de polimerización de compuestos olefinicos. Son multigrado según la clasificación SAE para motor y cajas de cambio, y su punto de congelación es muy bajo. También son conocidos como Hidrocarburos de síntesis, por ser "construidos" artificialmente con productos procedentes del crudo petrolífero. Se aplican en aceites de uso frigorífico por su propiedad de continuar fluidos a muy baja temperatura. Si comparamos éste con un aceite mineral tiene un mayor índice de viscosidad y una mejor resistencia a la oxidación.

3.4.1.3.2 Ésteres orgánicos

Se obtienen también por síntesis, es decir, de forma artificial, pero sin la participación de productos petrolíferos. Los ésteres son productos de la reacción de esterificación entre productos de origen vegetal, tales como alcoholes y ácidos grasos de origen vegetal. Son multigrado y tienen un poder lubricante extraordinario. Los ésteres, tienen propiedades sobresalientes, tales como un elevado índice de viscosidad, mejor resistencia a alta temperatura, mejor resistencia a la oxidación.

3.4.2 Aditivos para aceites utilizados en aviación

Los aditivos están presentes en un promedio del 15% al 25% en el aceite, dentro de los aditivos más utilizados en la industria aeronáutica tenemos:

3.4.2.1 Aditivo antioxidante

Su función es suprimir o por lo menos disminuir los fenómenos de oxidación del lubricante, que causa el espesamiento del aceite y la corrosión.

3.4.2.2 Aditivo antiespumante

Sirve para evitar la formación de espuma de aceite que puede causar una presión inestable del aceite y pérdida de la resistencia de la película de aceite.

3.4.2.3 Aditivo dispersante sin cenizas

Retarda la formación de fangos y barnices sin formar depósitos de cenizas perjudiciales en la cámara de combustión.

Excepto en casos extremadamente raros, los fabricantes de motores originales (*original engine manufacturers OEMs*) no recomienda agregar aditivos al aceite de aviación. Cambiar el aceite regularmente es mucho más beneficioso. Poco se puede esperar de la inclusión de aditivos del mercado para un aceite aprobado. Pues estos incluyen aditivos que pretenden fortalecer o mejorar las propiedades de lubricación del aceite. Por lo cual el uso de aditivos no mejora el rendimiento de motores de las aeronaves.

3.4.3 Diferencia entre aditivos utilizados en aviación y la industria automotriz

Los aceites de motores automotrices suelen ser formulados con detergentes y otros aditivos que pueden contener metales como el cinc. A partir de estos aditivos metálicos tienden a formarse depósitos de ceniza en la cámara de combustión, donde pueden provocar pre-ignición. Esto a su vez puede conducir a un fallo de motor, por lo tanto, los aceites de aviación están formulados a base de aditivos libres de metal. Es por eso que no es recomendable la utilización de aceites de uso automotriz para lubricar motores diseñados para el uso de la aviación.

4. ANÁLISIS DE ACEITE

Uno de los procedimientos más eficaces de mantenimiento preventivo que se puede realizar para la salud a largo plazo de su motor es enviar el aceite usado a un laboratorio para un análisis de espectrometría. Y mientras hay aquellos que sienten que es una pérdida de tiempo y dinero, muchos más juran por ella. Hay muchos casos en que la detección temprana de problemas se ha detectado mediante el análisis de aceite, evitando así fallas en vuelo lo cual pudo haber sido catastrófico.

Laboratorios que realizan análisis de aceite de aeronaves generalmente están de acuerdo con que alrededor del 75% de las muestras que analizar indican un desgaste normal en el motor, aproximadamente el 20% indican algún tipo de desgaste anormal y un 5% que muestra un defecto crítico en el motor que requiere atención inmediata. Teniendo en cuenta que un defecto crítico en el motor podría provocar una falla catastrófica de este en vuelo. Es sólo cuestión de sentido para tener analizado el aceite sobre una base regular.

La razón para establecer un programa regular de análisis de aceite del motor se debe a que los motores alternativos son por diseño de alta fricción causando mucho movimiento relativo entre las partes móviles, como el cigüeñal , la caja del cigüeñal y los cojinetes de biela. Cuando dos metales se rozan, como los anillos de pistón contra las paredes del cilindro. Por la fricción resultante en el punto de contacto poco a poco se desgasta el metal, que finalmente llevan a la falla de la pieza. Los metales utilizados en los puntos de contacto del motor y del sistema de aceite se conoce como metal de desgaste. Laboratorios de análisis de aceite saben qué metales se utilizan en áreas específicas, los cuales indican en qué área o áreas están experimentando desgaste.

Los motores alternativos atraen una amplia variedad de desagradables contaminantes como polvo, combustible, agua, oxidación, nitración. Añadido a estas las partículas de metal flotando en el aceite, tienden a erosionar dramáticamente la eficacia de los aceites. El problema es que estos contaminantes generalmente son microscópicos y no puede ser visto por el ojo humano, por lo que sólo mirar el aceite cuando se cambia, o sentirlo con los dedos. Es de muy poco valor.

Motivo por el cual es de gran ayuda la realización de este tipo de análisis de aceite para saber las condiciones reales de nuestro motor.

4.1 Descripción de pruebas utilizadas para el análisis de aceite

La mayoría de los laboratorios ejecutan dos tipos de prueba de análisis de aceite en una muestra dada: la prueba de espectrometría y la de propiedades físicas. La prueba de espectrometría es aquella en la que está sometida la muestra a un alto voltaje de la energía eléctrica que hace que los elementos contenidos en el aceite desprendan patrón de colores y brillo. Al entender estos patrones, los analistas pueden interpretar la cantidad de un elemento dado, por lo general se indican en partes por millón, que hay en la muestra. Los analistas también saben que metales se utilizan para la fabricación de piezas específicas en el motor. Por ejemplo, el cobre se usa en bujes de pistón y bujes de leva, por lo que la determinación del origen de los contaminantes metálicos es a menudo posible.

