



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

**REALIZACIÓN DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO A UN MOTOR CATERPILLAR 3208**

**Gary Said Escobar Orellana**

Asesorado por el Ing. Mario Humberto Roldán Muñoz

Guatemala, agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REALIZACIÓN DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO A UN MOTOR CATERPILLAR 3208**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**GARY SAID ESCOBAR ORELLANA**

ASESORADO POR EL ING. MARIO HUMBERTO ROLDÁN MUÑOZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic Garcia
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Alvaro Antonio Avila Pinzón
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### REALIZACIÓN DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A UN MOTOR CATERPILLAR 3208

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 20 de mayo de 2011.



**Gary Said Escobar Orellana**

Guatemala, 15 de mayo de 2,015.

Ingeniero:  
Julio César Campos Paiz  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Señor Director:

Por este medio me dirijo a usted, para informarle que he llevado a cabo la revisión del trabajo de Graduación del estudiante Gary Said Escobar Orellana, con carné 1997 20371, trabajo que lleva el título **"REALIZACIÓN DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A UN MOTOR CATERPILLAR 3208"**.

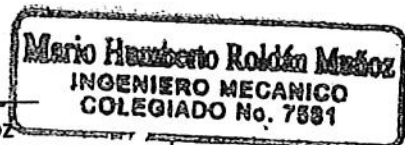
Después de haber realizado todas las correcciones necesarias el trabajo cumple con los requisitos exigidos por la Facultad de Ingeniería por lo que doy mi aprobación para que pueda continuar con los trámites correspondientes.

Agradeciendo su atención me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Mario Humberto Roldán Muñoz  
Colegiado No. 7581  
Asesor de Trabajo de Graduación





**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.173.2015

El Coordinador del Área de 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 **REALIZACIÓN DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A UN MOTOR CATERPILLAR 3208**. Del estudiante **Gary Said Escobar Orellana**, recomienda su aprobación.

*"Id y Enseñad a Todos"*



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

Guatemala, mayo de 2015.



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.245.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria, del trabajo de graduación titulado: **REALIZACIÓN DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A UN MOTOR CATERPILLAR 3208** del Estudiante **Gary Said Escobar Orellana** procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, agosto de 2015



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: **REALIZACIÓN DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A UN MOTOR CATERPILLAR 3208,** presentado por el estudiante universitario: **Gary Said Escobar Orellana,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, 24 de agosto de 2015

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Divino creador del universo, por sus bendiciones derramadas a mi persona.
<b>Mi padre</b>	Liban Escobar, a tu memoria; este logro es especialmente para ti, ya que fuiste el promotor de mi carrera, y sin ti no lo hubiese podido alcanzar. Te amo papá, flores sobre tu tumba.
<b>Mi madre</b>	Blanca Orellana, por su amor, apoyo, paciencia y sacrificio a lo largo de este camino.
<b>Mi esposa</b>	Cindy Mairena, por estar siempre conmigo, en las buenas y en las malas; por comprenderme y por darme ese amor tan especial que la familia no me puede dar.
<b>Mi hijo</b>	Víctor Rafael Escobar Mairena, por su cariño y apoyo, por estar siempre conmigo y ser una persona especial en mi vida.
<b>Mis hermanos</b>	Con mucho cariño, gracias por compartir conmigo momentos especiales y por su apoyo.
<b>Mi suegra</b>	Lesvia Almengor, por el apoyo brindado.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Ing. Carlos Pérez</b>	Por brindarme su apoyo y ayuda en el desarrollo del presente trabajo.
<b>Ing. Mario Roldán</b>	Por la ayuda y tiempo invertido para la revisión de este trabajo de graduación.
<b>La empresa</b>	SIGMA Constructores, S. A., por abrirme las puertas y brindarme toda la información necesaria para la elaboración de este trabajo.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de ser parte de tan prestigiosa casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme una excelente formación académica.
<b>Escuela de Ingeniería Mecánica</b>	Por crear profesionales que impulsan el desarrollo en nuestro país.
<b>Guatemala</b>	Tierra linda que me dio la oportunidad de nacer y estudiar.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN .....	IX
OBJETIVOS .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XIII
1. MANTENIMIENTO .....	1
1.1. Indicadores de falla en la administración de mantenimiento .....	1
1.1.1. Patrones de falla .....	2
1.2. Elementos a utilizar en el mantenimiento y sus definiciones .....	7
1.2.1. Tipos de mantenimiento .....	8
1.2.1.1. Mantenimiento por avería .....	8
1.2.1.2. Mantenimiento predictivo .....	9
1.2.1.3. Mantenimiento preventivo .....	9
1.2.1.4. Mantenimiento correctivo .....	10
1.2.1.5. Mantenimiento proactivo .....	10
1.2.2. Plan de mantenimiento de la maquinaria .....	11
1.2.2.1. Tipos de lubricantes .....	12
1.2.2.1.1. Hidrodinámica .....	13
1.2.2.1.2. Limpieza de lubricantes ....	15
1.2.2.1.3. Grasas lubricantes .....	16
1.2.2.1.4. Método ASTM D-217 .....	16
1.2.2.2. Viscosidad de los lubricantes .....	17

1.3.	Intervalos y criterios para la realización de mantenimiento del 3208.....	26
1.3.1.	Índices clase mundial.....	27
1.3.2.	Análisis de aceite .....	31
1.3.2.1.	Obtención de muestras de aceite para el análisis .....	33
1.3.2.2.	Intervalos de muestreo de aceite .....	34
1.3.2.3.	Asegurar resultados del programa .....	35
2.	FALLAS POR FALTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	39
2.1.	Partes del motor.....	40
2.1.1.	Elementos fijos.....	40
2.1.2.	Elementos móviles .....	41
2.1.3.	Sistemas del motor y su alimentación de aire .....	41
2.1.4.	Sistemas de alimentación diésel.....	42
2.1.4.1.	Tanque de almacenamiento.....	43
2.1.4.2.	Cañerías .....	43
2.1.4.3.	Filtro de combustible .....	43
2.1.4.4.	Bomba de inyección de combustible.....	44
2.1.4.5.	Inyectores .....	45
2.1.5.	Sistema de lubricación .....	45
2.1.6.	Sistema de refrigeración .....	47
2.1.7.	Sistema eléctrico.....	48
2.1.8.	Elementos principales del sistema hidráulico.....	48
2.2.	Humo blanco.....	52
2.3.	Humo negro .....	53
2.4.	Humo azul.....	55
2.5.	Pérdida de fuerza.....	56

3.	SUGERENCIAS PARA CORRECCIÓN DE FALLAS POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	59
3.1.	Metodología.....	59
3.1.1.	Hoja de información.....	60
3.1.2.	Hoja de decisión .....	70
3.1.3.	Plan de mantenimiento .....	73
3.2.	Propuesta de extensión de ciclos de <i>overhaul</i> .....	76
3.3.	Mantenimiento preventivo propuesto.....	79
3.4.	Frecuencia de inspecciones .....	79
3.5.	Evaluación de la propuesta .....	80
3.6.	Estructura organizacional .....	82
3.7.	Estructura funcional.....	83
	CONCLUSIONES.....	87
	RECOMENDACIONES .....	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	91



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Patrón A: la curva de la “bañera”. Alta mortalidad infantil, luego un bajo nivel de falla aleatoria y por último una zona de desgaste .....	3
2.	Patrón B: “el concepto tradicional de falla”. Un nivel constante de falla aleatoria y luego una zona de desgaste .....	3
3.	Patrón C: un incremento constante de la probabilidad condicional de falla.....	3
4.	Patrón D: un rápido incremento de la probabilidad de falla que se convierte luego en un nivel constante de falla aleatoria .....	4
5.	Patrón E: falla aleatoria. No existe relación alguna entre la falla del componente y su probabilidad de falla .....	4
6.	Patrón F: la curva “J” (tradicional) invertida. Alta mortalidad infantil luego un nivel constante de falla aleatoria .....	4
7.	Intervalo F-P.....	6
8.	Conservación de los aceites .....	25
9.	Motor Caterpillar 3208.....	40
10.	Filtros de aire .....	42
11.	Filtros de combustible .....	44
12.	Bomba de inyección de combustible.....	45
13.	Sistema de lubricación .....	46
14.	Sistema de refrigeración .....	47
15.	Bomba de engranajes .....	49
16.	Distribuidores de 4 vías a 2 y 3 posiciones .....	50
17.	Cilindro de doble efecto.....	51



18.	Válvulas de motor.....	52
19.	Filtro de combustible .....	53
20.	Chequeo de nivel de aceite .....	54
21.	Repuestos para el motor .....	56
22.	Boquillas de inyección de combustible.....	57
23.	Diagrama de decisión A .....	71
24.	Diagrama de decisión B .....	72
25.	Histograma de mantenimiento.....	78
26.	Organigrama del Departamento de Mantenimiento.....	83

## TABLAS

I.	Viscosidad – temperatura ambiente para motores.....	21
II.	Viscosidad – temperatura ambiente para el sistema hidráulico .....	22
III.	Viscosidad – temperatura ambiente para transmisión y convertidor .....	23
IV.	Viscosidad – temperatura ambiente para diferenciales.....	24
V.	Parámetros para análisis SOS CAT de aceite .....	33
VI.	Intervalos de muestreo de aceite .....	34
VII.	Revisión y mantenimiento regular .....	37
VIII.	Revisión, causas y efectos de las fallas.....	61
IX.	Rutinas de mantenimiento del sistema de lubricación y enfriamiento .....	74
X.	Rutinas de mantenimiento del sistema de admisión, escape y combustible .....	75
XI.	Técnicas de mantenimiento .....	80
XII.	Manual de funciones del personal del Departamento de mantenimiento.....	84

## GLOSARIO

<b>Aditivos</b>	Elementos naturales o químicos que se añaden a un producto para añadir o potenciar alguna de sus características. Se utilizan en los lubricantes, combustibles, líquidos refrigerantes, entre otros.
<b>Anticongelante</b>	Líquido utilizado en el circuito de refrigeración del motor que desciende el punto de congelación del agua.
<b>Bomba</b>	Artefacto para mover fluidos.
<b>Caudal</b>	Es la cantidad de fluido que pasa por un lugar en una unidad de tiempo.
<b>Cojinete</b>	Es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.
<b>Combustión</b>	Es una reacción química en la que un elemento combustible, se combina con otro (comburente, generalmente oxígeno en forma de O <sub>2</sub> gaseoso), desprendiendo calor y produciendo un óxido.
<b>Drenar</b>	Es cualquier medio por el que el agua contenida en una zona fluye a través de una superficie.

<b>Radiador</b>	Elemento utilizado en los motores refrigerados por líquido para realizar el intercambio de calor entre el líquido refrigerante y la atmósfera.
<b>Rcm</b>	Mantenimiento centrado en confiabilidad.
<b>Refrigerante</b>	Es un producto químico que se emplea para producir refrigeración, y esta a su vez es el proceso de reducción y mantenimiento de la temperatura de un objeto o espacio.
<b>SAE</b>	Sociedad de Ingenieros Automotrices.
<b>TPEF</b>	Tiempo promedio entre fallas.
<b>TPM</b>	Mantenimiento Productivo Total.
<b><i>Overhaul</i></b>	Servicio de mantenimiento realizado a los motores de los generadores al alcanzar las 10000 horas de operación. Este servicio consiste en la reparación de las partes más importantes del motor.
<b>Válvula</b>	Un dispositivo que controla la dirección del fluido o la tasa de flujo.

## RESUMEN

El motor Caterpillar 3208 es un tipo de motor que necesita mantenimiento para tener un óptimo rendimiento, como sucede con cualquier máquina, en el presente estudio se hace énfasis en los tipos de mantenimiento siendo estos: mantenimiento por avería, predictivo, preventivo, correctivo y proactivo; por medio de estos y utilizando los aditivos adecuados se puede dar una vida útil más larga al motor.

Tomando en cuenta que esto dará un mejor rendimiento, así como también tener un presupuesto que no sea tan alto y dando de esta forma en la industria una producción que no podrá estar en paro durante mucho tiempo, teniendo las reparaciones en el tiempo adecuado. Se enumeran los tipos de lubricantes que se pueden utilizar y la viscosidad de ellos; los filtros de combustible a utilizar están diseñados para proteger los inyectores de la suciedad, al igual que el resto de los elementos del sistema de alimentación.

El motor Caterpillar 3208 funciona a base de combustible diésel, el cual está formado por circuito de baja presión que envía el combustible desde el depósito a la bomba de inyección y el circuito de alta presión es el encargado de impulsar el combustible a una presión determinada para ser introducido en las cámaras de combustión, compuesto por la bomba de inyección y de los inyectores.

El sistema de refrigeración al igual que los demás componentes del motor deben mantenerse en óptimas condiciones para que no se dañe este. El sistema eléctrico como bien se sabe es utilizado para proveer de energía

siendo de esta forma como se da el suministro de luz y los indicadores de medición; todo esto funciona por medio de la batería, dando alimentación al motor de arranque y al alternador y a todos los circuitos eléctricos que componen la máquina utilizada.

Se debe tomar en cuenta que hay señales que indican que algo no funciona de la forma adecuada en el motor, entre estas señales se hace mención, de los tipos de humo que se pueden presentar, humo blanco, negro o azul. La detonante es la pérdida de fuerza, que tiene un listado de 8 motivos diferentes que lo pueden producir; mencionando entre estos: mal funcionamiento del sistema de combustible, bombeo de combustible incorrecto, mal funcionamiento del inyector, carbonilla en el agujero del pulverizador, válvula de la aguja adherida, alojamiento flojo entre la válvula de aguja y el cuerpo de la válvula, el filtro de aire está obstruido o la velocidad no es suficiente.

Tomando en cuenta las recomendaciones señaladas y el instructivo del fabricante se tendrá un motor Caterpillar 3208 con una larga vida útil.

# OBJETIVOS

## General

Que el lector conozca y se familiarice con los distintos criterios de servicios de motor para preservar en buen estado un motor Caterpillar 3208 instalado en los distintos tipos de maquinaria pesada.

## Específicos

1. Documentar los intervalos de servicios y cuáles son las actividades a realizar en cada uno de ellos.
2. Identificar el tipo de aceite y filtros a utilizar.
3. Documentar la simbología básica y compuesta para que el lector tenga un mejor panorama de funcionamiento.



## INTRODUCCIÓN

En los motores Caterpillar 3208, es de suma importancia conocer el funcionamiento y operación, así como aumentar su rendimiento, reducir los costos de servicios de mantenimiento para alargar la vida de servicio, basándose en el estudio y sugerencias, las cuales servirán para mejorar las normas de mantenimiento y cumplir con los objetivos para los cuales fue diseñada dicha maquinaria.

Un buen plan de mantenimiento preventivo podrá llegar a ser exitoso, siempre y cuando las personas que estén involucradas en él, tanto operarios como encargados persigan el fin del cumplimiento de las recomendaciones dadas, tanto por el fabricante como el de personas con experiencia.

En el presente trabajo, en el capítulo primero, se realiza una descripción general de lo que significa mantenimiento en los diferentes campos.

El capítulo segundo contiene las partes esenciales de un motor además de las falla por falta de mantenimiento; los cual es necesario para entender por qué es de suma importancia el mantenimiento preventivo en los motores Caterpillar 3208.

En el capítulo final se realizan las sugerencias consideradas necesarias para la planificación y ejecución de un plan preventivo de mantenimiento, con lo cual se pueden minimizar costos y aumentar la vida útil de los motores Caterpillar 3208.





# **1. MANTENIMIENTO**

## **1.1. Indicadores de falla en la administración del mantenimiento**

Las fábricas altamente mecanizadas, los procesos de poca tolerancia o las averías de una máquina, pueden provocar el paro de los empleados y las instalaciones, la pérdida de clientes y de renombre comercial, y la transformación de los beneficios en pérdidas. En una oficina, un fallo en el generador en un sistema de aire acondicionado o en un computador, puede provocar la interrupción de las operaciones. Una buena estrategia de mantenimiento y de fiabilidad protege el rendimiento y la inversión de la empresa.

El objetivo del mantenimiento y de la fiabilidad es mantener la capacidad del sistema mientras se controlan los costos. Un buen sistema de mantenimiento reduce la variabilidad del sistema. Los sistemas se deben diseñar y mantener para alcanzar los estándares de rendimiento y calidad. El mantenimiento incluye todas las actividades involucradas en mantener un equipo para que funcione correctamente. La fiabilidad es la probabilidad de que una parte de la máquina o del producto funcione adecuadamente en un momento determinado y bajo condiciones establecidas.

Existen dos tipos de mantenimiento: el preventivo y el mantenimiento por avería. El mantenimiento preventivo implica inspecciones rutinarias y de servicio, así como el mantenimiento de las instalaciones para reparar los bienes y prevenir los fallos.

Estas actividades están encaminadas a construir un sistema que encuentre los fallos potenciales y que modifique o repare para prevenir los fallos. El mantenimiento preventivo es mucho más que mantener en funcionamiento la maquinaria y el equipo. También implica el diseño de sistemas técnicos y humanos que mantendrán funcionando el proceso productivo dentro de la tolerancia que permite que el sistema rinda. El énfasis en el mantenimiento preventivo se enfoca en comprender el proceso y mantenerlo en funcionamiento sin interrupciones. El mantenimiento por avería se lleva a cabo cuando el equipo falla y se tiene que reparar debido a una emergencia o una prioridad.

