



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

**GUÍA PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MAQUINARIA Y EQUIPO, EN  
ESTACIONES DE BOMBEO DE CRUDO DE PERENCO GUATEMALA LTD.,  
EN EL MARCO DE DISCIPLINA OPERATIVA**

**Amilcar Omar Orozco Corado**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño

Guatemala, marzo de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MAQUINARIA Y EQUIPO, EN  
ESTACIONES DE BOMBEO DE CRUDO DE PERENCO GUATEMALA LTD.,  
EN EL MARCO DE DISCIPLINA OPERATIVA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**AMILCAR OMAR OROZCO CORADO**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, MARZO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luís Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**GUÍA PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MAQUINARIA Y EQUIPO, EN  
ESTACIONES DE BOMBEO DE CRUDO DE PERENCO GUATEMALA LTD.,  
EN EL MARCO DE DISCIPLINA OPERATIVA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 20 de agosto de 2004.



Amílcar Omar Orozco Corado



UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 04 de noviembre de 2009  
Ref.EPS.DOC.1567.11.09.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.


Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Amilcar Omar Orozco Corado** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. **200011134**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"GUÍA PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MAQUINARIA Y EQUIPO, EN ESTACIONES DE BOMBEO DE CRUDO DE PERENCO GUATEMALA LTD., EN EL MARCO DE DISCIPLINA OPERATIVA"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo  
EESZ/ra





UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 04 de noviembre de 2009  
Ref.EPS.D.767.11.09

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

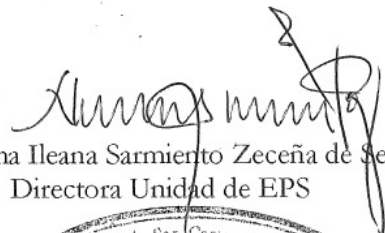
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"GUÍA PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MAQUINARIA Y EQUIPO, EN ESTACIONES DE BOMBEO DE CRUDO DE PERENCO GUATEMALA LTD., EN EL MARCO DE DISCIPLINA OPERATIVA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Amilcar Omar Orozco Corado** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al Trabajo de Graduación GUÍA PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MAQUINARIA Y EQUIPO, EN ESTACIONES DE BOMBEO DE CRUDO DE PERENCO GUATEMALA LTD., EN EL MARCO DE DISCIPLINA OPERATIVA del estudiante Amilcar Omar Orozco Corado, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. Julio César Campos Paiz  
**DIRECTOR**



Guatemala, marzo de 2010

JCCP/behdei



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: **GUÍA PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MAQUINARIA Y EQUIPO, EN ESTACIONES DE BOMBEO DE CRUDO DE PERENCO GUATEMALA LTD., EN EL MARCO DE DISCIPLINA OPERATIVA**, presentado por el estudiante universitario **Amilcar Omar Orozco Corado**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, marzo de 2010



/gdech



## **AGRADECIMIENTOS A:**

- DIOS** Por ser mi punto de apoyo y mi fortaleza en cada momento de mi vida.
- MIS PADRES** Amilcar Blandemiro Orozco Orozco y Francisca Corado Mejia de Orozco, por guiarme a lo largo de este camino, por estar siempre a mi lado apoyándome incondicionalmente y por brindarme todo el amor del mundo.
- MIS HERMANOS** Vlady, Delmy y Pamela, por todo el cariño que me han dado, por estar a la par mía aconsejándome y por llenar mi vida de alegría.
- MI NOVIA** Iris Reyes, por motivarme a culminar este sueño que hoy se convierte en realidad.
- MIS PRIMOS** Lenin, Cesar, Luis y Amilcar, por sus buenos consejos y por ser un ejemplo a seguir.
- MIS AMIGOS** Compañeros de vida con quienes compartí la convivencia en las aulas, noches de desvelo, tristezas, alegrías y éxitos.