La prueba de propiedades física comprueba cosas tales como la presencia de agua, dilución del combustible, oxidación y viscosidad. La viscosidad aumenta con el tiempo de servicio debido a cosas tales como: la oxidación, ingreso externo de contaminantes en el aceite, el sobrecalentamiento del aceite, inadecuada mezcla aire/combustible y un aumento excesivo de los materiales sólidos atrapados en el aceite.

También es posible que haya una disminución de la viscosidad del aceite debido a una punta de inyector de combustible defectuosa causando dilución de combustible en el aceite.

La prueba de las propiedades físicas deberá comprobar también la cantidad de sólidos totales. Una muestra de aceite es diluida en un solvente haciéndola girar en una centrifuga, causando que los sólidos grandes se asienten, haciéndolos medibles con facilidad y precisión. Uno de los resultados de esta parte de las pruebas es el descubrimiento de partículas de carbono que indica que se ha producido una combustión incompleta del combustible, que es un buen indicador de la eficiencia de la combustión del motor.

4.1.1 Normas ASTM

La ASTM ha establecido una serie de normas para evaluar las propiedades físico-químicas, tanto del aceite nuevo como usado. Cada norma tienen un método estandarizado, el cual debe ser el mismo, cualquiera sea el laboratorio en donde se lleve a cabo dicho análisis. Una prueba de laboratorio no quedara bien especificada si no se tienen en cuenta el método ASTM bajo el cual se efectuó. Es importante que el laboratorio al reportar los resultados de un análisis especifique el método ASTM; esto le permitirá al usuario comparar las propiedades físico-químicas del aceite nuevo con las del aceite usado.

4.1.2 Método de prueba estándar para determinación de elementos aditivos, desgaste de metales y contaminantes en aceite lubricante usado por Espectroscopia de Emisión Atómica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES) ASTM D-5185

Este método de prueba cubre la determinación rápida de 22 elementos en aceites lubricantes usados y en aceites bases, y provee una rápida investigación de los aceites usados para las indicaciones del desgaste. El tiempo de las pruebas es de aproximadamente pocos minutos por espécimen de prueba, y la detectabilidad para la mayoría de los elementos está en un bajo rango de mg/kg. Además, este método de prueba cubre una amplia variedad de metales en aceites nuevos y vueltos a refinar.

Este método de prueba se puede utilizar para supervisar la condición del equipo y para definir cuando son necesarias las acciones correctivas.

Las concentraciones de metales en aceites bases vueltos a refinar pueden ser indicativas de la eficacia del proceso de la re-refinación. Este método de prueba se puede utilizar para determinarse si el aceite base cumple con las especificaciones respecto al contenido de metal.

4.1.2.1 Resumen del método de prueba

Este método de la prueba cubre la determinación de elementos añadidos, metales del desgaste, y de contaminantes en aceites lubricantes usados, por medio de un espectrómetro de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente. Los elementos específicos y sus sugeridas longitudes de onda se enumeran en la siguiente tabla.

Tabla XI. Elementos determinados y longitud de onda sugerida

Elemento	Longitud de onda, nm.
Aluminio	308.22, 396.15, 309.27
Bario	233.53, 455.40, 493.41
Boro	249.77
Calcio	315.89, 317.93, 364.44, 422.67
Cromo	205.55, 267.72
Cobre	324.75
Hierro	259.94, 238.20
Plomo	220.35
Magnesio	279.08, 279.55, 285.21
Manganeso	257.61, 293.31, 293.93
Molibdeno	202.03, 281.62
Níquel	231.60, 227.02, 221.65
Fosforo	177.51, 178.29, 213.62, 214.91, 253.40
Potasio	766.49
Sodio	589.59
Silicio	288.16, 251.61
Plata	328.07
Azufre	180.73, 182.04, 182.62
Estaño	189.99, 242.95
Titanio	337.28, 350.50, 334.94
Vanadio	292.40, 309.31, 310.23, 311.07
Zinc	202.55, 206.20, 213.86, 334.58, 481.05

Fuente: <http://www.astm.org/Standards/D5185.htm>

4.1.3 Método de prueba estándar para determinación de viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos ASTM D-445

Este método de prueba especifica un procedimiento para la determinación de la viscosidad cinemática, de los productos líquidos de petróleo, transparentes y opacos, midiendo el tiempo que le toma a un volumen de líquido fluir bajo gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado. La viscosidad dinámica puede ser obtenida multiplicando la viscosidad cinemática, por la densidad, del líquido.

4.1.3.1 Resumen del método de prueba

Consiste en medir el tiempo necesario para que un volumen de líquido fluya por gravedad, a través del capilar de un viscosímetro calibrado. La viscosidad cinemática es igual al producto del tiempo medido por la constante de calibrado del viscosímetro.

4.1.4 Método de prueba estándar para determinación de agua y sedimentos por centrifugación ASTM D-96

Este método de prueba cubre el método de centrifugación para determinar el sedimento y el agua en el aceite para su transportación. Este no puede proporcionar siempre los resultados más exactos, pero es considerado el método más práctico para la determinación de sedimentos y agua.

4.1.4.1 Resumen del método de prueba

Para saber los volúmenes de aceite y solvente (agua saturada si está requerido) son puestos en un tubo de centrifugadora y calentados a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{F}$). Después de la centrifugación. El volumen la capa del sedimento y agua se lee en el fondo del tubo.

4.1.5 Método de prueba estándar para determinación de los puntos de inflamación y de combustión por vaso abierto Cleveland ASTM D-92

Este método es aplicable a cualquier producto petrolífero, excepto combustibles líquidos y aquellos que tengan un punto de inflamación, en vaso abierto, inferior a 175 °F (79 °C).

4.1.5.1 Resumen del método de prueba

La taza de prueba es llenada a un específico nivel con la muestra. La temperatura de la muestra se aumenta rápidamente al principio y luego a una lenta tasa constante mientras que se acerca el punto inflamación. En los intervalos específicos de la prueba una llama pequeña se pasa a través de la taza. La temperatura más baja a la cual el uso de la llama de la prueba hace encender los vapores sobre la superficie del líquido se toma como el punto de inflamación. Para determinar el punto de combustión, la prueba se continúa hasta que el uso de la llama de prueba hace que el aceite se encienda y se queme por lo menos 5 s.