El mantenimiento preventivo implica que se puede determinar en qué momento necesita el sistema un servicio o una reparación. Por lo tanto, para llevar a cabo un mantenimiento preventivo es necesario saber cuándo precisa el sistema un servicio o cuándo está a punto de fallar. Los fallos se producen en algún momento de la vida del producto.<sup>1</sup>

### **1.1.1. Patrones de falla**

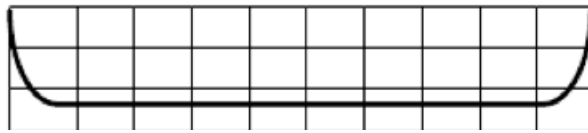
Las nuevas investigaciones han demostrado que a medida que los equipos y sistemas son cada vez más complejos, hay menos relación entre la edad de los equipos y la probabilidad de que estos fallen, por cuanto los equipos y sistemas en la actualidad tienen cada vez más componentes electrónicos y software, los cuales no están sujetos a desgaste por fricción, como es el caso de la maquinaria rotatoria, tradicional agente de fallas. Por lo anterior, en la actualidad no solo se identifica el modelo de la “tina de baño” (que asocia edad con tasa de fallas), sino también se han descubierto otros

---

<sup>1</sup> HAZER, Jay; BARRY, Render. *Dirección de la producción y de las operaciones: decisiones tácticas*. 2007. p. 62.

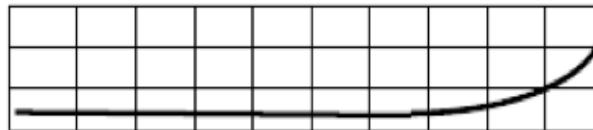
cinco patrones o modelos diferentes de comportamiento. A continuación se muestra los patrones de fallas descritos:

Figura 1. **Patrón A: la curva de la “bañera”. Alta mortalidad infantil, luego un bajo nivel de falla aleatoria y por último una zona de desgaste**



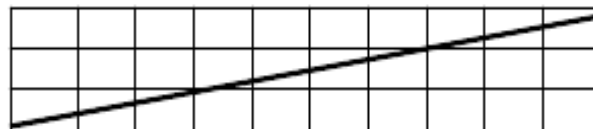
Fuente: NAHMIAS, Steven. *Análisis de la producción y las operaciones*. p. 75.

Figura 2. **Patrón B: “el concepto tradicional de falla”. Un nivel constante de falla aleatoria y luego una zona de desgaste**



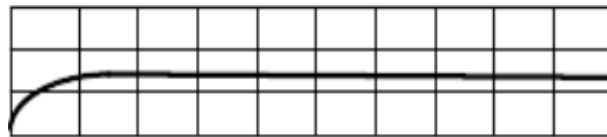
Fuente: NAHMIAS, Steven. *Análisis de la producción y las operaciones*. p. 75.

Figura 3. **Patrón C: un incremento constante de la probabilidad condicional de falla**



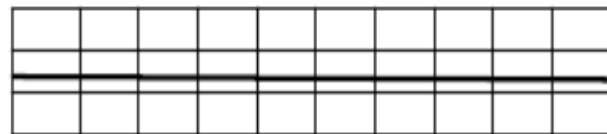
Fuente: NAHMIAS, Steven. *Análisis de la producción y las operaciones*. p. 75.

Figura 4. **Patrón D: un rápido incremento de la probabilidad de falla que se convierte luego en un nivel constante de falla aleatoria**



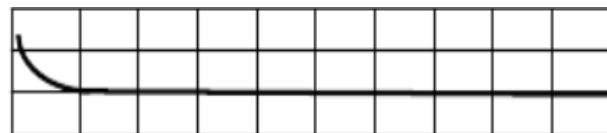
Fuente NAHMIAS, Steven. *Análisis de la producción y las operaciones*. p. 76.

Figura 5. **Patrón E: falla aleatoria. No existe relación alguna entre la falla del componente y su probabilidad de falla**



Fuente: NAHMIAS, Steven. *Análisis de la producción y las operaciones*. p. 76

Figura 6. **Patrón F: la curva “J” (tradicional) invertida. Alta mortalidad infantil luego un nivel constante de falla aleatoria**



Fuente: NAHMIAS, Steven. *Análisis de la producción y las operaciones*. p. 76.

En general, estos modelos o patrones dependen de la complejidad y grado de automatización de los elementos. De esta forma, cuanto más complejos sean, es más probable que presenten fallas como los descritos en los modelos

de nivel constante de falla aleatoria y la curva J. Esto permite concluir, tal como se mencionó anteriormente, que actualmente ya no es más válida la conexión directa entre confiabilidad y edad operacional.

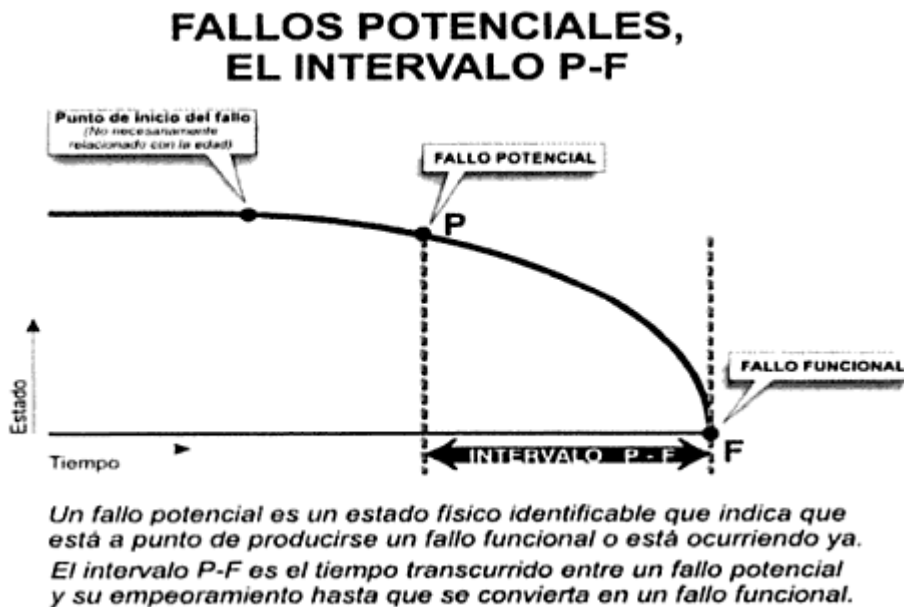
Este hecho explica que durante mucho tiempo era una realidad que cuanto más frecuentemente se revisaba una pieza componente o accesorio, existía una menor probabilidad de que esta fallara súbitamente; la realidad actual es que, a no ser que exista un modelo de falla dominante, los límites de edad influyen muy poco en la confiabilidad de un equipo complejo.

De esta manera, las intervenciones programadas a los equipos con demasiada frecuencia, pueden incluso aumentar las probabilidad de ocurrencia de fallas, por medio de la introducción de la mortalidad infantil dentro de sistemas que interviniendo con una menor frecuencia, mostrarían parámetros de tasas de falla menores.

Aunque muchos modos de falla no se relacionan con la edad, la mayoría de ellos da algún tipo de advertencia de que están en proceso de ocurrir, o que están por ocurrir. Si puede encontrarse alguna evidencia de que el equipo está en las últimas instancias de la falla, podría ser posible actuar para prevenir que falle completamente y evitar consecuencias.

La figura 7 ilustra lo que sucede en las etapas finales de la falla, cómo se deteriora al punto en que puede ser detectada (punto "P") y luego, si no es detectada y corregida, continúa deteriorándose, generalmente a una tasa acelerada hasta que llega al punto de falla funcional ("F").

Figura 7. Intervalo F-P



Fuente: GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier. *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. p. 36.

Además de la falla potencial en sí misma, se necesita considerar la cantidad de tiempo (por el número de ciclos de esfuerzo) que transcurre entre el punto en que ocurre una falla potencial; en otras palabras, el punto en el que se hace detectable y el punto en el que se deteriora llegando a la falla funcional. Este intervalo se conoce como intervalo “P-F”.

El intervalo “P-F” indica con qué frecuencia deben realizarse las tareas a condición. Si se requiere detectar la falla potencial antes de que se convierta en falla funcional, el intervalo entre las revisiones debe ser menor al intervalo “P-F”.

Debido a lo anterior es cuestionable: ¿son los motores en cuestión, equipos de alta complejidad y que obedecen un patrón de falla no definido?, si

bien no presentan alta complejidad, la variabilidad está mayormente definida por el tipo de mantenimiento llevado a cabo y su probabilidad de falla.

La filosofía bajo la cual trabaja el investigador es dar con el momento indicado, ni antes ni después, para realizar el cambio de la pieza defectuosa, sin perjudicar la maquinaria en estudio.

## **1.2. Elementos a utilizar en el mantenimiento y sus definiciones**

El mantenimiento es la serie de tareas o trabajos que hay que ejecutar en algún equipo o planta, a fin de conservarlo eficientemente para que pueda brindar el servicio para el cual fue creado.

Para el Departamento de Maquinaria, el objetivo del mantenimiento es la conservación, ante todo del servicio que están suministrando las máquinas; este es el punto esencial y no como erróneamente se ha creído, que el mantenimiento está obligado a la conservación de tales elementos. El servicio es lo importante y no la maquinaria o equipo que los proporciona, por lo tanto, se deben de equilibrar en las labores de mantenimiento los factores esenciales siguientes: calidad económica del servicio, duración adecuada del equipo y costos mínimos de mantenimiento.

La adquisición de equipo nuevo acarrea costos elevados, pues inicialmente su depreciación es muy acelerada, aunque se compensa, ya que necesita menos gastos de mantenimiento y la expectativa de falla es menor.

Conforme transcurre el tiempo, el equipo se va deteriorando y sus componentes van sufriendo desgastes, que necesariamente obligan a un aumento de las frecuencias de fallas de servicio y los costos de mantenimiento se incrementan; además, el cambio de repuestos es más costoso debido a la



dificultad de obtenerlos, por no tener existencia en las bodegas y que el fabricante no garantice la existencia de estos por periodos muy grandes. Por otro lado, un aumento en la frecuencia de fallas del servicio causa pérdidas en el ingreso que origina la prestación del mismo; de tal manera que estos costos aumentan en forma considerable, hasta ser prácticamente prohibitivos al final de la vida de la maquinaria.

### **1.2.1. Tipos de mantenimiento**

Como es del conocimiento, la función del mantenimiento es prevenir por todos los medios necesarios y así poder conservar el equipo; es conveniente poder hacer una clasificación de los diversos tipos de mantenimiento que a base de experiencias pasadas y presentes, se han podido catalogar en el medio como eficiente, seguro y económico.

#### **1.2.1.1. Mantenimiento por avería**

Es el tipo de mantenimiento que se sigue con frecuencia por la falta de una organización. El mantenimiento ha sido adoptado por la similitud que su actuación tiene con la de un médico, cuya intervención se produce cuando el individuo ha caído enfermo y necesita de los medios necesarios para curarlo. De la misma manera, la reparación de averías es una reacción que se produce cuando la máquina o equipo ha dejado de funcionar.

Este permite que el equipo pueda seguir trabajando hasta que ya no logre desempeñar su función normal y el operador se vea obligado a llamar al jefe de maquinaria para que pueda rectificar el problema o defecto.

Su función inicia al presentarse la avería, es decir, que se diagnostica y de acuerdo con los resultados del mismo, se planean actividades, recursos humanos, herramientas, repuestos y materiales para iniciar la reparación.

#### **1.2.1.2. Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo que está basado en la determinación del estado de la máquina en operación. El concepto se basa en que las máquinas darán un tipo de aviso antes de que fallen y este mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones.

Se trata de realizar ensayos no destructivos, como análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, medida de vibraciones, medición de temperaturas, termografías, etc.

El mantenimiento predictivo permite que se tomen decisiones antes de que ocurra el fallo: cambiar o reparar la máquina en una parada cercana, detectar cambios anormales en las condiciones del equipo y subsanarlos, etc.

#### **1.2.1.3. Mantenimiento preventivo**

Al mantenimiento preventivo se le puede definir como la conservación planeada, y llega a tener como función el conocer sistemáticamente el estado de las máquinas y equipo para programar, en los momentos más oportunos y de menos impacto, en la tarea que debe realizar. El mantenimiento preventivo se refiere a que no se debe esperar a que las máquinas fallen para hacerle una reparación, sino que se programen los recambios con el tiempo necesario antes de que fallen; esto se puede lograr conociendo las especificaciones técnicas de los equipos a través de los manuales de los mismos.

El objetivo de este mantenimiento no se circunscribe a lo que es adecuado para el equipo, sino que su meta es considerar el trabajo. Se le da servicio a la maquinaria y equipo, considerando el efecto sobre la producción, seguridad personal y del equipo mismo. Se dice entonces que el mantenimiento preventivo se ha utilizado para indicar un sistema de programación, en sus beneficios secundarios.

#### **1.2.1.4. Mantenimiento correctivo**

Este tipo de mantenimiento se basa en ejecutar las correcciones menores a la maquinaria para adaptarla mejor al medio. Son reparaciones serias que requieren una revisión completa o reconstrucción, ya que a veces es mejor realizar algunas correcciones a la maquinaria para reducir los costos, tanto de operación, como de servicio y no prolongarlos.

Estas correcciones requieren de personas muy especializadas y bajo una rigurosa supervisión de ingenieros, así como del distribuidor, y guiarse con el manual del fabricante, para no perder la potencia de la máquina o perjudicar su funcionamiento. También se puede dar al momento de realizar una rutina del mantenimiento preventivo.

#### **1.2.1.5. Mantenimiento proactivo**

Es el tipo de mantenimiento más adelantado, ya que en él se emplea herramienta sofisticada para el diagnóstico de las posibles averías; es similar al mantenimiento predictivo, solo que de una manera más completa y con el uso de alta tecnología, ya sea por medio de rayos x, o por el uso de material electrónico, para detectar fisuras, desgaste de piezas indispensables para el funcionamiento de la maquinaria, las cuales no se podrían detectar por simple

inspección. Es de mucha utilidad para un programa de mantenimiento preventivo, aunque por el alto costo de las herramientas de alta tecnología, solamente es utilizado por empresas grandes, que al aumentar la producción de dicha herramienta y al bajar los precios en un futuro, podría ser de uso más común.

### **1.2.2. Plan de mantenimiento de la maquinaria**

Un programa de mantenimiento preventivo tienen como objetivo mantener constantemente en perfecto estado de funcionamiento la maquinaria, en este caso en particular el de el motor Caterpillar 3208, para lograr su máximo rendimiento y con un mínimo costo. Ahora bien, existe cierta confusión, respecto del alcance del mantenimiento preventivo. Algunos creen que este se reduce a unas inspecciones periódicas; sin embargo, este mantenimiento abarca no solo las actividades de eliminación de averías o de comportamiento anormal, sino la normalización, disminución de costos de operación e incremento de la vida útil de los motores.

Un buen plan de mantenimiento preventivo provee una guía detallada de cada tipo de equipo, descomponiendo la máquina entera en sus diversos sistemas y componentes; es decir, que debe contar con una gama de manuales o catálogos para poderlo realizar.

Los registros de la maquinaria deben llevarse fielmente. En todo plan de mantenimiento, debe producirse un registro consecutivo de todo el trabajo mecánico y de servicio hecho en una máquina o equipo. Estos deben ser fáciles de llevar, fáciles de leer, y que puedan estar siempre disponibles y al día.

### **1.2.2.1. Tipos de lubricantes**

La lubricación es la acción encaminada a reducir la fricción o rozamiento y el desgaste superficial entre dos piezas que se mueven. El objetivo principal de un aceite lubricante es, como su nombre lo indica, lubricar; esto significa suministrar una superficie suave y deslizante para trabajar el desgaste y la corrosión de las piezas en movimiento. Entre otras funciones importantes de un aceite, se necesita que pueda limpiar, sellar y dar enfriamiento o refrigeración.

El aceite da la lubricación esparciendo una película fuerte, suave y delgada por sobre todas las superficies que tienen movimiento. Las piezas metálicas realmente no están en contacto una con otra, sino que se deslizan sobre una capa de aceite que existe entre pieza y pieza. Para efectuar este trabajo, el aceite debe de fluir libremente sobre las superficies que protege. También debe de tener suficiente cuerpo y grosor, para no ser desplazado y proteger las piezas metálicas contra el desgaste de la fricción.

El aceite debe de funcionar en piezas que puedan estar frías en el inicio del movimiento, temperaturas menores a 0 °F (-17,7 °C) y tienen que sostener su buen funcionamiento cuando el motor, servo transmisión o cualquier elemento alcanza temperaturas de 350 °F o 176,67 °C.

Es de gran importancia la selección del aceite apropiado para el trabajo. La selección del aceite lubricante apropiado se debe basar en la aplicación en la que se va a utilizar y la cualidad disponible; por ejemplo, la diferencia entre el motor diésel que normalmente funciona a velocidades más bajas, pero a temperaturas más altas que los motores a gasolina, estas condiciones llevan a la oxidación del aceite, la formación de las incrustaciones y la corrosión de los metales de los cojinetes.

Se debe tomar en cuenta también el aditivo, ya que el rendimiento depende del aceite base y de los aditivos, los cuales varían según el ambiente donde se utilizan.

#### **1.2.2.1.1. Hidrodinámica**

Cada vez que se enciende el motor, el lubricante debe circular rápidamente y lubricar todas las partes móviles para prevenir el contacto metal-metal, que podría ocasionar desgaste, ralladuras o incluso soldadura (fusión) de las partes del motor. La película del lubricante sobre los cojinetes y las partes de los cilindros son susceptibles al movimiento, a la presión y al suministro del lubricante. Tales películas deben reponerse continuamente, a través de un flujo adecuado y mediante una apropiada distribución del lubricante.