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	V
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	VII
<b>GLOSARIO</b>	IX
<b>RESUMEN</b>	XV
<b>OBJETIVOS</b>	XVII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XIX
<b>1. FASE DE INVESTIGACIÓN. GENERALIDADES DE LA EMPRESA PERENCO GUATEMALA LIMITED.</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción de una Estación de Bombeo de Crudo de Perenco.	1
1.1.1 Descripción del área operativa.	1
1.1.2 Estación de bombeo.	2
1.1.3 Elementos de un conjunto de bombeo.	3
1.1.4 Descripción de maquinaria y equipo de bombeo.	5
1.1.5 Características del petróleo bombeado.	10
1.2 Disciplina Operativa	11
1.2.1 Qué es disciplina operativa.	11
1.2.2 Etapas del proceso de disciplina operativa.	12
1.2.3 Realización de manual DO de actividades de mantenimiento preventivo de motores Caterpillar 3406, bombas IMO y bombas Booster.	26
1.2.4 Implementación de manual de DO de actividades de mantenimiento preventivo.	27

<b>2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.</b>	<b>29</b>
2.1 Conceptos generales de mantenimiento.	29
2.1.1 Definición de mantenimiento.	29
2.1.2 Diferentes tipos de mantenimiento.	30
2.1.3 Mantenimiento preventivo.	31
2.1.4 Importancia del mantenimiento preventivo.	32
2.1.5 Atribuciones del mantenimiento preventivo.	33
2.2 Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo para maquinaria y equipo de bombeo de crudo de Perenco Guatemala Limited.	34
2.2.1 Determinación de metas y objetivos.	34
2.2.2 Requerimientos de un Plan de Mantenimiento Preventivo.	35
2.2.3 Bases técnicas para el diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo.	38
2.2.4 Condiciones operativas de los motores Caterpillar 3406, bombas IMO y Booster.	38
2.2.5 Determinación de periodicidad de mantenimiento.	49
2.2.6 Elaboración del programa de actividades de mantenimiento preventivo.	50
2.3 Implementación de Plan de Mantenimiento Preventivo para motores industriales Caterpillar 3406, bombas IMO y bombas Booster.	51
2.3.1 Plan de Mantenimiento Preventivo para motores Caterpillar 3406.	51
2.3.2 Plan de Mantenimiento Preventivo para bombas IMO 8L.	55
2.3.3 Plan de Mantenimiento Preventivo para bombas Booster GP.	58
2.3.4 Monitoreo de equipo.	60

2.3.5	Análisis de variables monitoreadas.	61
2.3.6	Análisis de lubricante Mobil Gard.	62
2.3.7	Actividades a realizar en cada mantenimiento.	65
2.3.8	Implementación de Plan de Mantenimiento Preventivo.	65
2.3.9	Formatos de monitoreo de equipo y control de actividades de mantenimiento.	66
<b>CONCLUSIONES</b>		71
<b>RECOMENDACIONES</b>		73
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		75
<b>APÉNDICE</b>		77



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación geográfica de la operación de Perenco Guatemala Ltd.	2
2.	Estación de bombeo.	3
3.	Diagrama de flujo de proceso.	4
4.	Partes del motor Caterpillar 3406.	7
5.	Bomba IMO 8L.	9
6.	Bomba Booster GP 3196.	9
7.	Proceso de disciplina operativa.	13
8.	Codificación de procedimientos.	16
9.	Ejemplos de símbolos API.	39
10.	Gráfica NBT vs. % de Azufre en el combustible.	42
11.	Control de análisis de aceite S.O.S.	64
12.	Formato para la elaboración de procedimientos.	77

### TABLAS

I.	Parámetros de evaluación de procedimientos.	19
II.	Criterios de evaluación.	28
III.	Tabla de viscosidades (SAE) vs. temperatura ambiente (°C y °F).	40
IV.	Propiedades del aceite Mobil Gard 412.	41
V.	Intervalo de análisis S.O.S. de aceite de motor.	63
VI.	Ruta de inspección horas impares.	67
VII.	Ruta de inspección horas pares.	68
VIII.	Control de actividades MP para motores Caterpillar 3406.	69
IX.	Control de actividades MP para bombas IMO 8L.	70
X.	Control de actividades MP para bombas Booster GP 3196.	70