4.2 Toma de muestra

La operación de toma de una muestra es de especial importancia, debido a que dicha muestra proporcionará una información real y fiable del estado de desgaste del sistema.

4.2.1 Tipos de muestra

Básicamente, las muestras tomadas son de aceite, aunque también es posible tomar de fluidos hidráulicos, de elementos filtrantes y de partículas detectadas por otros medios (*chips detectors*, etc.), de manera que cada tipo de muestra tiene sus peculiaridades a la hora de ser tomada.

4.2.2 Pasos básicos para la toma de muestras

Se debe prestar especial atención en el proceso de toma e identificación de la muestra, debido a que dicha muestra es la única fuente de información para diagnosticar el estado de desgaste del sistema.

La muestra de aceite deberá ser tomada en caliente, bien después de un vuelo, o bien tras un rodaje, de forma que la temperatura del aceite sea la adecuada para unas condiciones normales de trabajo.

Debe ser tomada antes de añadir aceite, siempre en las mismas condiciones y en el mismo punto del circuito.

Se deberán emplear los equipos de muestreo facilitados por el laboratorio y tomar las precauciones necesarias para evitar contaminaciones en la muestra, por ejemplo:

- Evitar el uso de botes de muestra que estén sucios de polvo, arena, agua, grasas, combustibles, etc.
- Evitar que en la extracción de la muestra se tome con sedimentos del sistema.

La cantidad requerida para el análisis del aceite es de 25 cc.

Es de vital importancia que el bote contenedor de la muestra se identifique correctamente (tipo de sistema, posición, matrícula y número referencia dado en origen). Es también muy importante que el cierre de los botes garantice la integridad de su contenido, evitando que se derrame.

4.2.3 Precauciones

- No succionar con la boca el tubo de muestreo para llenarlo.
- Evitar contacto con superficies contaminantes.
- Abrir y cerrar el tapón del frasco en el momento de muestrear.
- Cerrar bien para evitar fugas.
- Utilizar paños de limpieza sin hilos.
- Prevenir quemaduras si el aceite está caliente.
- Evitar la pérdida de identificación de la muestra. Marcarla.
- Utilizar un tubo de muestreo para cada muestra y desecharlo.

4.2.4 Periodicidad de muestreo

De forma orientativa

Aviones de combate, tácticos y de enseñanza.	10 Horas
Helicópteros de enseñanza (motores y cajas)	10 Horas
Helicópteros en general (motores y cajas)	15 Horas
Aviones transporte (unidad auxiliar de potencia)	25 Horas

Los intervalos de muestreo pueden ser reducidos o ampliados, a requerimiento del laboratorio o del encargado de mantenimiento.

4.2.5 Muestreo extraordinario

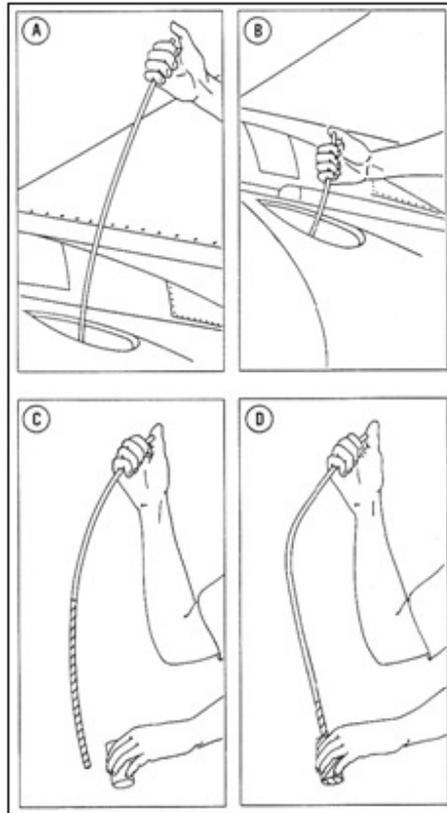
- Siempre que sean solicitadas por el laboratorio.
- Siempre que lo ordene el jefe de mantenimiento por sospecha de posibles deficiencias.
- Inmediatamente después de una operación en que se produzca cualquier condición anormal, como pueden ser fallos de funcionamiento del sistema lubricado, daños producidos en dicho sistema, pérdida excesiva de aceite, fluctuaciones de presión de aceite, baja presión de aceite, etc.
- Inmediatamente antes y después de realizar una operación de mantenimiento que afecte al sistema lubricado.
- Después del primer vuelo, tras la instalación del motor, o cuando se hubiesen reparado componentes del sistema lubricado.
- Tras largo períodos de inactividad se debe toma una muestra después del primer vuelo.

4.2.6 Métodos utilizados para la toma de muestra

4.2.6.1 A través de la boca de carga del depósito

Se introduce tubo de muestreo por la boca de carga del depósito de aceite y se espera a que el aceite se introduzca en el interior, se tapa con el dedo la parte superior del tubo, se saca y se introduce en el frasco de plástico porta muestras, finalmente se retira el dedo que obstruía el extremo superior y por gravedad el contenido del tubo pasará al frasco. Se repite esta operación hasta llenar las 3/4 partes del frasco.

Figura 14. Método de extracción a través de la boca de carga del depósito

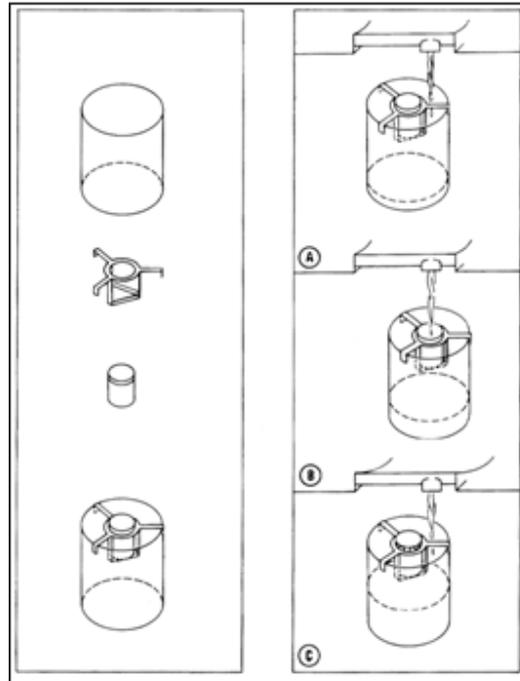


Fuente: Programa PAESA Mantenimiento Predictivo de sistemas lubricados pág. 14

4.2.6.2 A través de drenaje

Es recomendable disponer de un recipiente cilíndrico y un soporte, quitar el tapón de drenaje y hacer que el aceite caiga en el recipiente auxiliar que soporta el porta muestras; cuando haya caído aproximadamente un cuarto de litro (arrastrando la suciedad del fondo), hacer que el aceite caiga en el bote porta muestras hasta llenar aproximadamente las 3/4 partes del frasco, retirar de nuevo, tapar el drenaje y el frasco.