Cuando el lubricante alcanza las partes móviles, su función es lubricar y prevenir el desgaste. Se cuenta con que el lubricante establezca y constantemente reponga una película completa, la cual es llamada lubricación hidrodinámica.

La lubricación hidrodinámica ocurre con las superficies en movimiento. Estas se encuentran continuamente separadas por una película de aceite. El factor determinante en mantener esta separación de las partes es la viscosidad del aceite a la temperatura de operación. Se tiene que mantener la viscosidad lo suficientemente alta, para prevenir el contacto metal-metal, debido a que los metales no hacen contacto en una lubricación de película completa; el desgaste es insignificante, a no ser que las partes separadas se rayen con partículas más gruesas que el espesor de la misma película de aceite.

Los cojinetes del cigüeñal, así como los de las bielas, el del árbol de levas y los pasadores de pistón, normalmente operan con lubricación hidrodinámica.

Es casi imposible mantener una película continua de lubricante entre las partes móviles, y ocurre un contacto intermitente de metal-metal entre los picos de las superficies deslizantes. Los ingenieros de lubricación llaman a esto lubricación límite. Bajo ciertas circunstancias, la carga se soporta solo en forma parcial por la película de aceite, la cual se rompe y da un significativo contacto metal-metal.

Cuando esto ocurre, la fricción generada entre las superficies puede producir suficiente calor para causar que uno o ambos metales en contacto se fundan y produzcan una soldadura entre ellos. A menos que se contrarreste a través de un adecuado tratamiento del aceite con aditivos, el resultado es, o bien un inmediato agarrotamiento, o un desgaste precipitado de las superficies.

La condición de lubricación límite siempre existe durante el arranque del motor y frecuentemente durante la operación de un motor nuevo o reconstruido. La lubricación límite también se encuentra alrededor del anillo del tope del pistón, donde el suministro de aceite es limitado, las temperaturas son altas y es donde ocurre la inversión del movimiento del pistón.

Es posible llegar a desarrollar condiciones de extrema presión entre partes altamente cargadas, debido a una falta de lubricación, juego inadecuado, extremo calor y en algunos casos como resultado del uso de un lubricante de tipo o grado de viscosidad incorrecto para las condiciones de operación del motor.

En los motores modernos, en el tren de válvulas, el contacto entre la leva y el tanque abreválvula, es el sitio donde se opera bajo las condiciones de mayor extrema presión, debido a que en dichas partes se producen grandes cargas localizadas, las cuales pueden llegar hasta 2000 PSI, y son varias veces más grandes que las cargas sobre las conchas de biela o los cojinetes de bancada.

#### **1.2.2.1.2. Limpieza de lubricantes**

En la operación normal del motor se pueden llegar a generar distintos contaminantes, desde partículas microscópicas de metal a productos químicos corrosivos, Si el aceite del motor no se mantiene limpio mediante el filtrado, estos contaminantes entran en el motor con el aceite.

Los filtros de aceite son diseñados para retener esas peligrosas partículas fuera del sistema de lubricación. Si un filtro se utiliza por más tiempo que el debido se puede obstruir y un filtro obstruido hará que la válvula de derivación se abra y permita que entre el aceite sin filtrar, y así cualquier partícula extraña que haya en el aceite llegara directamente al motor. Si una válvula de derivación queda abierta, las partículas atrapadas anteriormente por el filtro también pueden llegar a entrar en el motor.

Cuando se llega a obstruir el filtro, puede producir también la deformación del elemento de filtro, que ocurre cuando hay un aumento en la diferencia de presión entre la parte externa e interna de los elementos de filtro. La deformación puede llegar a romper o rasgar el papel y permitir que los residuos fluyan al motor y deterioren sus componentes.



#### **1.2.2.1.3. Grasas lubricantes**

La capacidad de lubricación de una grasa depende del aceite base y del espesante, por lo tanto, sus propiedades van a determinar de una y de otra forma esta capacidad; a continuación se darán algunas de estas propiedades.

La consistencia es una medida de la dureza relativa de la grasa; se refiere al esfuerzo cortante o cizallamiento que toma lugar cuando una capa de grasa se mueve en relación con otra; esto ocurre siempre que una grasa es manipulada, agitada, o bien sometida a movimiento como en un cojinete. En relación con la consistencia de la grasa, por lo general, su variación depende del tipo y la cantidad de espesante en la grasa y del grado de cizallamiento. Normalmente las grasas se ablandan con el trabajo, es decir, pierden sus consistencias; esta propiedad se determina por la prueba ASTM D-217.

#### **1.2.2.1.4. Método ASTM D-217**

Con esta prueba, se puede medir la profundidad (en décimas de mm), a la cual un cono de metal penetra en una muestra de grasa, después de una caída libre a determinada temperatura. (25 °C).

La penetración “trabajada” da una indicación más exacta de la consistencia de la grasa durante el servicio. En el laboratorio este ensayo se efectúa en un equipo especial, en donde se somete la grasa a una agitación interna por un cierto tiempo (60 golpes de doble carrera), antes de la prueba de penetración con el cono de metal. Una alta penetración indica una grasa de menor consistencia, ya que el cono penetra más en grasas blandas. Cuando se dispone de pequeñas cantidades de muestra, se debe utilizar el método ASTM D-1403, el cual requiere de conos de un cuarto y media escala.

Las características de flujo de una grasa son de gran importancia en la selección de una grasa para servicio determinado. Estas características son controladas por la viscosidad del aceite lubricante y el tipo, y la cantidad de espesante utilizada en la elaboración de la grasa.

Las grasas son, por su naturaleza, un material no newtoniano, y son caracterizadas por el hecho que el flujo no es iniciado hasta que se ha alcanzado un mínimo de esfuerzo requerido. Incrementos en las tensiones de cizallamiento o presiones producen incrementos desproporcionados en el flujo, esto es, que en la medida en que aumenta la tasa de cizallamiento, la viscosidad disminuye.

#### **1.2.2.2. Viscosidad de los lubricantes**

La viscosidad de un líquido es su resistencia a fluir, es decir, que el roce de dos elementos con algún líquido, opone una resistencia al movimiento uniforme de su masa.

Los líquidos espesos como las melazas, tienen relativamente alta viscosidad, y no fluyen muy fácilmente. Los líquidos más delgados como el agua, fluyen muy fácilmente y tiene viscosidades más bajas. Los aceites lubricantes están disponibles en una gran variedad de viscosidades.

La viscosidad de un líquido determinado no es constante, pues varía con la temperatura. A medida que un aceite se calienta, su viscosidad desciende y se vuelve más delgado. Lo contrario ocurre cuando se reduce la temperatura, el aceite se vuelve más espeso y no fluirá tan rápidamente. Este es un factor a tomar en cuenta para la selección del aceite a usar.

Para una aplicación dada, un aceite más liviano debe ser indicado para temperaturas ambientes más bajas, mientras un aceite más pesado es más apropiado para temperaturas ambiente más altas.

La velocidad con que cambia la viscosidad de un aceite cuando varía la temperatura se ha determinado a través de la comparación con aceite de susceptibilidades térmicas muy pequeñas y muy grandes. Esta comparación da origen al índice de viscosidad, que es un número indicativo de la velocidad con que cambia la viscosidad con la temperatura.

El término viscosidad aparente se usa para describir la viscosidad observada de estos materiales. Dado que la viscosidad varía en ambos, temperatura y tasa de cizallamiento, esta debe ser reportada a las condiciones específicas a las que fue medida.

El método ASTM D-1092 permite determinar la viscosidad aparente de una grasa. En este método, se usa una muestra de grasa, que es forzada a pasar a través de una serie de ocho tubos capilares mediante un pistón flotante, la cual forma parte de un sistema hidráulico presurizado por una bomba de engranaje de volumen constante. Durante la prueba, se registra la presión en el sistema hidráulico.

El equipo está diseñado, de manera tal que las determinaciones pueden ser efectuadas a temperaturas entre  $-54^{\circ}$  y  $38^{\circ}$ . Los resultados se representan en coordenadas viscosidad aparente versus tasa de cizallamiento a temperatura constante; también se representan como viscosidad aparente versus temperatura a una tasa de cizallamiento constante.

Los resultados pueden ser relacionados con la facilidad de manejo y distribución de la grasa, así como con presiones o torsión de operación en los mecanismos lubricados por estas grasas.

El aparato utilizado en este método no puede ser aplicado para mediciones a temperaturas elevadas. A estas temperaturas, las precisiones desarrolladas con la mayoría de las grasas son muy bajas para ser medidas con precisión. Para determinar la viscosidad aparente a temperaturas elevadas, se desarrolló el método ASTM D-3232.

- **Bombeabilidad:** la bombeabilidad de las grasas que tienen la misma penetración trabajada, puede ser ampliamente diferente en un sistema centralizado lubricado por grasa. Esto resulta si diferentes tipos y cantidad de espesantes están involucrados o la viscosidad de los aceites básicos a la temperatura de bombeo, son diferentes. En general, la viscosidad aparente de una serie de grasas (con el mismo espesante y aceite básico) disminuye en proporción a la cantidad de espesante presente, sea cual fuere el grado de cizallamiento. Por otra parte, usar un fluido lubricante con una viscosidad más baja mejora directamente la bombeabilidad.

El límite de la viscosidad aparente, para obtener una buena bombeabilidad, puede depender del tamaño de las líneas del sistema, la temperatura a la cual es expuesta, y la presión del bombeo disponible. Para una distribución óptima, es importante que se use el tipo y grado de la grasa que proporciona un funcionamiento óptimo en el sistema distribuidor. Sin embargo, debería usarse la grasa más adecuada para lubricar las partes móviles de los equipos, y el sistema distribuidor debería diseñarse de acuerdo con el producto que maneja.

Especificaciones de los lubricantes: dentro de las especificaciones de los aceites hidráulicos, existen algunas abreviaturas que satisfacen la nomenclatura de la norma SAE J754 (Sociedad de Ingenieros Automotrices). Las especificaciones MIL son especificaciones militares de los Estados Unidos. La CCMC se refiere a una organización de fabricantes europeos, responsables por la definición de especificaciones de rendimiento de aceites de motor.

- Las grasas las clasifica el NLGI (Instituto Nacional de Grasas y Lubricantes), según la Norma ASTM D217-68 de las características de penetración a las que se les asigna un número de consistencia.
- Aceite del motor: el aceite para los motores diésel debe de ser un aceite con una alta cualidad de dispersión, la suficiente alcalinidad y un nivel más bajo de ceniza, para satisfacer los requisitos de desempeño de los motores. En el aceite del motor es necesario utilizar un anticorrosivo para motor diésel, que contenga los aditivos necesarios para evitar la formación de sedimentos o de los depósitos de goma; además, el mismo debe llenar las especificaciones del Instituto Americano de Petróleo API, para servicio DS, ya que estos contienen los aditivos que promueven la limpieza general dentro del motor y evitan la formación de sedimentos, depósitos carbonizados y de barniz, sobre o dentro de las piezas del motor.

En los aceites del tipo detergente, se produce un obscurecimiento después de poco tiempo de servicio. Este obscurecimiento se debe a las partículas diminutas de carbón suspendidas en el aceite, y una de las funciones principales de aceite tipo detergente es mantener las

partículas de carbón en suspenso, por lo tanto, el obscurecimiento del aceite es de una manera normal y no motivo de preocupación.

Tabla I. **Viscosidad – temperatura ambiente para motores**

<b>Viscosidad</b>	<b>Temperatura ambiente</b>
SAE 10W	-20 °C A 10 °C (-4 °F A 50 °F)
SAE 10W30	-20 °C A 40 °C (-4 °F A 104 °F)
SAE 15W40	-15 °C A 50 °C (-5 °F A 122 °F)
SAE 30	0 °C A 40 °C (32 °F A 104 °F)
SAE 40	5 °C A 50 °C (41 °F A 122 °F)

Fuente: elaboración propia.

Aunque los suministradores de aceite reconocen la importancia de las cualidades que requieren para el uso del equipo, y colaboran plenamente para asegurar que se empleen solamente aquellos aceites, que llenen los requisitos indispensables para cada maquinaria; el abastecedor es el responsable directo de los resultados obtenidos en este producto, el funcionamiento adecuado y el mantenimiento del motor, que son necesarios para obtener los resultados deseados del lubricante. Aceites multigrados son los que obtienen mejor resultado en cualquier maquinaria o motor de combustión interna.

- El aceite hidráulico: tiene que ser hecho con un conjunto de balanceado de aditivos, que incluyan detergentes, inhibidores antiherrumbre, antidesgaste y antiespuma, para poder proporcionar una máxima protección contra el desgaste mecánico y corrosivo en todos los sistemas hidráulicos y de transmisiones hidrostáticas. El aceite debe ser compatible en todas las proporciones con el aceite SAE10W, para el cárter del motor, de calidad similar con los niveles detergentes que prevalecen en todo el sistema de lubricación de la maquinaria; además

no es recomendable que contenga sustancias aditivas, para mejorar o aumentar su índice de viscosidad. El aceite debe tener revisiones periódicas, para evitar la contaminación de agua, suciedad, sedimentos, y de materias extrañas, y no debe ser corrosivo o dañino para cualquiera de los materiales comúnmente utilizados en los sistemas hidráulicos.

Puede utilizarse un aceite SAE10 para el cárter del motor clasificado para el servicio MM, MS, DG, DM o DS. No se recomiendan aceites de viscosidad múltiple tales como el SAE 10W30. Para un funcionamiento a temperaturas ambientes más bajas de -10 °F (12.2 °C), siempre es recomendable diluirlo con el 20 % de kerosene; para un funcionamiento continuo en temperaturas de 32 °F (0 °C) o mayores, debe drenarse el aceite diluido y llenar el sistema con aceite SAE10W.

Tabla II. **Viscosidad – temperatura ambiente para el sistema hidráulico**

<b>Viscosidad</b>	<b>Temperatura ambiente</b>
SAE 10W30	-20 °C A 40 °C (-4 °F A 104 °F)
SAE 30	10 °C A 50 °C (50 °F A 122 °F)

Fuente: elaboración propia.

En la actualidad existe una clasificación comercial para los aceites, ya que el fabricante es el que da las especificaciones y características. No siempre se puede comprar el aceite que el fabricante recomienda, así que se tiene que comprar uno similar a sus especificaciones. No se recomienda ninguna marca específica de aceite lubricante, pero es conveniente utilizar productos que reúnan las especificaciones y clasificaciones de viscosidad antes mencionadas, y que sean

recomendados por la compañía de aceites más conocidos en el mercado nacional, tal como Shell, Texaco, entre otros.

- El aceite para transmisión y convertidor: El aceite debe de estar balanceado para proporcionar una máxima protección contra la fricción en servo transmisiones, y para eliminar el ruido de los sistemas de frenos enfriados por aceite. En los componentes de trasmisión y el convertidor, son recomendables los aceites lubricantes SAE 10W, los cuales cumplan las especificaciones para el tipo C-1 de aceites para las trasmisiones automáticas y la clasificación MS del anteriormente mencionado API (Instituto Americano de Petróleo), y no es recomendable el aceite para servicio DS o el de serie 3. Cuando la temperatura del ambiente es menor de los 100 °F (-23.33 °C), es aconsejable utilizar un aceite lubricante tipo A, según las condiciones de operación que así lo exijan.

Tabla III. **Viscosidad – temperatura ambiente para transmisión y convertidor**

<b>Viscosidad</b>	<b>Temperatura ambiente</b>
SAE 10W	-20 °C A 10 °C (-4 °F A 50 °F)
SAE 10W30	-20 °C A 40 °C (-4 °F A 104 °F)
SAE 15W40	-15 °C A 50 °C (-5 °F A 122 °F)
SAE 30	0 °C A 40 °C (32 °F A 104 °F)
SAE 40	5 °C A 50 °C (41 °F A 122 °F)

Fuente: elaboración propia.

- El aceite para diferenciales: es aconsejable el uso de un aceite lubricante, que provea las características para una mejor tracción de los engranajes, es decir, que se debe evitar un mal funcionamiento de los mismos y que a la vez los proteja de cualquier desgarradura, siempre



teniendo en cuenta la temperatura del ambiente de trabajo, la cual es indispensable en la selección del mismo; es por eso que se utiliza un aceite lubricante de uso múltiple del tipo de protección de extrema presión EP con las viscosidades que a continuación se presentan.

Tabla IV. **Viscosidad – temperatura ambiente para diferenciales**

<b>Viscosidad</b>	<b>Temperatura ambiente</b>
SAE 140	Sobre los 32 °F 0 °C)
SAE 90	Debajo de los 32 °F (0 °C)

Fuente: elaboración propia.

- El aceite para los cubos planetarios: debe de proporcionar una máxima protección contra el rallado y picaduras de los dientes de engranajes y de los cojinetes. Los planetarios utilizan un aceite lubricante similar al de los diferenciales, ya que al igual que el anterior, existen también engranajes; por lo que es aconsejable el uso de un aceite lubricante de usos múltiples EP, ya sea utilizado en la época de invierno o verano el SAE 90, ya que este aceite protegerá más a los mismos.
- Recomendaciones de conservación: en la conservación de los lubricantes (figura 8), se maneja una serie de etapas como: la descarga, almacenamiento, transferencia, distribución, control y la aplicación. En cualquier institución o empresa constructora es aconsejable que la compra de lubricantes se haga en barriles, por tener estos precios más favorables; ocupan menos espacio en el almacenamiento, y permite tener una reserva entre suministros y menos papeleo administrativo.