## LISTA DE SÍMBOLOS

“	Pulgadas.
<b>Km.</b>	Kilómetros.
<b>Bls.</b>	Barriles.
<b>Gls.</b>	Galones.
<b>PSI.</b>	Libras sobre pulgada cuadrada (por sus siglas en inglés).
<b>%</b>	Porcentaje.
<b>CAT</b>	Caterpillar.
<b>GP</b>	Bombas Goulds (por sus siglas en inglés).
<b>ANSI</b>	Instituto Nacional Americano de Estándares (por sus siglas en inglés).
<b>API</b>	Instituto Americano del Petróleo (por sus siglas en inglés).
<b>DO</b>	Disciplina operativa.
<b>MP</b>	Mantenimiento preventivo.
<b>IMAC</b>	Integridad mecánica y aseguramiento de calidad.
<b>OPS-MGP-01</b>	Nomenclatura para procedimiento de mantenimiento general preventivo numero uno.
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit.
<b>°C</b>	Grados Centígrados.
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto.
<b>SAE</b>	Sociedad de Ingenieros Automotrices (por sus siglas en inglés).
<b>NBT</b>	Número de Base Total.
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (por sus siglas en inglés).
<b>S.O.S.</b>	Muestreo de Aceite Programado (por sus siglas en inglés).



## GLOSARIO

<b>Aceite</b>	Sinónimo de lubricante en estado líquido.
<b>Auditoría</b>	Revisión realizada periódicamente para determinar el estado del objeto de análisis.
<b>Bomba</b>	Es una máquina hidráulica empleada para elevar, transferir o comprimir líquidos y gases, en definitiva son máquinas que realizan un trabajo para mantener un líquido en movimiento; consiguiendo así aumentar la presión o energía cinética del fluido.
<b>Bomba centrífuga</b>	Bomba dinámica que transforma la energía mecánica en energía cinética sobre un fluido.
<b>Bomba rotatoria de desplazamiento positivo</b>	En este tipo de bombas la energía mecánica recibida se transforma directamente en energía de presión que se transmite hidrostáticamente en el sistema hidráulico.
<b>Camión cisterna</b>	Vehículo para transportar fluidos con depósito “pipa” acoplada en parte trasera.
<b>Caudal</b>	Volumen transportado por unidad de tiempo.

<b>Cavitación</b>	Fenómeno que ocurre cuando un líquido fluye por una región donde la presión es menor que su presión de vapor, el líquido hierve y forma burbujas de vapor que son transportadas por el líquido hasta llegar a una región de mayor presión, donde el vapor vuelve súbitamente a su estado líquido (“aplastándose” bruscamente las burbujas).
<b>Cojinete</b>	Dispositivo mecánico utilizado en ejes móviles, su función es servir de apoyo y guía.
<b>Combustible</b>	Material capaz de generar energía cuando se cambia o transforma su estructura química.
<b>Crudo</b>	Petróleo sin procesar.
<b>Crudo pesado asfáltico</b>	Tipo de petróleo crudo según clasificación por gravedad API y por tipo de hidrocarburo presente en su composición.
<b>Decantación</b>	Proceso de separación de fluidos por acción de la gravedad.
<b>Detergente</b>	Aditivo en un aceite lubricante cuya función es evitar la formación de depósitos o barnices sobre las superficies internas.
<b>Diámetro</b>	Dos veces el radio de una circunferencia.
<b>Diesel</b>	Combustible hidrocarburo producto de la destilación del Petróleo.
<b>Dispersante</b>	Aditivo en un aceite lubricante cuya función es mantener en suspensión todas las impurezas sólidas formadas evitando que estas se aglomeren.

<b>Energía</b>	Capacidad de realizar un trabajo.
<b>Equipo crítico</b>	Es todo aquel sistema, equipo o componente cuya falla resultaría permitiría o contribuiría a originar una exposición al personal a una cantidad suficiente de sustancias peligrosas, lo cual resultaría en una lesión seria o muerte, en un daño considerable a las instalaciones y al medio ambiente.
<b>Espesor</b>	Sinónimo de grosor.
<b>Estación aguas abajo</b>	Estación de bombeo que recibe el fluido enviado por la estación aguas arriba.
<b>Estación aguas arriba</b>	Estación de bombeo en envía el fluido hacia la estación aguas abajo.
<b>Filtro</b>	Componente utilizado en sistemas hidráulicos o neumáticos, su función es evitar que cuerpos extraños sólidos ingresen al sistema y dañen partes móviles (brindan protección a bombas de desplazamiento positivo, motores de combustión interna).
<b>Gravedad API</b>	Gravedad específica según el Instituto Americano del Petróleo.
<b>Gravedad específica</b>	Es la razón de la densidad de una sustancia a la densidad del agua a 4 °C.
<b>Grupos electrógenos</b>	Conjunto compuesto por unidad generadora eléctrica acoplada a motor de combustión interna, sinónimo de generador.