Figura 15. **Método de extracción a través de drenaje**



Fuente: Programa PAESA Mantenimiento Predictivo de sistemas lubricados pág. 14

4.2.6.3 Mediante pistola de succión

En este método es necesario contar con una bomba de succión adecuada, así como una manguera y un recipiente esterilizado los cuales pueden obtenerse con cualquier proveedor de lubricantes. Esta bomba está diseñada para adaptarse de manera segura al frasco proporcionado por cualquier programa de muestreo de aceite usado.

Los pasos para proceder a este método son los siguientes:

Cuando esté listo para utilizarlo, corte la punta del tubo plástico a un ángulo de 45 grados para evitar que se atasque, insértela en el lugar en donde se coloca la varilla para medir el nivel del aceite. Esto permitirá que el tubo pueda penetrar fácilmente en el motor.

Inserte el tubo de manera de tenga el mismo largo que la varilla, esto evitará que el mismo tope con el crisol. Algunas personas utilizan una nueva medida para el largo del tubo plástico cada vez que toman una muestra, esto no es necesario si se hace una muestra de depuración anteriormente.

Se recomienda mantener un frasco de muestreo adherido a la pistola de succión siempre que ésta no se esté utilizando. Utilice este frasco como su frasco de depuración. Llene el frasco y deslíguelo de la pistola, deseche el aceite de manera apropiada. Esta muestra de depuración elimina cualquier escombros que pudo haberse recogido mientras se insertaba el tubo plástico.

Adhiera un nuevo frasco a la pistola y asegure el frasco con su tapón correspondiente y realice la extracción, cuando el bote este en lleno, removemos cuidadosamente la manguera y la desconectamos de la bomba de succión, sellando el sistema con el bote e inmediatamente quitamos el bote de la bomba y lo tapamos para mantener la muestra lo más libre de contaminantes.

Figura 16. Pistola de succión



Fuente: <http://solomantenimiento.blogspot.com/2007/01/bombas-de-aspiracin-toma-muestras.html>

4.2.6.4 Ventajas y desventajas de los métodos utilizados para la toma de muestra

A través de la boca de carga del depósito este método es muy eficaz al tomar la muestra en determinado tiempo entre recambio de aceite, la desventaja radica en el cálculo inadecuado de la longitud de la manguera la cual puede llegar al fondo y tomar contaminantes que se encuentren en este lugar, así como la falta de higiene de la manguera que escurre aceite.

A través de drenaje es un método utilizado con más frecuencia en el recambio de aceite, teniendo como desventaja la toma de muestra con contaminantes en el fondo del colector al no desechar una cantidad considerable antes de tomar la muestra.

Mediante pistola de succión este método es regularmente el más utilizado para la extracción de la muestra de aceite usado por su limpieza en el proceso, seguridad en la extracción.

5. REALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

5.1 Método de análisis a utilizar

Las pruebas realizadas por los laboratorios a las muestras de aceite deben estar basadas en normas ASTM, siendo las más usadas en la industria aeronáutica las siguientes:

- Espectrometría ASTM D-5185
- Punto de inflamación y combustión ASTM D-92
- Determinación de agua y sedimentos ASTM D-96
- Viscosidad cinemática ASTM D-445

Se debe contar con un laboratorio que cumpla con estas normas además de garantía de calidad, tiempo mínimo de entrega de resultados, capacidad y buen servicio al cliente. Al elegir un laboratorio específico es recomendable la utilización de este por un determinado tiempo; esto asegura la utilización del mismo sistema de pruebas realizadas así como la acumulación de un historial de datos para la comparación a largo plazo.

5.1.1 Recopilación de datos

Otro aspecto importante del análisis es llenar en forma precisa y completa el cuestionario, siendo completamente sinceros al responder las preguntas acerca de las condiciones de funcionamiento y procedimientos, las cuales ayudarán al analista a hacer recomendaciones sobre la base de lo que los resultados del análisis de aceite indiquen.

Recuerde que un determinado tipo de metal puede ser utilizado en varias áreas diferentes de un motor y del sistema de aceite. Conocer la información operativa ayuda al analista interpretar los datos.

La información necesaria se adjunta en una boleta a la muestra de aceite que se envía al laboratorio siendo comúnmente la siguiente:

- Identificación de la unidad (matricula)
- Marca de la unidad
- Modelo
- Número de serie
- Ubicación del motor (izquierdo, derecho, central, frontal, trasero)
- Fecha en que fue tomada la muestra
- Horas del aceite (tiempo desde el último recambio)
- Horas en unidad (TSMOH)
- Fecha de reconstrucción del motor (si ha sido reconstruido)
- Marca, tipo y viscosidad del aceite
- Cantidad de aceite que se ha agregado (por consumo)
- Tipo de combustible

5.1.2 Toma de la muestra

Al tomar la muestra de aceite se debe tomar en cuenta todas las precauciones y pasos estipulados en el capítulo anterior, así como los lugares desde donde se puede extraer una muestra para aplicar el método apropiado de extracción siendo estos; por el ducto de la varilla de medición y el drenaje del cárter.

Se puede obtener una muestra por el ducto de la varilla cuando se sospecha de un problema y al realizar pruebas con más frecuencia que los previstos cambios de aceite. La localización más común sería en el drenaje del cárter durante un cambio de aceite.