En la actualidad, la descarga de estos barriles se efectúa desde considerables alturas, por ejemplo, la plataforma de un camión. Esto aparentemente no ocasiona ningún daño serio, pero en realidad permite que se forme alguna fisura en los depósitos, lo cual permitirá posteriormente que el aceite sea contaminado con la humedad del ambiente y se condense agua. En todo caso, es recomendable siempre amortiguar el golpe de los barriles al descargarlos, colocándoles neumáticos viejos o haciendo una rampa improvisada.

El almacenamiento e intemperie también debe de hacerse con mucho cuidado, cuando este sea absolutamente indispensable, ya que a pesar de estar los barriles sellados, estos respiran por la expansión natural de los lubricantes a altas temperaturas y se contraen en volumen a bajas temperaturas. Se recomienda almacenarlos en forma horizontal con las tapaderas a la misma altura, para evitar que el barril respire y entre suciedad en ellos.

Figura 8. **Conservación de los aceites**



Fuente: Google. <http://www.confiableidad.net>. Consulta febrero de 2015.

En la trabajos de las zonas viales, los barriles son almacenados dentro de una bodega; se cuenta con una bomba mecánica para extraer el aceite de los mismos, pero en fallo de esta, puede combinarse el almacenamiento con el suministro instalando una llave de chorro de  $\frac{3}{4}$  en el orificio pequeño del barril, para distribuir el producto de manera fácil; también permite almacenar los barriles en forma horizontal, uno sobre otro, apilados en tres, se eliminan los costos de inversión que involucran la compra de bombas y los peligros de contaminación, al cambiar una bomba de succión de un barril a otro.

La distribución del producto a los lugares de aplicación debe ser siempre en forma sistemática, simple y usando accesorios libres de contaminantes abrasivos como tierra, polvos metálicos, etc.

### **1.3. Intervalos y criterios para la realización de mantenimiento del 3208**

Para facilitar la evaluación de las actividades del mantenimiento, permitir tomar decisiones y establecer metas, deben ser creados informes concisos y específicos formados por tablas de índices, algunos de los cuales deben ir acompañados de sus respectivos gráficos, proyectados para un fácil análisis y adecuado a cada nivel de gestión.

La primera etapa recomendada para el desarrollo de los informes de gestión, debe ser la gestión de equipos, o sea, el acompañamiento del desempeño de cada uno y su participación en la actividad objeto de la empresa, dependiendo de su criticidad, de acuerdo con la evaluación de los usuarios. Esta recomendación se basa en la simplicidad de implantación de esos informes, ya que los mismos dependen básicamente de los registros de inventario, datos de operación y órdenes de trabajo.

De esta manera, para la emisión de los primeros informes de ese grupo, es suficiente que los ítem bajo control estén identificados, tanto en los aspectos de adquisición, montaje y ubicación, como de cambios, y que el historial para cada uno contenga los datos del tipo y duración de cada mantenimiento, si fue ejecutado como provisto o no, su reflejo en los servicios o productos ofrecidos por la empresa y el respectivo código de ocurrencia o el registro literal de la ocurrencia y servicio ejecutado, agrupados a través de los datos de operación y órdenes de trabajo (para actividades programadas, no programadas y de ruta o colectiva).

Es importante recalcar que la implantación de programas que tornan al sistema en inteligente, o sea, emiten informes sin solicitud del usuario, solamente deben ser realizados a partir del momento en que exista un banco de datos con un numero razonable y consistente de registros, superior a 10,000 órdenes de trabajo procesadas.

### **1.3.1. Índices clase mundial**

Son llamados índices de clase mundial aquellos utilizados según la misma expresión en todos los países. De los seis índices clase mundial, cuatro son los que se refieren al análisis de la gestión de equipos y dos a la gestión de costos, de acuerdo con las siguientes relaciones:

- Tiempo medio entre fallas: relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en esos ítem, en el periodo observado.

$$TMER = \frac{NoIT * HROP}{\Sigma TMC}$$

Este índice debe ser usado para cada ítem que son reparados después de la ocurrencia de una falla.

- Tiempo medio para reparación: relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems en el periodo observado.

$$\text{TMPR} = \frac{\Sigma \text{HTMC}}{\text{NTMC}}$$

El índice debe ser usado para ítem en los cuales el tiempo de reparación es significativo con relación al tiempo de operación.

- Tiempo medio para la falla: relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado.

$$\text{TMPR} = \frac{\Sigma \text{HTMC}}{\text{NTMC}}$$

Este índice debe ser usado para cada ítem el cual será sustituido después de la ocurrencia de una falla. Es importante observar la diferencia conceptual existente entre los índices de tiempo medio para la falla y tiempo medio entre fallas. El primer índice (TMPF) es calculado para ítem que no son reparados tras la ocurrencia de una falla, o sea, cuando fallan son sustituidos por nuevos y, en consecuencia, su tiempo de reparación es cero. El segundo índice (TMEF) es calculado para cada ítem que al final se reparan lo mismo ocurrencia de la falla. Por lo tanto los dos índices son mutuamente exclusivos, o sea, el cálculo de uno excluye el cálculo del otro, para ítems iguales.

- El cálculo del tiempo medio entre fallas debe estar asociado al cálculo del tiempo medio para la reparación. Debido a que dichos índices presentan un resultado promedio, su exactitud está asociada a la cantidad de ítems observados y al periodo de observación. Cuanto mayor sea la cantidad de datos, mayor será la precisión de la expectativa de sus valores. En caso de no existir gran cantidad de ítem, o en el caso que se desee obtener los tiempos promedios entre fallas de cada uno, es recomendable trabajar con periodos bastante amplios de observación (cinco años o más), para garantizar la confiabilidad de los resultados.

Especial atención se debe tener en el desarrollo de programas informatizados para el cálculo de estos índices, pues puede ocurrir que, en el periodo considerado, el número de ocurrencias (fallas) sea cero, lo que llevaría a la computadora a realizar un cálculo que daría como resultado un valor infinito (división entre cero), haciendo que el programa se trabase. Como sugerencia para este tipo de acontecimiento, debe ser hecha la consideración de la existencia de una falla con tiempo igual a cero, que daría un valor constante para cualquier condición de cálculo.

- Disponibilidad de equipos: relación entre la diferencia del número de horas del periodo considerado (horas calendario) con el número de horas de intervención por el personal de mantenimiento (mantenimiento preventivo por tiempo o por estado, mantenimiento correctivo y otros servicios) para cada ítem observado y el número total de horas del periodo considerado:

$$DISP = \frac{\Sigma (HCAL - HTMN)}{\Sigma HCAL} * 100$$

La disponibilidad de un ítem representa el porcentaje del tiempo en que quedó a disponibilidad del órgano de operación para desempeñar su actividad. El índice de disponibilidad también es identificado como “*Performance* o desempeño de equipos” y para cada ítem de operación eventual, puede ser calculado como la relación entre el tiempo total de operación de cada uno y la suma de este tiempo con el respectivo tiempo total de mantenimiento en el periodo considerado.

$$\text{DISP} = \frac{\sum \text{HROP}}{\sum (\text{HROP} + \text{HTMN})} * 100$$

Este índice también puede ser calculado como la diferencia entre la unidad y la relación entre las horas de mantenimiento y la suma de esas horas con las de operación de los equipos.

Otra expresión muy común utilizada para el cálculo de la disponibilidad de equipos sometidos exclusivamente a la reparación de fallas es obtenida por la relación entre el tiempo medio entre falla (TMEF) y su suma con el tiempo medio para reparación, y los tiempos ineficaces del mantenimiento (tiempos de preparación para desconexión y nueva conexión, y tiempos de espera que pueden estar contenidos en los tiempos promedios entre fallos y de reparación).

$$\text{DISP} = \frac{\text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}} * 100$$

Es posible observar que es la expresión más simple ya que es obtenida a partir de la relación entre dos otros índices normalmente ya calculados. El índice de disponibilidad (o *performance*) es de gran importancia para la gestión del mantenimiento, pues a través puede ser hecho un análisis selectivo de los

equipos, cuyo comportamiento operacional está por debajo de los estándares aceptables.

Para su análisis, se recomienda poner en tablas mensualmente, la disponibilidad (o *performance*) de los equipos seleccionados por el usuario y establecer un límite mínimo aceptable de sus valores, a partir del cual serán hechas las selecciones para el análisis.

### **1.3.2. Análisis de aceite**

Caterpillar ha desarrollado un sistema de administración de mantenimiento que evalúa la degradación del aceite y detecta las indicaciones iniciales de desgaste de los componentes internos. El sistema desarrollado por Caterpillar para análisis de aceite se denomina análisis SOS de aceite y el sistema forma parte del programa servicios SOS.

El análisis SOS de aceite divide el análisis del aceite en cuatro categorías:

- Régimen de desgaste de componentes
- Estado del aceite
- Contaminación del aceite
- Identificación del aceite

El análisis del régimen de desgaste de componentes evalúa el desgaste que está ocurriendo dentro del compartimiento lubricado. El analista SOS utiliza los resultados del análisis elemental y de las pruebas de conteo de partículas para evaluar el desgaste. A continuación se utiliza el análisis de tendencias y tablas de desgaste exclusivas para determinar si el régimen de desgaste es normal o anormal.



El análisis del estado del aceite se usa para determinar si el aceite se ha degradado. Se hacen pruebas para comprobar la oxidación, la sulfatación y la viscosidad del aceite. El analista SOS utiliza entonces pautas establecidas o análisis de tendencias para determinar si el aceite ha llegado al final de su vida útil.

Las pruebas de contaminación del aceite se realizan para determinar si ha entrado algún componente perjudicial al compartimiento de aceite. Este análisis se basa en los resultados de las siguientes pruebas: análisis elemental, hollín, conteo de partículas, dilución de combustible, agua y glicol. El programa de servicios SOS tiene pautas para el nivel de contaminación permisible en los distintos compartimientos de una máquina CAT.

La identificación de aceite es otro componente importante del programa. El uso de un aceite incorrecto en un compartimiento puede dañar gravemente los componentes principales. El analista utiliza los resultados del análisis elemental y de viscosidad para identificar las características fundamentales de los aceites.

Estos cuatro tipos de análisis se usan para vigilar el estado de las máquinas y para ayudar a identificar posibles problemas. Se han establecido pautas basadas en la experiencia y en una correlación con averías para estas pruebas. Ver la siguiente tabla. Si se excede una o más de estas pautas, esto puede indicar una degradación seria de un fluido o una avería inminente de un componente.

Tabla V. **Parámetros para análisis SOS CAT de aceite**

<b>Pautas para el análisis SOS de aceite</b>	
<b>Parámetros de prueba</b>	<b>Pauta</b>
Oxidación	(1)
Hollín	(1)
Sulfatación	(1)
Metales de desgaste	Análisis de tendencias y normas de la Tabla de desgaste CAT (1)
Agua	0.5 % máximo
Glicol	0 %
Dilución de combustible	4 % máximo
Viscosidad – motores: ASTM D 445 medida a 100 °C	Cambio de +/- 3 centistoke (cSt) de la viscosidad de un aceite nuevo
Viscosidad – sistema hidráulico y tren de fuerza: ASTM D445 Medida a 100 °C	Cambio de +/- 2 centistoke (cSt) de la viscosidad de un aceite nuevo
Limpieza del sistema hidráulico	ISO 18/15 máximo
Limpieza del sistema de transmisión sin válvulas electro – hidráulica	ISO 21/17 máximo
Limpieza de sistema de transmisión con válvulas electro – hidráulicas	ISO 18/15 máximo
(1) Los valores aceptables para estos parámetros son propiedad del programa de análisis SOS de aceite.	

Fuente: Caterpillar. *Recomendaciones de fluidos para máquinas*. p. 116.

### **1.3.2.1. Obtención de muestras de aceite para el análisis**

Antes de tomar una muestra de aceite, operar la máquina hasta que se caliente y circule bien el aceite. Para obtener una buena muestra de aceite no tomarla de la corriente de drenaje. El método de la corriente de drenaje puede permitir que el aceite sucio de la parte inferior del compartimiento contamine la muestra.

Asimismo, nunca hundir el tomador de muestras en un recipiente de aceite ni vertir en el mismo el residuo que queda en los filtros usados. Hay dos formas de obtener muestras de aceite, estos métodos se indican por orden de preferencia: utilizando válvula de muestreo en lineal, para los sistemas de aceite presurizados y el método de extracción por vacío.

### 1.3.2.2. Intervalos de muestreo de aceite

Obtener las muestras de aceite lo más próximo posible a los intervalos adecuados; debe establecerse una tendencia uniforme de datos. Para establecer una historia pertinente de datos, realizar muestreos uniformes de aceite espaciados uniformemente.

Tabla VI. Intervalos de muestreo de aceite

Comportamiento	Intervalo recomendado de muestreo	Válvula de muestreo	Tipo de aceite
Motor	250 horas (1)	Sí	DEO
Transmisión	500 horas	Sí	TDTO
Sistema hidráulico	500 horas	Sí	HYDO
Diferencial y mando final	500 horas	No	HYDO, FDAO
(1) Para obtener los mejores resultados, las muestras de aceite de motores deben tomar en intervalos de 250 horas.			

Fuente: Caterpillar. *Recomendaciones de fluidos para máquinas*. p.118.

Tradicionalmente los intervalos SOS de muestreo han sido de 250 horas para motores y 500 horas para todos los otros compartimientos. Sin embargo, en aplicaciones de servicio severo, se recomienda un muestreo más frecuente del aceite. El servicio severo para compartimientos lubricados ocurre con

cargas altas, altas temperaturas y condiciones polvorientas. Si existe alguna de estas condiciones, deben tomarse muestras de aceite del motor cada 125 horas y de los otros compartimientos de la máquina cada 250 horas. Estas muestras adicionales aumentarán la posibilidad de detectar una avería potencial.

### **1.3.2.3. Asegurar resultados del programa**

Llenar la etiqueta correctamente: para asegurar resultados precisos de la muestra, anotar toda la información solicitada para cada comportamiento de la máquina. El modelo, número de serie y las unidades del medidor de servicio tanto del equipo como del aceite son muy importantes. Si es necesario, se puede obtener la información sobre la clasificación y el tipo de aceite y la lectura del medidor de servicio de los registros del taller cuando efectuaron el último cambio de aceite. También es de importancia primordial indicar si cambió (o no) el aceite al tomar la muestra.

Las muestras de aceite nuevo son necesarias para analizar las condiciones en que se encuentra el aceite. Al recibir aceite de una marca nueva o un envío en gran volumen, enviar una muestra indicando en la etiqueta el tipo, marca y la clasificación del aceite. Para evitar que la etiqueta se engrase y facilitar su lectura, llenándola con la información antes de tomarlas muestras. Todo el esfuerzo que implica este monitoreo de condición se justifica, cuando se lleva gráficamente, por componente de cada máquina la tendencia de desgaste de piezas internas, puede servir para tomar decisiones, tanto de reparación antes de la falla, como de incremento disminución en las frecuencias de cambio de aceites para aumentar la vida útil de los componentes.

Por otra parte, es posible elaborar un indicador del estado de un motor de combustión interna diésel, combinando la información suministrada por el

análisis de aceite, los registros de consumo de aceite y combustible, sumado a mediciones de desempeño, que habitualmente solo son utilizadas para diagnóstico, como la medición de la compresión en cilindros y la medición de la presión en el cárter; esto permitirá proyectar la vida útil remanente, lo que mejorará la planificación de las reparaciones y compra de repuestos, disminuyendo así el capital inmovilizado en repuestos.

Las estadísticas prueban que del 75 al 85 % de todas las fallas en sistemas hidráulicos son resultado directo de la contaminación del fluido. Los contaminantes transportados en el aceite afectan a los distintos componentes del circuito: bombas, motores, válvulas, y cilindros hidráulicos, por la corrosión producida por los ácidos que se forman debido a la oxidación del aceite y la contaminación con agua. También se pueden producir atascamientos de válvulas por presencia de partículas, según la clase de bombas y válvulas que componen el circuito hidráulico y la presión de trabajo de las mismas.

Realizando el control de contaminación y el monitoreo de condición del estado de salud del lubricante se pudo llegar a extender 8 veces la vida en servicio, comparada con el intervalo entre cambios indicado por el fabricante, lo que genera una importantísima disminución del consumo de lubricantes, y la consecuente disminución de los costos de lubricantes, y mano de obra asociada a lubricación.

Tabla VII. **Revisión y mantenimiento regular**

Tiempo / Descripción	Diario	Después de 20 horas	Cada 100 horas o 3 meses	Cada 500 horas o 6 meses	Cada 1000 horas o una vez al año
Revisar y apretar turcas y tornillos	X				
Revisar y rellenar el aceite de la máquina	X				
Cambio de aceite		X (Primera vez)	X (Primera vez y sucesivas)		
Limpieza y cambio de filtro de aceite				X	X (Cambio)
Revisión de pérdidas de aceite					
Cambio de la base del filtro del aire		Debe ser un ciclo más pequeño de revisión y mantenimiento si el motor está en un sitio polvoriento.		X	
Limpieza del tanque de combustible	Cada mes				
Limpieza o cambio del filtro de combustible				X (Limpieza)	X (Cambio)
Revisión de las válvulas				X	
Revisión de la bomba de inyección				X	
Revisión del tubo de combustible				X (Cambio, si es necesario)	
Ajuste del espacio de las válvulas de admisión y escape		X (Primera vez)			
Esmerilado de las válvulas de admisión y escape					X
Cambio del anillo del pistón					X
Revisión del acumulador de líquidos	X (Cada mes)				
Limpieza de la base del filtro del aire		X (Limpieza cada mes o 50 horas)			

Fuente: Caterpillar. *Recomendaciones de fluidos para máquinas*. p. 54.