5.2 Guía de investigación de averías

Esta guía de investigación de averías tiene como objetivo ser de ayuda al usuario en la interpretación de los resultados de las muestras de aceite, siendo esta no definitiva más bien utilizada en conjunto con otros materiales de referencia.

Los analistas también saben que metales se utilizan para la fabricación de piezas específicas en el motor, una versión abreviada se presenta a continuación. Por ejemplo, el cobre se usa en bujes de pistón y bujes de levas, por lo que la determinación del origen de los contaminantes metálicos es a menudo posible.

Tabla XII. Fuentes de contaminación y desgaste en el aceite

Silicio	Contaminación externa, por lo general indica inadecuado servicio en el filtro de aire. Excesiva suciedad crea abrasivos que aceleran el desgaste del motor aumentando los costos de operación.
Hierro	Indica el desgaste originado por alguno o todos los componentes de acero, tales como paredes de los cilindros, anillos, ejes, ejes estriados, engranajes, etc. Alto contenido de hierro puede indicar la corrosión si el motor tiene un historial de inactividad. A menudo se limpia con uso regular, si los cilindros, leva, y elevadores de válvulas no están picados.
Cobre	Indica desgaste de los cojinetes y/o bujes.
Aluminio	Indica desgaste en pistón , bulones del pistón, y puede confirmar presencia de suciedad del aire.
Cromo	Originado por el desgaste de las piezas del motor que se han cromado, principalmente anillos de compresión o de las paredes del cilindro.
Plata	Presente en aleaciones de cojinetes de un número limitado de motores, como los motores Lycoming sobrealimentados, barras principales de motores radiales, y rodamientos principales de motores continental serie E
Níquel	Puede indicar un desgaste de ciertos tipos de anillos de pistones, cojinetes, válvulas y eje de turbo.
Estaño	Indicador de desgaste de los rodamientos.
Plomo	Desgaste del recubrimiento de cojinetes, contaminación de gasolina siendo esta la principal fuente de plomo por la contaminación con tetraetilo de plomo.

Fuente: David A. Lombardo. *Aircraft Systems* pág. 125

5.2.1 Dilución de combustible

La dilución de combustible del aceite del cárter del motor causada por los combustibles no quemados reduce eficacia del lubricante. El enrarecer o delgadez del lubricante puede reducir la película de protección del lubricante aumentando el riesgo de desgaste anormal. Dependiendo de ciertas variables, cuando la dilución del combustible excede del 2.5% al 5%. Acciones correctivas deben ser tomadas. La dilución del combustible es medida por ambas, la cromatografía del gas y la dilución del combustible.

Fuente:

Cociente de aire incorrecto al combustible
Largo tiempo de inactividad
Inyectores defectuosos
Surtidores o líneas de combustible que gotean
Combustión incorrecta
Sincronización incorrecta

Resultado:

Contacto de metal con metal
Lubricación pobre
Desgaste del anillo del cilindro
Aditivos desgastados
Presión del aceite disminuida
Mayor consumo de combustible
Rendimiento del motor reducido
Vida acortada del motor

Solución:

Compruebe las líneas de combustible, anillos usados, inyectores que gotean, bombas, sellos, etc.

Examine condiciones de manejo y funcionamiento

Revise sincronización

Evite inactividad extendida

Cambie el aceite y los filtros

Compruebe la calidad del combustible

Repare o sustituya las piezas gastadas

5.2.2 Viscosidad

La viscosidad es una de las características más importantes del aceite lubricante. La viscosidad es una medida de la resistencia al flujo en una temperatura específica en lo referente a tiempo. Las dos temperaturas más comunes para la viscosidad del aceite lubricante son 40 °C y 100 °C. La viscosidad se evalúa con un método cinemático y se divulga normalmente en centistokes (cSt). En el análisis del aceite usado, la viscosidad se compara a la del aceite nuevo para determinar si un adelgazamiento o espesamiento excesivo ha ocurrido.

Fuente:

Viscosidad alta

Contaminación de hollín – sólidos
Combustión incompleta aire/combustible
Degradación de la combustión
Juntas principales que gotean
Recambio extendido del aceite
Alta temperatura de funcionamiento
Grado incorrecto del aceite

Viscosidad baja

Esquileno aditivo
Dilución de combustible
Grado incorrecto del aceite

Resultado:

Viscosidad alta

Incremento de los gastos operativos
Recalentamiento del motor
Flujo restringido del aceite
Depósitos dañinos o lodos

Viscosidad baja

Recalentamiento del motor
Pobre lubricación
Contacto de metal con metal
Aumento de costos de operación

Solución:

Revise el cociente aire/combustible
Revise que no este usando un grado incorrecto en el aceite
Examine los sellos internos
Revise la temperatura de funcionamiento
Revise que los inyectores no goteen
Cambie el aceite y el filtro
Revise por líneas flojas de paso de combustible

5.3 Interpretación de los resultados del informe de la prueba y acción correctiva a tomar

Una vez que las pruebas se han concluido, serán desplegados datos y detalles en el reporte científico, la evaluación e interpretación por un experto evaluador es lo que provee la utilidad del análisis, el cual indicara el nivel de desgaste y una recomendación específica de mantenimiento a realizar, tomando en cuenta que este informe es solamente una herramienta que le asistirá al operador o dueño en la toma de decisiones acerca del mantenimiento.

Los laboratorios que hacen los análisis, normalmente identifican tres niveles de desgaste:

5.3.1 Normal

Niveles de desgaste, niveles de contaminantes, aditivos, viscosidad, etc. que caen dentro del promedio de la mayoría de los aceites analizados. Tenga presente que es importante saber que una unidad es normal. Esto puede ahorrarle un desmontaje innecesario.

5.3.2 Anormal

Niveles de desgaste u otras condiciones que está por encima de lo usual. Puede por ejemplo, haber una recomendación de cambiar filtros, y un comentario que observa que el desgaste anormal del cojinete esta presente.

5.3.3 Crítico

Niveles mayores que salen del rango tolerable y que podría acortar la vida útil del motor inmediatamente. Estos niveles pueden coincidir con los límites condenatorios de los fabricantes. Se indica la naturaleza sospechada del problema y se hace la recomendación para la acción de mantenimiento. Las unidades críticas requieren la atención inmediata.

5.4 Resultados obtenidos durante la prueba

A continuación se presentan dos historiales de análisis emitidos por un laboratorio especializado, los cuales ejemplifican datos reales así como recomendaciones emitidas hacia los usuarios.

5.4.1 Reporte de laboratorio 1

- Unidad: NOSCAR
- Marca: Continental
- Modelo: IO-520
- Número de serie: BA12B
- Fecha en que fue tomada la muestra: 6 de agosto 2009
- Horas del aceite: 30 horas
- Horas en unidad: 30 horas
- Marca, tipo y viscosidad del aceite: Aeroshell 100 mineral
- Cantidad de aceite que se ha agregado: 2 qts.
- Tipo de combustible: gasolina sin plomo

Figura 17. Reporte de laboratorio 1



OIL REPORT

LAB NUMBER: A12176 UNIT ID: N0SCAR
 REPORT DATE: 8/20/2009 CLIENT ID:
 CODE: 22/16 PAYMENT: CC: Visa (Bulk)

UNIT	EQUIP. MAKE/MODEL: Continental IO-520-BA12B	OIL TYPE & GRADE: Aeroshell 100 Mineral
	FUEL TYPE: Gasoline (Leaded)	OIL USE INTERVAL: 30 Hours
	ADDITIONAL INFO:	

CLIENT	OSCAR HUFF	PHONE: (828) 555-1212
	125 DOGG CT.	FAX: (828) 555-1213
	BARK CITY, CA 95168	ALT PHONE:
		EMAIL: oscar@huffcontracting.com

COMMENTS OSCAR: This is a new IO-520 in N0SCAR. Wear levels were higher than average but this is normal for an engine going through wear-in. When you put the first fill of AD oil in the engine, metals may increase from these levels, because the additive in that type of oil will scavenge some of the stuff that mineral oil leaves behind. Nothing was found in this sample that would point to a problem. Silicon read high due to sealers and sand-casted parts. It should drop next time. Should be a nice engine for you.

ELEMENTS IN PARTS PER MILLION			UNIT / LOCATION AVERAGES					UNIVERSAL AVERAGES
	MIHR on Oil	30	45	61	35	49	75	
	MIHR on Unit	30	485	440	344	295	220	
Sample Date	08/06/09	02/08/09	06/11/08	04/14/08	03/19/08	02/03/08		
Make Up Oil Added	2 qts	6 qts	0 qts	3 qts	5 qts	0 qts		
ALUMINUM	15	17	36	34	19	25	53	
CHROMIUM	7	13	33	27	18	23	47	
IRON	66	144	450	360	221	267	455	
COPPER	18	26	25	28	33	64	143	
LEAD	4988	6027	9665	9877	7066	6407	6935	
TIN	5	5	5	3	5	3	15	
MOLYBDENUM	2	5	16	15	7	10	18	
NICKEL	4	6	28	15	8	13	29	
MANGANESE	0	0	0	0	0	1	0	
SILVER	0	0	0	0	0	0	0	
TITANIUM	0	0	0	0	0	0	0	
POTASSIUM	0	3	2	1	2	2	4	
BORON	1	1	0	0	1	2	0	
SILICON	26	12	16	14	11	14	25	
SODIUM	2	2	2	2	2	2	5	
CALCIUM	5	6	8	8	7	4	4	
MAGNESIUM	2	1	0	1	0	3	1	
PHOSPHORUS	17	14	5	11	14	14	53	
ZINC	16	16	9	12	15	39	122	
BARIUM	0	0	0	0	0	1	0	

PROPERTIES	Values Should Be*							
		90.6	86-99	105.7	107.8	95.4	92.5	93.4
SUS Viscosity @ 210°F	90.6	86-99	105.7	107.8	95.4	92.5	93.4	
cSt Viscosity @ 100°C	18.12	12.7-15.5	18.85	19.79	14.16	13.29	13.01	
Flashpoint in °F	465	>410	420	410	455	400	440	
Fuel %	<0.5	<2.0	<0.5	TR	<0.5	1.0	<0.5	
Antifreeze %	-	0.0	-	-	-	-	-	
Water %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Insolubles %	0.2	<0.6	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	
TBN								
TAN			1.2		1.5			
ISO Code								

* THIS COLUMN APPLIES ONLY TO THE CURRENT SAMPLE

Fuente: <http://www.blackstone-labs.com>

Esta es una aeronave con un motor nuevo instalado, se puede observar que cuenta con un historial de cinco análisis realizados con anterioridad desde febrero del 2008 hasta febrero del 2009 para distintos intervalos de horas de uso del aceite.

Comentario:

Este es un nuevo IO-520 en NOSCAR. Los niveles de desgaste fueron más altos que el promedio pero esto es normal para un motor que esta en fase de asentamiento. Cuando ponga el primer aceite AD (dispersante sin ceniza) en el motor. Los metales pueden aumentar de estos niveles, porque el aditivo en ese tipo de aceite limpiará algo de la materia que dejaba el aceite mineral que se ha usado. No se encontró nada en esta muestra que señale algún problema. El silicio se mostro alto debido a los selladores y piezas fundidas, el cual debe disminuir la próxima vez.