## **2. FALLAS POR FALTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Cuando el motor ha adquirido su temperatura de funcionamiento no debe producir humos anormales por la salida del escape. Si ello se produce es señal de la existencia de alguno de los defectos que se deben de considerar. Hay que saber distinguir bien la coloración del humo de escape ya que ello proporciona importantes pistas sobre algunas graves averías del motor. Los humos anormales pueden ser de tres coloraciones básicas:

- Negros
- Azules
- Blancos

En líneas generales, los humos negros indican excesiva riqueza de la mezcla; los humos azules, consumo de aceite por formar parte este de la mezcla; los humos blancos indican la existencia de vapor de agua en el proceso de combustión. Cuando el motor no está caliente, y por lo tanto no ha alcanzado aún su correcta temperatura de funcionamiento, puede muy bien presentar síntomas de humos de coloración negra o blanca, aunque ello no tiene ninguna importancia.

En el primer caso se tiene la riqueza de la mezcla provocada por el estérter mientras el segundo caso se produce sobre todo en invierno y es debido a que el tubo de escape está muy frío y los primeros gases calientes de la puesta en marcha provocan una condensación que produce vapor de agua y se mezcla con los gases de escape. Al calentarse el motor estos humos desaparecen.



Figura 9. **Motor Caterpillar 3208**



Fuente: Caterpillar. [www.staticmascus.com](http://www.staticmascus.com). Consulta: febrero de 2015.

Antes de entrar a desarrollar los tipos de humos que son síntomas anómalos en los motores, se describen las partes del mismo.

## **2.1. Partes del motor**

A continuación se describen las partes de un motor.

### **2.1.1. Elementos fijos**

Estos elementos están sometidos generalmente a mantenimiento en largos periodos de trabajo en el cual se hace su remplazo, como elementos fijos se encuentran:

- Bloque de cilindros
- Camisas
- La culata (o cabezote)

- Junta de culata
- Cáster
- Múltiple de admisión y escape

### **2.1.2. Elementos móviles**

Estos elementos están por lo regular sometidos a desgaste por fricción y su mantenimiento se lo realiza bajo largos periodos de trabajo siempre y cuando no se presente algún imprevisto, en el caso de elementos internos como los pistones, bielas, entre otros debe tener un buen sistema de lubricación. A continuación se enuncian algunas partes móviles de un motor:

- Pistones
- Bielas
- Segmentos
- Cigüeñal
- Volante
- Árbol de levas
- Propulsores (o varillas propulsoras)
- Balancines

### **2.1.3. Sistemas del motor y su alimentación de aire**

Entre los diferentes sistemas del motor se encuentran el de aire, de alimentación, de refrigeración, los cuales se describen a continuación. La mayoría de los motores diésel poseen un alimentador el mismo está compuesto por una turbina impulsada por los gases de escape, la cual impulsa a un rotor de compresor del tipo centrífugo.

El compresor generalmente está ubicado entre el purificador de aire y el colector de admisión del motor, mientras que la turbina está ubicada entre el colector de escape y el silenciador.

- Filtro de aire: es el encargado de limitar el paso de impurezas en el aire, las cuales pueden causar graves daños en el motor, en la figura 10, se puede apreciar diferentes modelos de filtros de aire.

Figura 10. **Filtros de aire**



Fuente: Filtros. [www.filtroslys.com](http://www.filtroslys.com). Consulta: febrero de 2015.

#### **2.1.4. Sistemas de alimentación diésel**

Sistema encargado de suministrar el combustible necesario para el funcionamiento del motor está formado por dos circuitos: circuito de baja presión, envía el combustible desde el depósito, a la bomba de inyección pasando antes por distintos elementos y el circuito de alta presión, encargado de impulsar el combustible a una presión determinada para ser introducido en las cámaras de combustión, le componen la bomba de inyección y los inyectores.

#### **2.1.4.1. Tanque de almacenamiento**

Es el lugar donde se almacena el combustible para su posterior utilización, generalmente está fabricado de metal anticorrosivo y en caso necesario existen los tanques de seguridad en materiales ignífugos.

#### **2.1.4.2. Cañerías**

Son rígidas, de latón o cobre, con una forma interior debidamente estudiado por el fabricante. No deben estar próximas a los tubos o conductos de escape, ya que el combustible no debe calentarse demasiado, pues se formarían pequeñas bolsas de gasoil evaporado, que actuarían como si la bomba o los inyectores no estuvieran desairados.

Para proteger la bomba de las impurezas que contiene el combustible, es necesario que el tubo que va del depósito a la bomba de alimentación esté ligeramente inclinado hacia el depósito. Hay que evitar cualquier inclinación hacia la bomba.

#### **2.1.4.3. Filtro de combustible**

Es el elemento del sistema que ha sido diseñado para proteger de suciedades a los inyectores y al regulador de combustible, así como al resto de elementos del sistema de alimentación.

Es prácticamente el único elemento del sistema de inyección que está expuesto a un mantenimiento y recambio periódico, ya el resto de elementos han sido diseñados para funcionar un largo período, sin necesidad de mantenimiento.

En la figura 11 se muestran diferentes tipos de filtros de combustible.

Figura 11. **Filtros de combustible**



Fuente: Google. <http://img.weiku.com/>. Consulta: febrero de 2015.

#### **2.1.4.4. Bomba de inyección de combustible**

Puede ser eléctrica o mecánica como es el caso de la figura 12. Se encarga de dar la presión necesaria para que en ningún momento el sistema tenga espacios de aire y el funcionamiento del motor pueda fallar.

Figura 12. **Bomba de inyección de combustible**



Fuente: PADIÑAS, José. *Sistemas auxiliares del motor*. p. 62.

#### **2.1.4.5. Inyectores**

Su misión es introducir el combustible a gran presión en el interior de las cámaras de combustión del motor. Están unidos a través de tubos metálicos a los porta inyectores, hay tantos inyectores como número de cilindros tiene el motor.

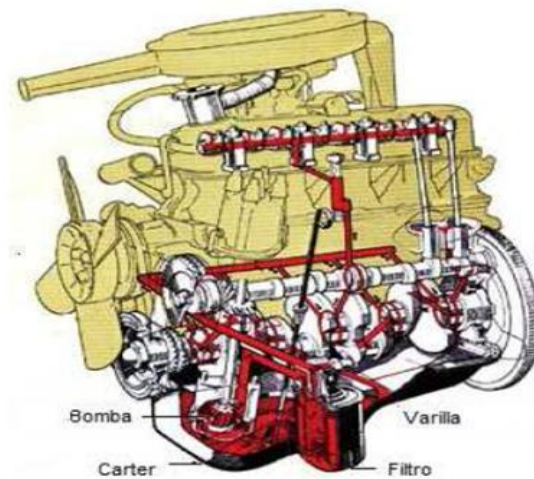
#### **2.1.5. Sistema de lubricación**

Normalmente, se piensa que el aceite lubricante sirve solo para lubricar el motor, reduciendo las pérdidas y el desgaste del mismo al valor lo más bajo posible.

El aceite tiene además otras funciones, como son:

- Lubrica las partes móviles para reducir las pérdidas de potencia a causa del rozamiento.
- Colabora con la refrigeración de las diversas partes actuando como refrigerante.
- Amortigua y absorbe los choques en los cojinetes y otras partes del motor.
- Forma una especie de cierre estanco entre los segmentos del pistón y paredes del cilindro
- Mantiene limpias las diversas partes del motor arrastrando el polvo y otras partículas extrañas.

Figura 13. **Sistema de lubricación**



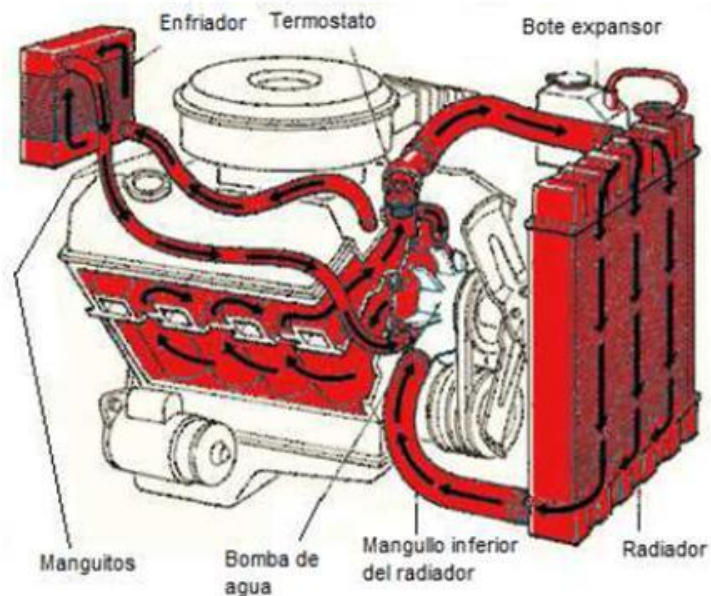
Fuente: ECURED. <http://www.ecured.cu>. Consulta: febrero de 2015.

### 2.1.6. Sistema de refrigeración

El objetivo de este sistema es mantener la temperatura del motor dentro de un rango aceptable. En la figura 14 se pueden observar los componentes del sistema de refrigeración.

En general es conveniente trabajar a temperaturas lo más próximas posibles a las máximas admisibles por el aceite. La excesiva refrigeración de las paredes del cilindro, así como de la culata puede llevar a un descenso en el rendimiento térmico del motor. Una vez que el motor ha alcanzado su temperatura de funcionamiento normal, el sistema de refrigeración empezará a actuar.

Figura 14. Sistema de refrigeración



Fuente: Google. <https://professionalautomotive.wordpress.com>. Consulta: febrero de 2015.



### **2.1.7. Sistema eléctrico**

Suministra la energía necesaria para arrancar el motor, luces, instrumentos e indicadores etc. Se compone de la batería, en motor de arranque, alternador con su regulador incorporado y demás circuitos eléctricos.

### **2.1.8. Elementos principales del sistema hidráulico**

Un sistema hidráulico brinda la posibilidad de trabajar con grandes fuerzas dando al operador comodidad en la operación de cualquier máquina con este sistema. A continuación se presentan algunos principios de la hidráulica:

- Los líquidos no tiene forma propia.
- Los líquidos son prácticamente incompresibles.
- Los líquidos transmiten en todas las direcciones la presión que se los aplica.
- Los líquidos permiten multiplicar la fuerza aplicada<sup>2</sup>.

Siendo estos principios que permiten parar una gran máquina con solo pisar un pedal de freno.

Un sistema hidráulico se compone de las siguientes partes fundamentales: bomba, reservorio, válvulas de distribución, válvula de seguridad y actuadores.

- Reservorio: cumple la función de reacondicionar al fluido que circula en todo el sistema, además constituye un accesorio de almacenamiento, en el cual, tanto el agua, el aire, rezagos metálicos y demás sustancia

---

<sup>2</sup> PÉREZ BELLÓ, Miguel Ángel. *Circuitos de fluidos, suspensión y dirección*. p. 9.

extrañas pueden ser extraídas, así como disipar el calor transferido al fluido. Para cumplir con las funciones mencionadas anteriormente, el reservorio debe cumplir los siguientes requerimientos:

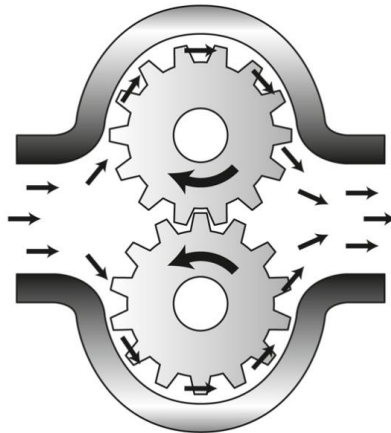
- o Disipar la mayor cantidad de calor generado en el sistema.
  - o Proveerse de volumen suficiente para permitir la estancia del fluido por un tiempo adecuado.
  - o Proveerse posibles ampliaciones del sistema.
  - o Permitir la expansión térmica del fluido.
  - o Dotarse del área lateral suficiente para dar cabida a todas las llegadas y conexiones.<sup>3</sup>
- 
- Bomba: es el elemento principal del sistema hidráulico y la que crea el flujo del líquido hacia todo el circuito. Una bomba volumétrica, lo que hace en su funcionamiento es erogar simplemente un caudal, pero no puede generar por sí misma una determinada presión. La presión nace en el circuito como producto de la resistencia encontrada por el actuador en su movimiento y/o por las pérdidas distribuidas o concentradas, encontradas por el fluido en su recorrido.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> MORÁN, Iván. *Introducción a los sistemas hidráulicos*. p. 46.

<sup>4</sup> Op. Cit. p. 135

Figura 15. **Bomba de engranajes**



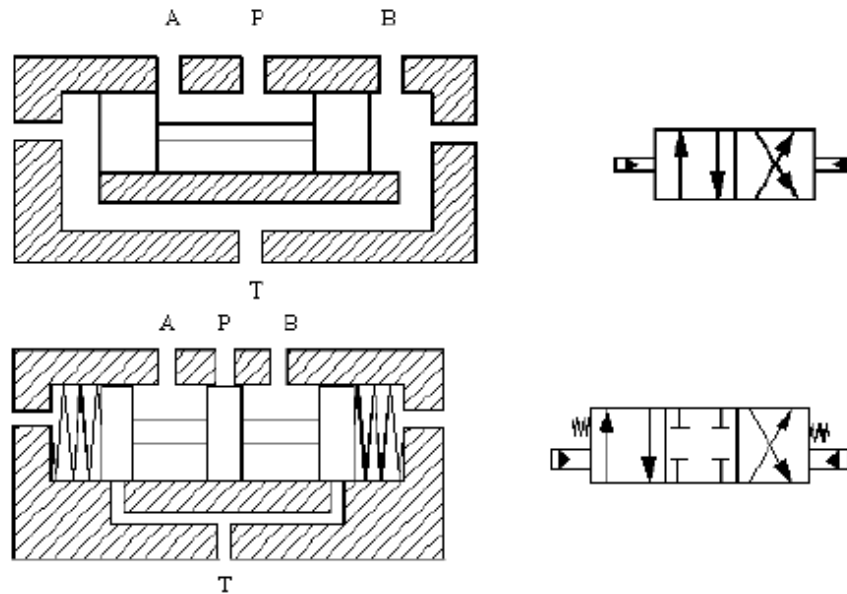
Fuente: <http://www.cbs.grundfos.com>. Consulta febrero de 2015.

- Válvula de seguridad: son aquellas que protegen al sistema contra el exceso de presiones, es decir que cuando el actuador no puede vencer una resistencia la presión se eleva y estas válvulas se abren automáticamente desviando el fluido directamente al reservorio.<sup>5</sup>
- Válvula de distribución: se llama así a todo dispositivo que realiza la apertura o cierre del paso del fluido de trabajo accionado por un comando externo, enlazando unos conductos o bocas con otros en cada valor de este.

---

<sup>5</sup> MORÁN, Iván. *Introducción a los sistemas hidráulicos*. p. 120.

Figura 16. **Distribuidores de 4 vías a 2 y 3 posiciones**

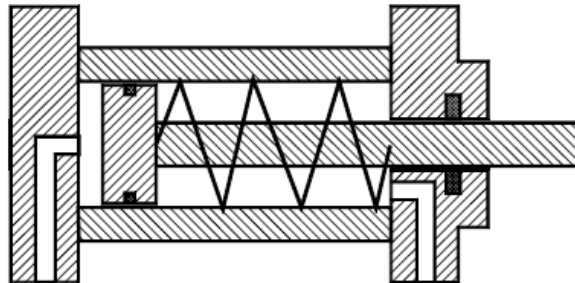


Fuente: PÉREZ BELLO, Miguel Ángel. *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección.* p. 62.

- Actuadores: son órganos de ejecución que transforman la fuerza hidráulica en fuerza mecánica, existiendo dos tipos principales de actuadores:
  - De movimiento rectilíneo (cilindros)
  - De movimiento circular (motores hidráulicos)

En la figura 17 se muestra un cilindro de doble efecto.

Figura 17. **Cilindro de doble efecto**

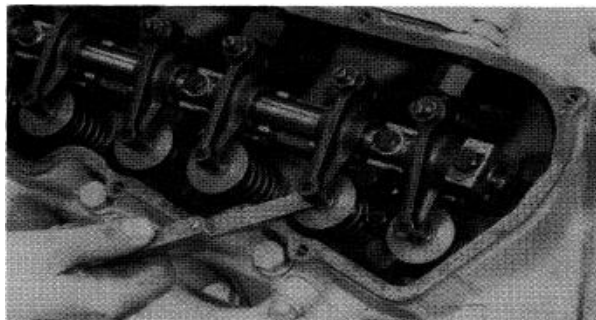


Fuente: PÉREZ BELLÓ, Miguel Ángel. *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección.* p. 68.

## 2.2. **Humo blanco**

Este tipo de humo es característico del vapor de agua, y es normal si se produce cuando el motor está frío. Sin embargo, con el motor caliente puede significar alguna falla en la junta de culata (tapa de cilindros). Esto se correspondería con una disminución del líquido refrigerante, por lo cual se debe controlar el nivel periódicamente.

Figura 18. **Válvulas de motor**



Fuente: Caterpillar. *Intervalos de mantenimiento.* p. 98.

La causa que produce el humo blanco en el motor es el agua en el combustible, la mejor solución para la eliminación de dicho humo es la limpieza del tanque y el filtro, y el cambio total de combustible.

### **2.3. Humo negro**

El humo con coloración negra suele aparecer ante una combustión incompleta o porque se está consumiendo combustible en exceso. Debe chequearse el sistema de alimentación (inyección o carburación) y los filtros de combustible y aire.