5.4.2 Reporte de laboratorio 2

- Unidad: NSSSS7
- Marca: Lycoming
- Modelo: IO-360
- Número de serie: A1A
- Fecha en que fue tomada la muestra: diciembre 2 del 2007
- Horas del aceite: 40 horas
- Horas en unidad: 416 horas
- Marca, tipo y viscosidad del aceite: Aeroshell 15w/50
- Cantidad de aceite que se ha agregado: 4 qts.
- Tipo de combustible: gasolina sin plomo

Figura 18. Reporte de laboratorio 2

BLACKSTONE LABORATORIES		AIRCRAFT REPORT		LAB NUMBER: D70629	UNIT ID: NSSSS7			
				REPORT DATE: 5/25/2009	CLIENT ID: 28751			
				CODE: 22/16	PAYMENT: CC: Visa			
UNIT	EQUIP. MAKE/MODEL:	Lycoming IO-360-A1A	OIL TYPE & GRADE:	Aeroshell 15W/50				
	FUEL TYPE:	Gasoline (leaded)	OIL USE INTERVAL:	25 hours				
	ADDITIONAL INFO:	Cessna 172 Eng. S/N 000001						
CLIENT	OSCAR HUFF	PHONE:	(828) 123-5897					
	OSCAR'S WORKSHOP	FAX:	(828) 123-1547					
	132 PERIWINKLE RD	ALT PHONE:	(828) 123-1564					
	STE. 102	EMAIL:	oscar@bellsouth.com					
	SWANNANOA, NC 18752							
COMMENTS	OSCAR: Note aluminum. This level is reading higher than it was back in October and it's higher than universal averages for this type of engine. We are concerned this may be the beginning of a piston or piston pin-plug problem. Iron shows increasingly poor cylinder wear. Insolubles are okay, so the oil filtration system is working well. Air filtration looks good too (see silicon). The engine has been flown frequently, so corrosion is not the problem. We suggest a compression check and borescope. If those turn out okay and the filter is free of metal, we suggest resampling for another look. This is a cautionary report.							
ELEMENTS IN PARTS PER MILLION	MI/HR on Oil	40	35	25	30	29	UNIVERSAL AVERAGES	
	MI/HR on Unit	416	376	341	311	282		
	Sample Date	12/02/07	10/08/06	07/12/06	05/21/06	04/16/06		
	Make Up Oil	4 qts	3 qts	2 qts	2 qts	5 qts		
	ALUMINIUM	31	17	18	3	3	3	9
	CHROMIUM	4	3	2	2	2	2	4
	IRON	151	31	69	40	31	33	23
	COPPER	2	2	2	2	2	3	3
	LEAD	3591	3599	3621	3012	2989	3014	3058
	TIN	0	1	0	1	2	2	1
	MOLYBDENUM	0	0	0	0	0	0	0
	NICKEL	1	1	1	1	0	1	1
	MANGANESE	0	0	0	0	0	1	0
	SILVER	0	0	0	0	0	0	0
	TITANIUM	0	0	0	0	0	0	0
	POTASSIUM	0	0	0	1	0	0	1
	BORON	0	0	0	1	0	1	32
	SILICON	9	14	10	8	9	13	11
	SODIUM	4	3	3	3	3	4	3
	CALCIUM	2	3	2	1	2	2	1
	MAGNESIUM	0	0	0	0	0	0	0
PHOSPHORUS	697	765	746	823	678	766	877	
ZINC	3	3	3	4	3	2	2	
BARIUM	0	0	0	0	0	0	2	
Values Should Be*								
PROPERTIES	SUS Viscosity @ 210°F	91.9	82-105	100.9	103.7	102.4	102.8	
	cSt Viscosity @ 100°C	17.74	16.0-21.8	18.85	20.79	19.16	19.29	
	Flashpoint in °F	455	>440	445	455	465	460	
	Fuel %	<0.5	<1.0	<0.5	<0.5	<0.5	1.0	
	Antifreeze %	-	0.0	-	-	-	-	
	Water %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Insolubles %	0.5	<0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	
	TBN							
	TAN							
	ISO Code							

*THIS COLUMN APPLIES ONLY TO THE CURRENT SAMPLE

Fuente: <http://www.blackstone-labs.com>

Esta es una aeronave con 416 horas de vuelo, de la cual se han enviado cinco análisis de laboratorio, realizados desde abril de 2006 a diciembre de 2007 para distintos intervalos de horas de uso del aceite.

Comentario:

Observar el aluminio. Este nivel se está leyendo más alto de lo que estaba en octubre y es más alto que el promedio universal para este tipo de motor. Nos referimos a que éste puede ser el principio de un problema del pistón o del bulón del pistón. El hierro indica un pequeño incremento en el desgaste del cilindro. Las sustancias insolubles son aceptables. De manera que el sistema de la filtración del aceite está trabajando bien. La filtración del aire parece buena también (véase el silicio). El motor se ha volado con frecuencia. De modo que la corrosión no es el problema. Se sugiere un chequeo de compresiones y una boroscopia. Si éstos resultan bien y el filtro está libre de metal, Se recomienda realizar otro muestreo para otra mirada. Esto es un reporte precautorio.

5.5 Establecer rutinas de análisis de aceite

Al recorrer por primera vez un motor nuevo o recientemente acondicionado, el aceite se debe cambiar con frecuencia. Puesto que hay un alta tasa de desgaste durante el período de adaptación, y las partículas del metal se pueden encajar en cojinetes y acortar seriamente la vida del motor. Motivo por el cual es recomendable enviar muestras de aceite al laboratorio en los primeros recambios. Normalmente, el aceite se debe cambiar a las 5 horas, o después del primer vuelo, y de nuevo aproximadamente de 10 a 12 horas, luego a las 25 horas.

El análisis de aceite es una tendencia lo cual indica que el programa requiere un mínimo de tres períodos de muestreo para establecer una tendencia significativa. No es una sola vez o a realizarse ocasionalmente. Por lo tanto, se sugiere que la muestra de aceite se tome cada 50 horas de funcionamiento o tres meses, lo que ocurra antes. Como mínimo, para que el programa sea efectivo, las muestras deben de tomarse con cada cambio de aceite.

Si las muestras son tomadas con bases regulares, esto proveerá al dueño/operador y al técnico analista del aceite, información relativa al desgaste normal o anormal que ocurre durante el curso de la operación del motor.

5.6 Creación de historial del análisis de aceite

Un solo análisis de una muestra de aceite de un motor, sin comparaciones no ayuda en mucho. Motivo por el cual se debe crear un historial en base a las rutinas establecidas utilizando la misma técnica de muestreo y laboratorio, para comparar los resultados con análisis anteriores y así poder determinar las tendencias de desgaste que estos sufren.