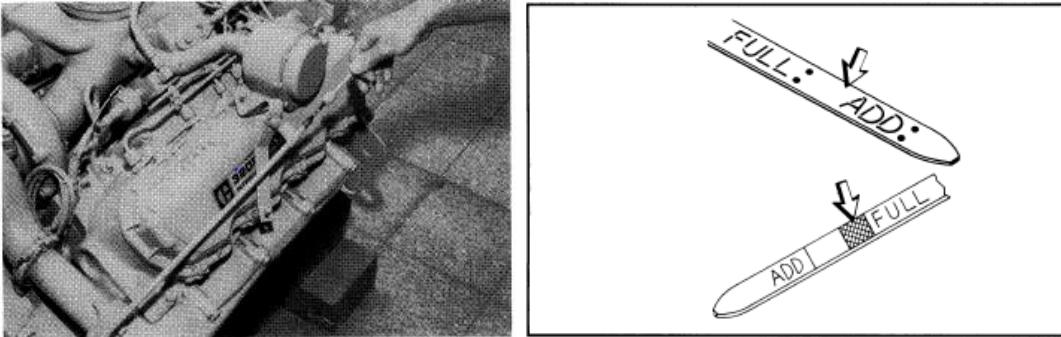
Figura 19. **Filtro de combustible**



Fuente: Caterpillar. *Intervalos de mantenimiento*. p. 102.

En conclusión, al momento de advertir que los gases de escape presentan un cambio en su coloración, conviene controlar el vehículo ante la probabilidad de alguna de las fallas mencionadas que requieran la atención de un especialista.

Figura 20. **Chequeo de nivel de aceite**



Fuente: Caterpillar. *Intervalos de mantenimiento*. p.16.

Entre las causas de emanaciones de humo negro en el motor se encuentran:

- La sobrecarga
- La inyección de combustible es mala
- La insuficiencia de aire o pérdida de aire

Las soluciones a dicho problema son:

- Rebajar la carga, si el trabajo de la máquina no es apropiado, se debe cambiar.
- Se debe revisar la presión de inyección y las condiciones de pulverizado, las cuales se deben de corregir cambiar el inyector si está dañado.
- Se debe limpiar el filtro del aire y revisar las causas de las pérdidas y remediarlas.

## 2.4. Humo azul

Cuando el consumo de aceite es excesivo, los humos tendrán una tonalidad azulada. Puede que el lubricante esté llegando hasta la cámara de combustión, posiblemente debido a diferentes causas, las cuales se describen a continuación:

- Puede existir aceite de la máquina dentro del cilindro
- El anillo del pistón puede estar roto o dañado y su elasticidad no es suficiente, también se puede deber a que cada hueco del anillo se mueve en la misma dirección para hacer que el aceite de la máquina suba
- El hueco entre el pistón y el cilindro está desgastado y es demasiado grande debido al uso.
- La válvula y la guía están desgastadas por el uso.

Las soluciones para la eliminación del humo azul son:

- Revisar el nivel de aceite, posteriormente drenar el aceite innecesario de la motor.
- Si el anillo del pistón está dañado se debe cambiar y cruzar cada posición de los huecos.
- Si el hueco del pistón está demasiado grande debe de rimar, para lograr el mejor ajuste entre el cilindro y el pistón.
- Si las válvulas están desgastadas se deben de cambiar.



Figura 21. **Repuestos para el motor**



Fuente: Google. *Motores diésel*. <http://dpdiesel.com>. Consulta: febrero de 2015.

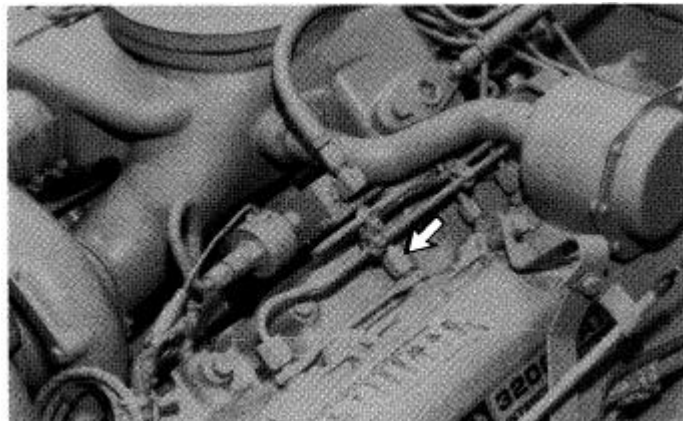
## 2.5. **Pérdida de fuerza**

La causa de la pérdida de fuerza se puede deber a 8 diferentes situaciones:

- Mal funcionamiento del sistema de combustible: algo obstruye el tubo del combustible y el filtro del combustible
- El bombeo de combustible no es correcto
- Mal funcionamiento del inyector. La presión de inyección no es correcta.
- Hay carbonilla en el agujero del pulverizador.
- La válvula de la aguja está adherida.
- El alojamiento entre la válvula de aguja y el cuerpo de la válvula de aguja está flojo.

- El filtro del aire esta obstruido.
- La velocidad no es suficiente.

Figura 22. **Boquillas de inyección de combustible**



Fuente: Caterpillar. *Intervalos de mantenimiento*. p. 15.

La solución para estas probables causas son las siguientes:

- Para el mal funcionamiento del sistema de combustión se debe revisar la llave del combustible; este tiene que estar abierto al máximo.
- Para el bombeo reparar o cambiar las partes dañadas de la bomba del combustible.
- Para el mal funcionamiento del inyector, ajustar la presión de inyección.
- Si hay carbonilla en el agujero del pulverizador se debe limpiar el mismo.

- Si la válvula está adherida se debe limpiar, si está dañada es necesario cambiarla.
- Si la válvula de la aguja está floja se debe cambiar.
- Para la obstrucción del filtro, se debe desmontar y limpiar; en caso extremo cambiar el cuerpo del filtro.
- Si la velocidad no es suficiente, se debe revisar la velocidad del motor diésel con un tacómetro y ajustar la velocidad alta al límite del tornillo.

### **3. SUGERENCIAS PARA CORRECCIÓN DE FALLAS POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

#### **3.1. Metodología**

Se elige la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), ya que puede reducir la cantidad de mantenimiento rutinario habitual hasta un 40 por ciento, incluso en algunos casos hasta un 70 por ciento. Se puede aplicar para desarrollar un plan de mantenimiento preventivo; el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que el mantenimiento planificado. Además, su lenguaje técnico es accesible, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al proceso RCM, permitiendo al personal involucrado en las tareas de mantenimiento actuar acorde a lo esperado por dicha metodología.

El propósito de monitorear el motor utilizando la metodología RCM es analizar mediante esta herramienta cuáles son los modos de fallas que pudiesen forzar un *overhaul* no programado.

Usando esta herramienta e identificando estos modos de fallas se pueden confeccionar acciones de mantenimiento para remediar lo anterior. Es importante efectuar este análisis debido a que de no ser así, no es posible implementar un sistema de mantenimiento predictivo que permita monitorear la extensión del período entre *overhaul* de estos motores; por el contrario al eliminar los modos de falla que se detecten el análisis entrega una condición de confiabilidad al equipo y por lo tanto cualquier medida que se tome para monitorear su funcionamiento será efectiva.

Para efectuar un buen análisis RCM se debe contestar cada una de las preguntas que esta metodología plantea y posteriormente traspasar esta información a dos hojas, llamadas hoja de información y hoja de decisión.

### **3.1.1. Hoja de Información**

En la hoja de información se desarrollan las siguientes preguntas, asociadas a diferentes secciones que esta hoja contempla:

- ¿Cuáles son las funciones? (¿Qué quiere el usuario que haga?): se enuncia cada función con un verbo infinitivo (ar, er, ir); posteriormente se lista todas las funciones primarias del equipo; en el caso de los motores Caterpillar de la serie 3208 se definieron cuatro funciones asociadas cada una a los sistemas principales del motor: ser capaz de mantener una presión de lubricación mayor a 3,5 bar, ser capaz de mantener la temperatura del motor hasta los 100 °C, ser capaz de proporcionar la relación aire/combustible del motor y de suministrar combustible limpio al motor.
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?: el desarrollo de esta parte está relacionado con la función se señala la pérdida de la función; la respuesta de esta pregunta es: no es capaz de mantener una presión de lubricación superior a 3,5 bar, no es capaz de mantener la temperatura del motor hasta los 100 °C, no es capaz de proporcionar la relación aire/combustible del motor y finalmente no es capaz de suministrar combustible limpio al motor.
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?: en esta sección se listan los modos de fallas que razonablemente sean causantes de la pérdida de

función enunciada en el párrafo anterior. Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional ejemplo: en la falla funcional no es capaz de mantener una presión de lubricación superior a 3,5 bar, uno de los modos de falla será rotura del circuito por vetustez.

- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?: la respuesta de esta pregunta determina los efectos que se tendrían si nada fuese hecho para intentar prevenir el modo de falla.

En la tabla VIII se muestra el análisis desarrollado en la hoja de información para los motores Caterpillar de la serie 3.300, de acuerdo con lo explicado anteriormente.

Tabla VIII. **Revisión, causas y efectos de las fallas**

Función	Falla funcional	Causa de falla	Efecto de las fallas
<b>Sistema de lubricación:</b>  1. Ser capaz de mantener una presión de lubricación superior a los 3,5 Bar.	A. No es capaz de mantener una presión de Lubricación superior a los 3,5 Bar.	1. Desgaste prematuro de la bomba. 2. Falla válvula reguladora de presión por desgaste de resorte regulador. 3. Rotura del circuito por vetustez. 4. Filtración del circuito por juntas degradadas. 5. Filtros tapados por contaminación. 6. Aceite emulsionado con agua por roturas de juntas. 7. Aceite contaminado con combustible por vetustez del sistema de inyección. 8. Mala sincronización de los inyectores por error humano.	1.A.1 Al desgastarse prematuramente la bomba, pierde los claros de ajuste lo que ocasiona pérdida de la presión de descarga y por ende baja presión de lubricación, este mal funcionamiento puede producir, si no se alerta a tiempo desgaste de los componentes del motor. 1.A.2. Cuando falla la válvula reguladora debido al desgaste del resorte regulador de la válvula, se produce una baja presión de lubricación que ocasiona desgaste de los componentes del motor sometidos a

Continuación de la tabla VIII.

Función	Falla funcional	Causa de falla	Efecto de las fallas
		Degradación de juntas del cárter.	<p>lubricación TPEF 5 años.</p> <p>1.A.3 Una rotura de circuito ocasiona pérdida de lubricación del motor en forma rápida, este modo de falla si no se detecta a tiempo tiene efectos catastróficos sobre el motor, tales como: fundición de metales y agrupamiento de los cojinetes del motor. TPEF 10 años.</p> <p>1.A.4 Al degradarse las juntas, baja presión de lubricación debido a la filtración de aceite a través de ellas, este mal funcionamiento puede producir desgaste de los componentes del motor. . TPEF. 5 años.</p> <p>1.A.5 Al taparse el filtro por contaminación, baja presión de lubricación ocasionando desgaste de los componentes del motor. . TPEF 300 Hr.</p> <p>1.A.6 Este modo de falla produce una lubricación deficiente que ocasiona desgaste en las piezas sometidas a lubricación, además debido a esta situación se eleva la temperatura del motor. Dependiendo el tiempo de operación bajo esta condición esta anomalía puede originar agrupamiento de los cojinetes y piezas metálicas. TPEF 5 años.</p>

Continuación de la tabla VIII.

Función	Falla funcional	Causa de falla	Efecto de las fallas
			<p>1.A.7 De la misma forma del modo de falla anterior, esta situación se eleva la temperatura del motor.</p> <p>Dependiendo el tiempo de operación bajo esta condición esta anomalía puede originar agrupamiento de los cojinetes y piezas metálicas. TPEF 2500 horas.</p> <p>1.A.8 Al montar la bomba inyectora después de un reacondicionamiento o un overhaul, a veces esta no queda sincronizada correctamente esta situación produce que la quema de combustible sea irregular, quedando combustible sin quemar, este residuo se escurre al cárter contaminando el aceite de lubricación, ocasionando dilución con combustible y por ende pérdida de lubricación con los efectos mencionados anteriormente.</p> <p>1.A.9 Este modo de falla produce una lubricación deficiente que ocasiona desgaste en las piezas sometidas a lubricación, además debido a esta situación se eleva la temperatura del motor.</p> <p>Dependiendo del tiempo de operación bajo esta condición esta anomalía puede originar.</p>



Continuación de la tabla VIII.

Función	Falla funcional	Causa de falla	Efecto de las fallas
<p><b>Sistema de enfriamiento:</b></p> <p>2. Ser capaz de mantener la temperatura del motor hasta los 100 °C.</p>	<p>A. No es capaz de mantener la temperatura del Motor hasta 100 °C.</p>	<p>10 . Filtro tapado por contaminación. 2. Desgaste prematuro de la bomba de agua de mar. 3. Falla bomba de agua salada (impulsor roto por vetustez). 4. Bajo nivel de agua refrigerada por rotura del circuito. 5. Bajo nivel de agua refrigerada por degradación de juntas. 6. Falla de válvulas termostáticas por vetustez. 7. Rotura de tubos de intercambiadores de calor por degradación de los ánodos de zinc. 8. Tubo de intercambiador de calor tapado por cuerpo extraño, en un porcentaje superior al 10 %. 9. Tratamiento inadecuado del líquido refrigerante por error humano.</p>	<p>2.A.1 El filtro tapado por contaminación genera baja presión de descarga de la bomba de enfriamiento y altas temperaturas, esta situación ocasiona sobrecalentamiento del motor que a su vez origina rotura de la junta de culatas y agrupamiento de las piezas del motor por dilatación. TPEF 200 horas. 2.A.2 El desgaste prematuro de la bomba de agua de mar, produce una disminución del flujo que impide la absorción de la temperatura del líquido refrigerante, sobrecalentando el motor, originando el mismo efecto descrito en el párrafo anterior. TPEF 2.000 horas. 2.A.3. La bomba no es capaz de hacer recircular el agua dulce que enfría el motor, por ende el agua no se va a mover a través del intercambiador del motor con efectos similares a los mencionados en los párrafos anteriores. TPEF 7.000 horas. 2.A.4 Una reacción tardía frente a este modo de falla produce altas temperaturas con los efectos antes mencionados, además el aceite lubricante producto de lo mencionado pierde su viscosidad originando una lubricación deficiente con efectos de agrupamiento de cojinetes y desgaste de los componentes sometidos a lubricación. TPEF 10 años.</p>

Continuación de la tabla VIII.

Función	Falla funcional	Causa de falla	Efecto de las fallas
			<p>2.A.5 Este modo de falla puede ocasionar fugas de compresión al circuito de refrigeración y por ende alza de temperatura, y también se puede dar el caso que cuando el motor está detenido la filtración del líquido refrigerante se acumula en la cámara de combustión, ocasionando daños irreversibles en la viela, pistón y camisa debido a que como el agua es un líquido incompresible se produce un sobreesfuerzo en la cámara de combustión dañando los elementos antes mencionados. TPEF 5 años.</p> <p>2.A.6 La válvula termostática regula la temperatura de trabajo del motor al fallar esta válvula se eleva la temperatura del motor produciendo el sobrecalentamiento de este y a su vez esta situación puede originar rotura de la junta de culatas y agrupamiento de las piezas del motor por dilatación. TPEF 5.000 horas.</p> <p>2.A.7 Al producirse este modo de falla, genera que el agua tratada (agua de refrigeración) se mezcle con el agua salada, ocasionando corrosión interna en los componentes del motor. TPEF 2500 horas.</p>

Continuación de la tabla VIII.

Función	Falla funcional	Causa de falla	Efecto de las fallas
			<p>2.A.5 Este modo de falla puede ocasionar fugas de compresión al circuito de refrigeración y por ende alza de temperatura, y también se puede dar el caso que cuando el motor está detenido la filtración del líquido refrigerante se acumula en la cámara de combustión, ocasionando daños irreversibles en la viela, pistón y camisa debido a que como el agua es un líquido incompresible se produce un sobreesfuerzo en la cámara de combustión dañando los elementos antes mencionados. TPEF 5 años.</p> <p>2.A.6 La válvula termostática regula la temperatura de trabajo del motor al fallar esta válvula se eleva la temperatura del motor produciendo el sobrecalentamiento de este y a su vez esta situación puede originar rotura de la junta de culatas y agrupamiento de las piezas del motor por dilatación. TPEF 5.000 horas.</p> <p>2.A.7 Al producirse este modo de falla, genera que el agua tratada (agua de refrigeración) se mezcle con el agua salada, ocasionando corrosión interna en los componentes del motor. TPEF 2500 horas.</p>

Continuación de la tabla VIII.

Función	Falla funcional	Causa de falla	Efecto de las fallas
			<p>2.A.8 Al taparse los tubos del intercambiador de calor en un porcentaje superior al 10 %, se eleva la temperatura del motor, produciendo el sobrecalentamiento de este y a su vez esta situación puede originar rotura de la juntura de culatas y agrupamiento de las piezas del motor por dilatación. TPEF 3000 horas.</p> <p>2.A.9 El tratamiento inadecuado del líquido refrigerante produce que el agua de refrigeración tenga una alta concentración de sales y minerales, estos elementos se adhieren a las paredes de los circuitos por donde fluyen ocasionando corrosión progresiva y por ende deterioro de los componentes internos del motor. TPEF 3000 horas.</p>
<p><b>Sistema de admisión y escape de aire:</b></p> <p>3. Ser capaz de proporcionar la relación aire/combustible del motor.</p>	<p>A. No es capaz de proporcionar la relación aire/combustible.</p>	<p>1.Falla turbo compresor por desgaste prematuro por mala lubricación.</p> <p>2. Filtro de aire tapado por contaminación.</p> <p>3. Filtro de aire roto por cuerpo extraño.</p> <p>4. Falla enfriador de aire por rotura debido a vetustez.</p> <p>5. Rotura del colector de escape por vetustez.</p>	<p>3.A.1 Este modo de falla produce mala combustión y por ende pérdida de potencia debido a la mezcla inadecuada de aire/combustible, esta situación genera carbonizaciones que afectan a los inyectores, coronas, pistones y culatas, originándose autoigniciones dañando los componentes antes mencionados.</p>

Continuación de la tabla VIII.

Función	Falla funcional	Causa de falla	Efectos de las fallas
			<p>3.A.2 Al taparse el filtro por contaminación, se genera mala combustión y pérdida de potencia. Este modo de falla presenta efectos similares al mencionado en el punto 3.A.1. TPEF 500 horas.</p> <p>3.A.3 Cuando el filtro de aire se rompe ingresa contaminación a la cámara de combustión, esta situación si no se remedia a tiempo provoca pérdida del bruñido de la camisa del pistón, al perderse esta característica el pistón pierde lubricación y por lo tanto se produce desgaste de la pieza al estar ambas superficies lisas. TPEF 800 horas.</p> <p>3.A.4 Al no funcionar el enfriador de aire origina que el aire aumente su temperatura y volumen, lo anterior produce que entre menos aire a la cámara de combustión, afectando a la potencia del motor debido a la mala combustión, generando efecto similares a los indicado en el punto 3.A.1 TPEF 10 años.</p> <p>3.A.5 Al romperse el colector de escape disminuye las revoluciones del turbo y por lo tanto el compresor suministra menos aire para la potencia requerida llegándole menos aire a la combustión ocasionado pérdida de potencia del motor con efectos similares a los indicado en el punto 3.A.1. TPEF 15 años.</p>

Continuación de la tabla VIII.

• <b>Función</b>	<b>Falla funcional</b>	<b>Causa de falla</b>	<b>Efectos de las fallas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sistema de combustible:</b></li> <li>• 4. Ser capaz de suministrar combustible e limpio al motor.</li> </ul>	<p>A. No es capaz de suministrar combustible limpio.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Filtro combustible tapado por contaminación.</li> <li>2. Rotura de circuito por vetustez.</li> <li>3. Baja presión de combustible por falla de válvula reguladora de presión, debido a desgaste de resorte regulador.</li> <li>4. Falla de bomba inyectora por desgaste prematuro, debido a combustible sucio.</li> <li>5. Inyectores descalibrados aleatoriamente.</li> <li>6. Falla de bomba de combustible por petróleo contaminado.</li> </ol>	<p>4.A.1 El filtro tapado por contaminación origina que llegue menos combustible a la cámara de combustión produciendo una mezcla inadecuada, afectando la potencia, del motor sobre exigiéndolo y finalmente desencadenando en pérdida de producción. TPEF 300 horas.</p> <p>4.A.2 Al romperse el circuito no existe alimentación de combustible por lo tanto se detiene el motor. TPEF 10 años.</p> <p>4.A.3 Este modo de falla produce un efecto similar al indicado en el punto 4.A.1. TPEF 5 años.</p> <p>4.A.4 Al fallar la bomba inyectora no se produce inyección de combustible, el motor no funciona.</p> <p>4.A.5 Este modo de falla ocasiona altas temperaturas en uno de los cilindros, esta situación genera sobrecarga en los demás cilindros pudiendo originar desbalanceamiento del cigüeñal y rotura de biela.</p> <p>4.A.6 Al fallar la bomba de combustible, por petróleo contaminado no existe alimentación de combustible, por lo tanto se detiene el motor.</p>

Fuente: elaboración propia.

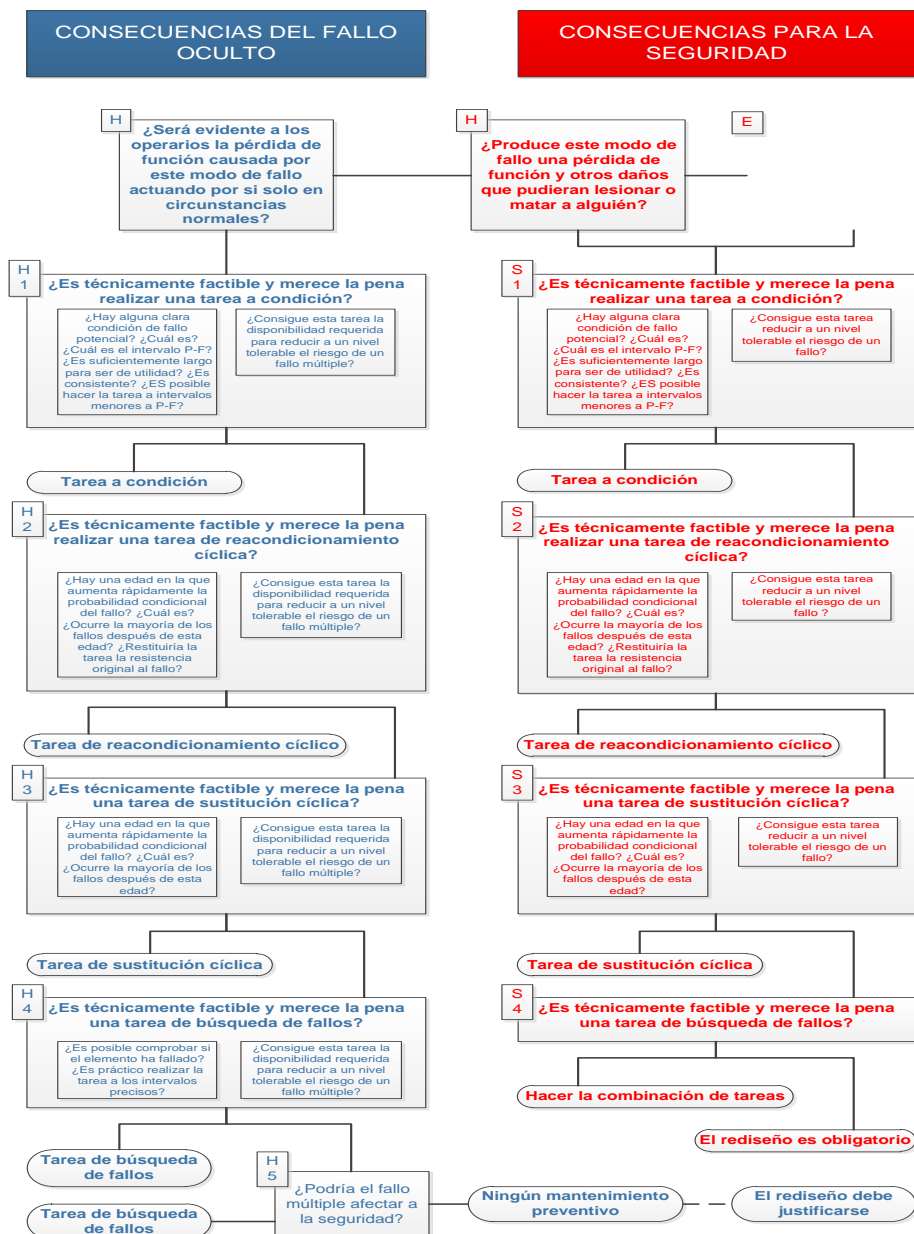
### 3.1.2. Hoja de decisión

La hoja de decisión permite establecer las respuestas a las preguntas formuladas en los diagramas de decisión 3.1; 3.2 y en función de dichas preguntas registrar qué mantenimiento será realizado, con qué frecuencia se realizará y quién lo hará, qué fallas son las suficientemente serias para justificar el rediseño y finalmente los casos en que se toma la decisión de dejar que el equipo falle. Las últimas tres preguntas que conforman el análisis RCM y que permitirán confeccionar la hoja de decisión son:

- ¿En qué sentido es importante cada falla?: para la respuesta a esta pregunta se evalúan las consecuencias de la falla y se resumen las cuatro preguntas realizadas en el punto 3.2.2. La evaluación de las consecuencias se realiza en estrecha colaboración con el personal de producción/operación para determinar si las fallas tienen consecuencias de fallas ocultas, consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, consecuencias operacionales y consecuencias no operacionales, establecidas en el diagrama de decisión (figura 23) .
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?: se selecciona las rutinas de mantenimiento que traten adecuadamente cada modo de falla y sus consecuencias; en esta parte se debe asegurar que las rutinas de mantenimiento se enfoquen en el criterio de merecer la pena tanto como en la factibilidad técnica.
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?: finalmente en este caso se debe seleccionar una apropiada tarea a falta de”, asegurándose que la conclusión de ningún mantenimiento

preventivo sea solamente cuando no haya respuesta a las preguntas detalladas en los códigos H5, O3 y N3 del diagrama de decisión.

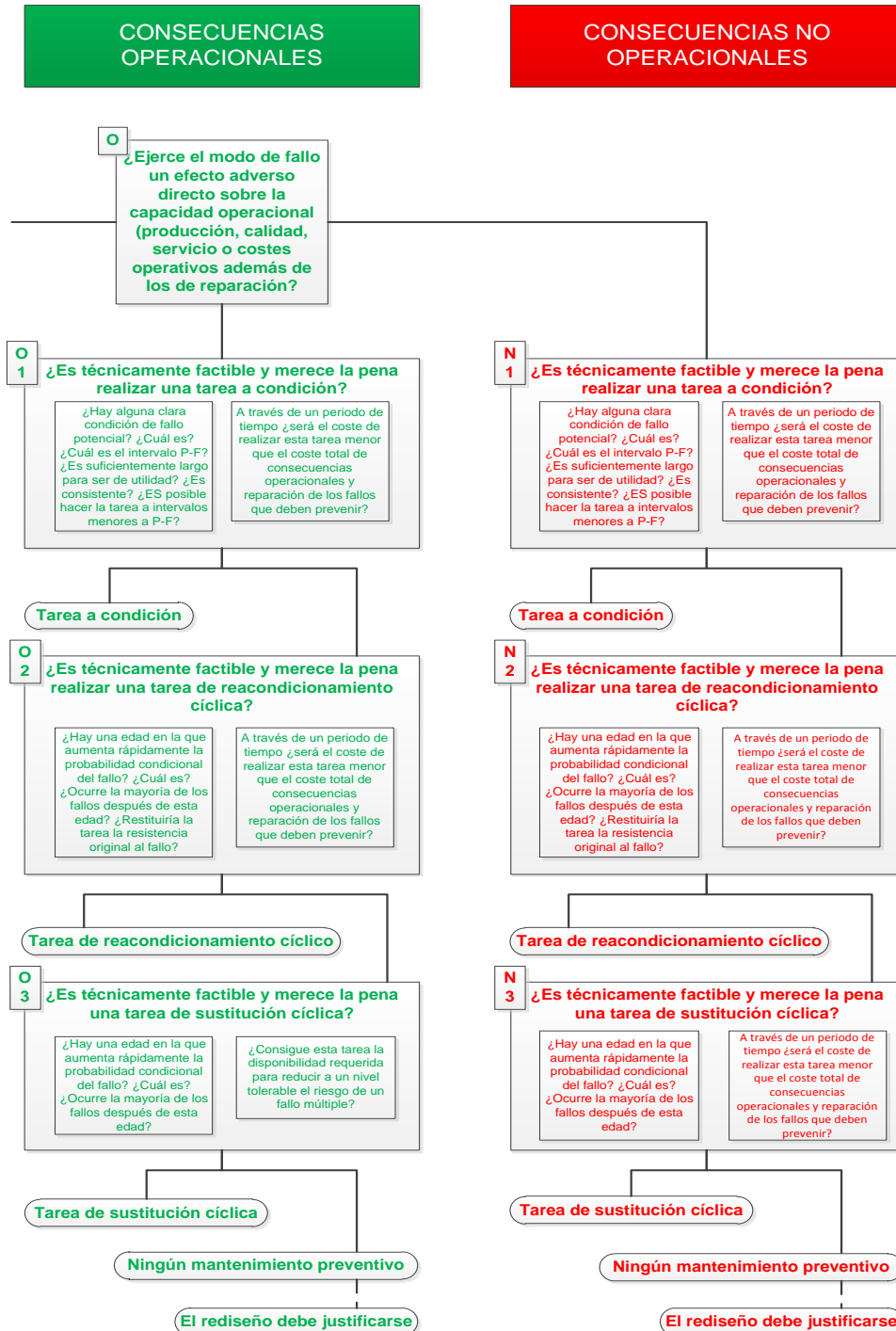
Figura 23. Diagrama de decisión A



Fuente: elaboración propia.



Figura 24. Diagrama de decisión B



Fuente: elaboración propia.

### **3.1.3. Plan de mantenimiento**

Con los datos obtenidos de los análisis registrados en la hoja de información y la hoja de decisión, se confecciona un plan de mantenimiento que sirve para complementar el plan existente para este tipo de motores. Las acciones de mantenimiento emanadas del análisis entregan confiabilidad al equipo y por consiguiente, este se encuentra en condiciones de que se implemente mantenimiento preventivo.

La implementación de cada mantenimiento preventivo tiene como propósito monitorear la decisión de extender el período entre *overhaul*, esta decisión se fundamenta principalmente en el hecho de que los componentes principales del motor no han alcanzado el término de la vida útil al momento de ser reemplazados; esta situación se origina porque el mantenimiento efectuado, regularmente corresponde a un mantenimiento por catálogo, procediendo de esta condición la optimización insuficiente de los recursos humanos y materiales.

A continuación se muestran las tablas que contienen las acciones de mantenimiento que se derivaron del análisis RCM.

Tabla IX. **Rutinas de mantenimiento del sistema de lubricación y enfriamiento**

<b>Sistema</b>	<b>Tarea</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Especialista</b>
<b>1. Sistema de lubricación</b>	Efectuar rondas durante períodos de operación, objeto verificar filtraciones en juntas del cárter.	Cada 1 hora	Mecánico
	Efectuar análisis de aceite y gases	100 horas	Mecánico
	Efectuar reemplazo cíclico del filtro de combustible.	250 horas	Mecánico
	Efectuar supervisión del montaje de los inyectores y evaluar destreza técnica y teórica del mecánico.	3 meses	Supervisor de área
	Efectuar reemplazo cíclico a resorte de la válvula reguladora de presión.	4,000 horas	Mecánico
	Efectuar pruebas de presión al circuito, reemplazando juntas dañadas y circuitos defectuosos.	4,500 horas	Mecánico
	Comparar presión y caudal en diferentes partes del circuito.		
<b>1. Sistema de enfriamiento</b>	Verificar estado de circuitos, presión, temperatura y nivel de agua de refrigeración.	Cada 1 hora	Supervisor de área
	Supervisar la confección de la mezcla y efectuar análisis de agua.	Mensual	Supervisor de área
	Efectuar inspección y limpieza de filtros de agua de mar si amerita.	Cada 15 días	Mecánico
	Efectuar inspección a los ánodos de sacrificio y reemplazar cuando desgaste sea superior al 25 %.	400 horas	Mecánico
	Verificar eficiencia del intercambiador de calor, si baja del 90%, efectuar limpieza.	400 horas	Mecánico
	Efectuar reemplazo cíclico de válvula termostática.	4,000 horas	Mecánico

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Rutinas de mantenimiento del sistema de admisión, escape y combustible**

<b>Sistema</b>	<b>Tarea</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Especialista</b>
<b>1. Sistema de admisión y escape de aire</b>	Verificar presión de aceite y temperatura del turbo durante su funcionamiento. Supervisor de área.	Cada 1 hora	Supervisor de área
	Efectuar inspección visual antes de la puesta en marcha y controlar la presión de la entrada de aire.	A requerimiento	Mecánico
	Efectuar limpieza del filtro de aire	200 horas	Mecánico
	Efectuar reacondicionamiento cíclico del enfriador de aire.	20,000 horas	Mecánico
	Efectuar reacondicionamiento cíclico del colector de escape.	28,000 horas	Mecánico
<b>1. Sistema de combustible</b>	Efectuar análisis de combustible	100 horas	Mecánico
	Efectuar inspección y limpieza de filtros de combustible, si amerita.		Mecánico
	Verificar calibramiento de inyectores.	2,000 horas	Mecánico
	Efectuar inspección y revisión de válvula reguladora.	4,000 horas	Mecánico
	Efectuar pruebas de presión y reemplazar cañerías defectuosas.	5,000 horas	Mecánico
	Efectuar pruebas de banco a la bomba inyectora.	12,000 horas	Mecánico

Fuente: elaboración propia.

Los principios de la metodología RCM fundamentan la generación de una alternativa al actual plan de mantenimiento; de esta forma se alcanzará el

principal objetivo del presente proyecto que es la generación de una propuesta de gestión de la producción del mantenimiento para extender el período entre mantenimiento mayor (*overhaul*), de los motores Caterpillar de la serie 3208.

Cabe destacar que las tablas IX y X fueron elaboradas considerando los consejos del fabricante y la disponibilidad de técnicos y mecánicos que deberían participar en dichos procesos.

Si bien se puede apreciar una frecuencia exhaustiva en el plan de mantenimiento, esto se da cuando los equipos están en funcionamiento y el horómetro indicador que cada equipo precise. La propuesta de mantenimiento en sí busca comprometer al mecánico a cuidar la maquinaria y cambiar componentes antes de producirse la avería, de este modo acercarse a la filosofía perseguida.