CONCLUSIONES

1. Tomando en cuenta los diferentes tipos de mantenimiento aplicado en la industria aeronáutica, se tiene como mejor opción la utilización del programa de inspección progresiva proporcionado por el fabricante, por su flexibilidad a la hora de realizar este tipo de mantenimiento en aeronaves con una estrecha agenda, logrando con esto maximizar la seguridad y la reducción del tiempo de inactividad, manteniendo siempre a la aeronave en condiciones operativas.
2. Los motores alternativos utilizados en aviación son similares a los utilizados en automóviles con algunas variantes como: el sistema de alimentación de corriente, lubricación y enfriamiento, lo cual hace a los motores alternativos de aviación más confiables.
3. El aceite lubricante se define como cualquier sustancia de origen animal, vegetal, mineral o sintética que permite la separación de dos superficies en movimiento relativo, reduciendo el desgaste, refrigerándolas, evacuando contaminantes y protegiéndolas del medio circundante.
4. Las pruebas realizadas a las muestras de aceite usado son básicamente pruebas espectrometría y de propiedades físicas, las cuales se realizan mediante métodos estandarizados por ASTM.

5. Los beneficios generales del programa de análisis de aceite incluyen la reducción de los fallos de los equipos en servicio, facilitar la programación de las reparaciones, identificación de las deficiencias de mantenimiento y del abuso del operador, además de simplificación de la decisión de compra o reparación de elementos del motor.

RECOMENDACIONES

1. Al llevar a cabo un plan de mantenimiento, es necesario realizar las operaciones indicadas en este a su debido tiempo, utilizando los horarios de operación pertinentes y materiales adicionales como: manuales de reparación, catálogos de piezas, cartas de información de servicio, boletines de servicio obligatorio y recomendatorio, así como directivas de aeronavegabilidad.
2. Contar con personal calificado que tenga conocimiento de los distintos sistemas, parámetros admisibles y componentes que conforman una aeronave, para la realización de un mantenimiento eficaz y preciso.
3. La utilización de un aceite lubricante que cumpla con las especificaciones SAE y la aprobación del fabricante. Ya que estos garantizan el cumplimiento de las exigencias a las que se someten los motores alternativos aeronáuticos.
4. Se debe tomar en cuenta todas las precauciones necesarias a la hora de tomar una muestra de aceite usado para evitar contaminación que podría demostrar resultados erróneos en el análisis de laboratorio.

5. Para asegurar el buen estado del motor, el piloto prudente utilizará el aceite adecuado para el motor y las condiciones de operación, mantendrá una cantidad suficiente, y lo cambiará de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes. Mantendrá un programa de análisis de aceite del motor y será conscientes en lo que los instrumentos del aeroplano indiquen, esto quiere decir que si las presiones y las temperaturas se están ejecutando a niveles significativamente diferente de lo normal, algo malo esta ocurriendo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Albarracin Aguillón, Pedro R. **Tribología y lubricación industrial y automotriz**. 4ª ed. Colombia: s.e; 2007. 986 pp.
2. Cessna. *Progressive care and continuous inspection operations manual*, s.e. Wichita, Kansas, U.S.A; s.e. 1994. 120pp.
3. Lombardo, David A. *Aircraft Systems*. 2ª ed. s.l.: McGraw-Hill Professional, 1998. 304 pp.
4. Totten, George E. *Handbook of lubrication and tribology*. 2ª ed. s.l.: CRC Press, 2006. 1224 pp.
5. http://www.inta.es/doc/serviciosindustria/ensayos/programapasa/inta_t6_1_11a.pdf (16-febrero-2010)
6. <http://www.blackstone-labs.com> (5-mayo-2010)
7. <http://www.astm.org/> (16-julio-2010)

ANEXOS

A. FORMA DE NOTIFICACIÓN DEL PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CUIDADO PROGRESIVO

Figura 19. Forma de notificación del programa de inspección de cuidado progresivo

Progressive Care Inspection Program Notification Form

CESSNA PROGRESSIVE CARE PROGRAM NOTIFICATION

SERVICE FACILITY INFORMATION	OWNER AND AIRCRAFT INFORMATION
NAME _____	NAME _____
ADDRESS _____	ADDRESS _____
CITY & STATE _____	CITY & STATE _____
TELEPHONE _____	A/C MODEL _____ REG. _____
	LINE SERIAL _____ INSTR. _____
	SERIAL _____ SERIAL _____
Date _____	WARRANTY START DATE _____

The aircraft shown above has been placed on the Cessna Progressive Care Program, and all future inspection and servicing requirements will be conducted in accordance with the Operational Schedules detailed in the Cessna Progressive Care Program.

CHECK ONE OF THE BOXES BELOW AND FILL IN THE INFORMATION REQUESTED

This is a new delivery aircraft and the original Airworthiness Certificate _____ (date) is being used to qualify for the Progressive Care Program

To qualify the above aircraft for starting the Progressive Care Program our Annual inspection was conducted _____ at _____ hours time in-service by _____ (Service Organization) _____ (City) _____ (State)

_____ Owner/Operator Signature	_____ Service Manager Signature _____ Service Organization _____ City and State
-----------------------------------	--

PLEASE TYPE

Form D5487-1-13

Fuente: *Cessna Aircraft Company*. Manual de Operaciones Cuidado Progresivo e Inspección continúa pág. 116.

**B. HORARIOS DE OPERACIÓN ENUMERADOS POR
NÚMERO DE PIEZA**

Tabla XIII. Horarios de operaciones para monomotores por número de pieza

SINGLE ENGINE OPERATION SCHEDULES (1 Set)

D5102-2-13	172 Series Operation Schedules	(1977-1986)
D5101-1-13	182/T182 Operation Schedules	(1977-1986)
D5103-2-13	R182/TR182 Operation Schedules	(1978-1986)
D5104-2-13	206/T206 Operation Schedules	(1977-1986)
D5131-13	208 Operation Schedules	
D5105-1-13	210/T210 Operation Schedules	(1985-1986)
D5106-1-13	P210 Operation Schedules	(1985-1986)

Fuente: *Cessna Aircraft Company*. Manual de Operaciones Cuidado Progresivo e Inspección continúa
pág. 114.