### **3.2. Propuesta de extensión de ciclos de *overhaul***

Si se pone un caso hipotético de ser propietarios de un vehículo, en el cual se realizan los mantenimientos rutinarios, ya sea cambios de aceite, y de neumáticos según las normas del tránsito establecidas, mantenimiento al sistema de frenos, entre otros. Sin que exista la necesidad es muy probable que nunca se cambie el parabrisas porque es tan obvio que no se necesita otro debido a que el actual está en perfectas condiciones. De igual forma, aunque el ejemplo anterior sea un caso burdo, no se aleja mucho de la realidad, en cualquier caso.

La presente propuesta de extensión de ciclos de *overhaul* nace en el contexto de experiencias del autor. Ya que se reemplaza una serie de repuestos, que se conservaban en buenas condiciones.

Al desarrollar esta propuesta se mejorará el uso de las piezas y partes del motor hasta el término de su vida útil, permitiendo mayor disponibilidad de equipo, acarreado con ello beneficios, debido a la extensión de los períodos entre *overhaul*. Asimismo, la propuesta conseguirá ahorrar recursos humanos, materiales y financieros al disminuir el stock de repuestos y eliminar el sobremantenimiento, situación que se pronostica tenga un significativo impacto en el sostenimiento logístico. Además, la implementación de las técnicas de mantenimiento predictivo permitirá a la institución mantener personal calificado en sus filas, cuyo beneficio será un servicio mucho más profesional en lo técnico.

Se estima que al monitorear el funcionamiento del motor mediante técnicas de mantenimiento predictivo se podrá establecer el tiempo adecuado en que se debe efectuar el *overhaul*, aprovechando de mejor forma los componentes del motor hasta el término de la vida útil. Al extender el período de uso de los componentes también se está alargando el periodo entre *overhaul*, si se considera que antes de efectuar este mantenimiento se efectúa un reacondicionamiento de sus elementos críticos cada 4,000 horas.

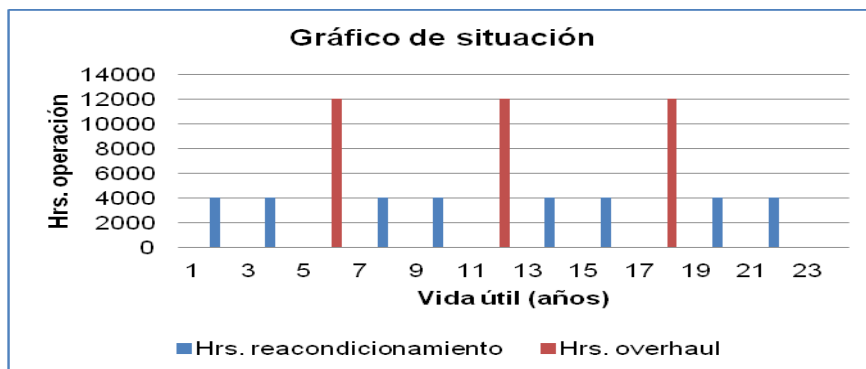
Perfectamente se puede inferir que el período entre *overhaul* se puede extender de las 10,000 a las 12,000 horas, si se logra esta extensión en 2,000 horas se disminuye de 4 a 3 ciclos de mantenimiento; asimismo, estadísticamente también se disminuiría la cantidad de *overhaul* por año de 8 a 6 y 7 en algunos casos, además la disponibilidad del equipo también se verá beneficiada, debido a que la disminución del ciclo de mantenimiento a lo largo de la vida útil del equipo significa aumentar la disponibilidad de este de 90.9 % a 92.3 %, lo cual es equivalente a 12,264 horas, 307 horas adicionales por equipo.

El cumplimiento de la totalidad de los objetivos de la propuesta de mejora retornará los beneficios de disminución de *stock* de repuestos, disminución de intervenciones, ahorro.

Se sabe de personal que realiza *overhaul* de estos motores hasta las 20,000 horas, no existiendo mayores inconvenientes como el negocio de venta de repuestos, normalmente se juega con el temor de los propietarios y la probabilidad de que el equipo falle en el momento menos propicio, aunque se sabe que estos motores son de excelente calidad, con esos antecedentes resulta totalmente plausible un aumento en las horas entre cada ciclo de mantenimiento *overhaul*.

Se decide optar por 12,000 horas, principalmente por la seguridad que debe tener la maquinaria instalada a bordo y además por la coincidencia del reacondicionamiento cada 4,000 horas; de esta forma se es precavido y también se ajusta al plan de mantenimiento propuesto. El siguiente gráfico explicativo muestra lo mencionado tanto para mantenimiento reacondicionamiento de sus elementos críticos, como *overhaul*.

Figura 25. **Histograma de mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

### **3.3. Mantenimiento preventivo propuesto**

El mantenimiento preventivo es una técnica para pronosticar el momento preciso de la ocurrencia de una falla en un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza. Las técnicas del mantenimiento propuesto para monitorear el comportamiento de los componentes críticos en la extensión del período entre *overhaul* de los motores Caterpillar de la serie 3208, serán los análisis de aceite, análisis AT 1-2, corte de filtro e inspección de tapones.

### **3.4. Frecuencia de inspecciones**

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, se ha llegado a la conclusión que es factible extender el período entre *overhaul* de los motores Caterpillar de la serie 3208 de las 10,000 horas a las 12,000 horas de operación; sin embargo esta decisión puede ser tomada siempre y cuando exista un sistema de monitoreo que permita controlar y evaluar la condición de funcionamiento de cada equipo después de las 10,000 horas de uso. De acuerdo a lo anterior se sugiere implementar las técnicas de mantenimiento predictivo antes propuestas.

Según lo señalado en el párrafo anterior, las frecuencias de monitoreo por condición fueron planificadas para observar las condiciones de funcionamiento del motor a partir de las 10,000 horas de operación, con el propósito de contar con antecedentes técnicos para evaluar el instante en que es necesario efectuar el *overhaul* de los motores Caterpillar de la serie 3208; en la siguiente tabla se muestran las frecuencias de inspección de acuerdo con cada técnica de mantenimiento.



Tabla XI. **Técnicas de mantenimiento**

Técnicas de mantenimiento	1° C				2° C				3° C			
	10,000 Hr.	Después de las 10,000 Cada 250 Hr. Hasta overhaul	11,000 Hr.	overhaul	22,000 Hr.	Después de las 22,000 cada 250 Hr. hasta overhaul	23,000 Hr.	overhaul	34,000 Hr.	Después de las 34,000 cada 250 Hr hasta overhaul	35,000 Hr.	overhaul
Análisis de Aceite		X				X				X		
AT-1	X		X		X		X		X		X	
AT-2	X				X				X			
Corte de filtro		X				X				X		
Inspección de tapones		X				X				X		

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Evaluación de la propuesta

Esta propuesta considera efectuar una evaluación técnicoeconómica al mantenimiento de tercer nivel realizado actualmente a todos los motores Caterpillar de la serie 3208 utilizados, con el propósito de establecer acciones y procedimientos que permitan mejorar las condiciones y tiempos de vida de los motores.

Se puede considerar extender el período entre *overhaul*, por lo que se puede estimar que esta medida contempla efectuar, anualmente, *overhaul* a cada motor. Además se debe evaluar la implementación de técnicas de mantenimiento preventivo que permitan monitorear e indicar el momento apropiado de la ejecución de los *overhaul*, considerando para ello las variables de carga de trabajo y contexto operacional.

Esta implementación obliga a contar con instrumental y personal altamente calificado en técnicas de mantenimiento preventivo. Para satisfacer

esta necesidad se debe considerar personal e instrumental adecuado con las necesidades del mantenimiento.

El desarrollo de este proyecto acarreará beneficios técnicos y económicos:

- En términos económicos: el extender el período entre *overhaul* producirá un importante ahorro de recursos, tanto humanos como materiales, por concepto de mantenimiento, uso de piezas y partes, hasta el término de su vida útil y mayor disponibilidad del equipo.
- En lo técnico: esta medida permitirá disminuir los ciclos de mantenimiento de tercer nivel, durante el ciclo de vida del equipo, coherente con esto; al reducir las intervenciones del equipo se eliminarán también las probabilidades de que el equipo falle en su etapa *post overhaul*.

Debido a que se postula modificar las acciones de mantenimiento propuestas por el fabricante, este proyecto tendrá un impacto en la planificación y programación del mantenimiento; asimismo se pretende cambiar el mantenimiento por catálogo del equipo por la implantación del mantenimiento preventivo. Este cambio conlleva la implementación de sistemas de diagnóstico que requieren de instrumental especializado y mano de obra altamente especializada, que de acuerdo con lo mencionado en los puntos anteriores, este requerimiento sería satisfecho por el personal y el equipamiento adecuado.

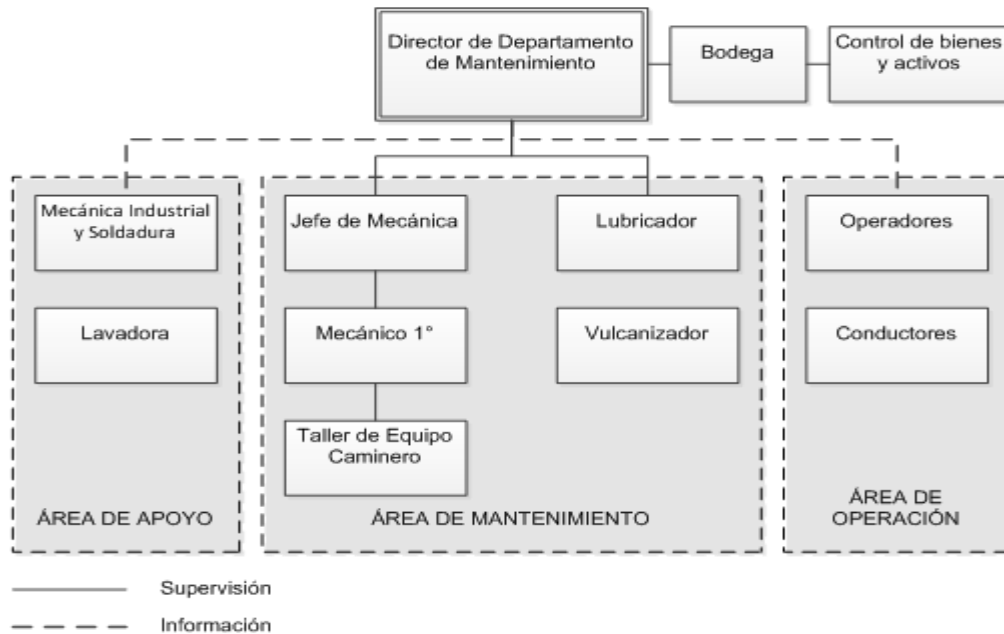
### **3.6. Estructura organizacional**

Para la ejecución del mantenimiento preventivo es necesario crear una estructura organizativa dentro del concepto de la función del mantenimiento donde coexisten elementos de gestión (supervisión y control) y operativos (ejecución de las intervenciones).

Para su implementación es necesario disponer de los datos técnicos de acuerdo con las características constructivas de los equipos de la institución, así como de un historial que permitirá predecir el tiempo para su reparación. Crear un plan de mantenimiento y de revisiones periódicas de los equipos o de componentes críticos y para cada uno de ellos la orden de trabajo correspondiente. Controlar su ejecución y captar la información generada, para analizar el comportamiento y determinar la probabilidad de posibles fallas. Este conjunto de tareas se podrá realizar con la elaboración de un plan y programa de mantenimiento.

La asistencia técnica del departamento de mantenimiento conformará un equipo bien estructurado y constará de un director del departamento de mantenimiento, un jefe de talleres, jefe de mecánica, mecánico de primera, ayudantes de mecánica, lubricador, un vulcanizador y un guardalmacén; la respectiva distribución del personal se muestra en el organigrama que se presenta a continuación:

Figura 26. **Organigrama del Departamento de Mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Estructura funcional

El Departamento de Mantenimiento es el responsable de establecer métodos para emprender los trabajos de mantenimiento, recopilación, procesamiento de la información y la formulación de informes; además establecerá un historial de fallas, definirá presupuestos relacionados con el mantenimiento y preverá los *stocks* a utilizarse. A continuación se presenta el manual de funciones de cada integrante del departamento de mantenimiento.

Tabla XII. **Manual de funciones del personal del Departamento de Mantenimiento**

### **DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO**

El director del Departamento de Mantenimiento es la persona, en la que el director general o director de obras delega toda el área de mantenimiento, sobre todo desde el punto de vista organizativo y económico. Sus responsabilidades son:

- Asegurar que se cumpla con los objetivos estratégicos de la institución en el área de Mantenimiento.
- Elaborar el presupuesto de Mantenimiento.
- Definir las políticas generales del departamento, de acuerdo con los objetivos estratégicos de la empresa.

El perfil de la persona que ocupa este puesto es el siguiente

- Ingeniero de mantenimiento, industrial, mecánico o carreras afines.
- Gran experiencia práctica (a menos 5 años).
- Formación en mantenimiento productivo total (TPM), mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), mantenimiento de equipo caminero, gestión del mantenimiento, entre otros. Es decir, formación específica en las más modernas técnicas de organización y gestión.
- Inglés técnico con capacidad suficiente para leer con fluidez, documentación y manuales que requiera interpretarlos.

Continuación de la tabla XII.

### **JEFE DE MECÁNICA**

Su misión es coordinar con el director del Departamento de Mantenimiento a fin de que las tareas se cumplan según lo establecido en los planes y programas. Su perfil es el del personal con una formación en tecnología en mantenimiento o en carreras afines.

### **MECÁNICO DE 1°**

Es el encargado de reparaciones menores. Su misión es el desmontaje, reparación, sustitución, montaje y ajuste de los elementos mecánicos de un equipo o instalación. Su perfil profesional vendrá dado por una formación en técnico con certificación en mecánica automotriz o especialidades afines.

### **AYUDANTES DE MECÁNICA**

Son los responsables de realizar todo cuanto requiera el mecánico de primera, es decir serán los auxiliares de la mecánica en los talleres, tendrán ciertas limitaciones en algunas tareas programadas. También serán los encargados del orden y la limpieza del taller. Su perfil profesional será mínimo título de bachillerato en mecánica automotriz o especialidades afines.

Continuación de la tabla XII.

### **VULCANIZADOR**

Es el encargado de ejecutar las tareas de vulcanización en general, del equipo y vehículos de la institución.

### **BODEGUERO**

Encargado de que la bodega o almacén de repuestos se encuentre limpio y ordenado, con un sistema que permita localizar fácilmente lo que necesita. Es el encargado de comunicar al responsable de compras que un repuesto determinado se ha agotado o ha rebasado el nivel de *stock* mínimo. Es el responsable de realizar el control de inventarios de *stock* de repuestos y asegurar que los movimientos de la bodega se hagan de manera controlada. El perfil es el de una persona muy organizada y buen conocedor de los materiales que se usan para las diversas tareas de mantenimiento.

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. El establecimiento de un programa de capacitación para el personal será de gran ayuda para una adecuada ejecución del plan de mantenimiento, así como de la operación de los motores.
2. A través del seguimiento de procedimientos apropiados de mantenimiento preventivo esenciales como lubricación, los operadores contribuyeron a prolongar la vida útil de los motores y minimiza los costos de operación y mantenimiento.
3. Un eficiente control de las operaciones de mantenimiento es importante para que el motor preste el servicio para el cual fue diseñado. Se debe tener en cuenta que el cuidado y mantenimiento son de igual importancia, ya que si no hay un buen mantenimiento preventivo y sin una buena operación, el motor se dañará y no cumplirá con su función.
4. Uno de los mayores errores en el manejo y uso de los motores es el de hacerlos operar por largos períodos, sin realizar los paros necesarios; para efectuar un mantenimiento de las mismas y ejecutarlo únicamente cuando hay fallas, esto incrementará los costos, tanto de repuestos, como de personal.
5. Cuando un motor ha sido sometido a trabajos forzados y no se le ha dado una correcta operación, ni un mantenimiento adecuado, esto provocará averías, lo cual eleva el costo de reparación y de repuestos requeridos por los mismos.





## RECOMENDACIONES

1. Elaborar una bitácora para registrar todas las intervenciones de mantenimiento que se han realizado en el motor con la finalidad de establecer las bases para toma de decisiones en mantenimiento preventivo, correctivo, predictivo, proactivo, bajo condiciones y clase mundial.
2. Establecer un registro de proveedores de repuestos, materiales y servicios externos, que permitan una mayor eficiencia y eficacia en la gestión del mantenimiento.
3. Elaborar presupuestos de operación y de inversión que faciliten agilidad en los procesos administrativos.
4. Motivar al personal mediante la capacitación en diferentes áreas de la gestión del mantenimiento.



## BIBLIOGRAFÍA

1. *Caterpillar. Intervalos de mantenimiento (Maintenance intervals)*. California, Estados Unidos de América: Caterpillar, 2010. 110 p.
2. GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier. *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. 2a ed. España: Fundación CONFEMETAL, 2005. 160 p.
3. HEIZER, Jay; RENDER Barry. *Dirección de la producción y de las operaciones: Decisiones tácticas*. 8a ed. España: Pearson Educación, 2007. 325 p.
4. MORÁN, Iván. *Introducción a los sistemas hidráulicos*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2009. 250 p.
5. NAHMIAS, Steven. *Análisis de la producción y operaciones*. 5a ed. México: Compañía Editorial Continental, 2007. 325 p.
6. PADIÑAS, José. *Sistemas auxiliares del motor*. 2a ed. España: Editex, 2012. 375 p.
7. PÉREZ BELLÓ, Miguel Ángel. *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección*. España: Paraninfo, S. A., 2011. 416 p.