<b>Instrumentación</b>	Conjunto de instrumentos de medición que permiten tener control de variables físicas (nivel, presión, temperatura, etc.) en un proceso determinado.
<b>Límite operacional</b>	Valores máximos o mínimos de las variables operacionales operacionales (temperatura, revoluciones, presión, etc.) en los cuales el equipo o sistema pueden trabajar sin sufrir daño alguno.
<b>Lubricación</b>	Control de la fricción y desgaste mediante la introducción de una película reductora (lubricante) entre dos superficies en contacto con movimiento relativo.
<b>Lubricante</b>	Son sustancias sólidas, semisólidas o líquidas de origen animal, vegetal, mineral o sintético, que se utilizan para reducir el Rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento.
<b>Manómetro</b>	Instrumento indicador de la presión existente en un punto determinado dentro de un sistema hidráulico o neumático.
<b>Mantenimiento</b>	Toda acción encaminada a preservar la funcionabilidad de un equipo o sistema.
<b>Manual</b>	Conjunto de lineamientos, normas y/o procedimientos que rigen el funcionamiento de un equipo o sistema en particular.
<b>Motor</b>	Maquina capaz de realizar un trabajo.
<b>Motor de combustión interna</b>	Maquina que transforma la energía generada en una reacción química (combustión) en energía mecánica.

<b>Numero de base total</b>	Valor que nos permite establecer el grado de aditivos basicidad de un lubricante, la función de este aditivo es neutralizar los residuos ácidos de la combustión.
<b>Oleoducto</b>	Tubería encargada del transporte de petróleo o sus derivados en estado líquido.
<b>Petróleo</b>	Según su etimología significa aceite de roca, por su composición química es denominado hidrocarburo, siendo la base para la elaboración de combustibles.
<b>Presión</b>	Fuerza por unidad de área.
<b>Procedimiento</b>	Conjunto de pasos a seguir en un orden establecido, con el fin de estandarizar una actividad o proceso determinado.
<b>Scada</b>	Sistema de instrumentación que permite observar de manera remota un conjunto de variables operativas.
<b>Sello Mecánico</b>	Componente mecánico utilizado en ejes móviles de bombas, su función es contener el fluido bombeado.
<b>Sensor</b>	Dispositivo encargado de percibir un cambio físico que luego es interpretado por un sistema de control.
<b>Servicio</b>	Conjunto de actividades de mantenimiento.
<b>Temperatura</b>	Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de un cuerpo o del ambiente.
<b>Tubería</b>	Ducto a través del cual se transportan fluidos en una instalación.

<b>Válvula</b>	Elemento de restricción de flujo en un sistema neumático o hidráulico.
<b>Viscosidad</b>	Es la propiedad de un fluido que ofrece resistencia a las tensiones de cortadura.
<b>Viscosidad cinemática</b>	Es el cociente de la viscosidad absoluta por la densidad del fluido.



## RESUMEN

La industria petrolera del país se encuentra principalmente establecida en la parte norte del país, existiendo más de 400 km de Oleoducto que interconectan 2 campos petroleros , una refinería una terminal de embarque. Seis estaciones de bombeo permiten el transporte de alrededor de 13000 Bls de crudo de los campos hacia la terminal.

El proceso de bombeo básicamente consiste en recepción-almacenamiento de producto, paso por bombas centrifugas, paso por elemento filtrante y por último paso-envío por bomba de desplazamiento positivo.

Disciplina operativa es un proceso de mejora continua de las áreas de personal, tecnología e instalaciones que permite desarrollar las actividades operativas y de mantenimiento de manera segura. Por medio de este proceso es posible generar manuales DO de mantenimiento que regulen actividades.

Mantenimiento es un conjunto de acciones a realizar con el fin de asegurar el funcionamiento normal, la eficiencia y el buen estado de un sistema o equipo. El mantenimiento preventivo se realiza con el fin de prevenir, detectar o corregir defectos tratando de evitar fallas.

Las principales ventajas que se presentan al utilizar un mantenimiento preventivo son mayor confiabilidad y duración de la maquinaria; disminución del tiempo muerto; disminución de repuestos existentes en almacén; uniformidad de actividades de mantto. y menor costo de reparaciones.

Para el diseño de un plan de mantenimiento preventivo es necesario tomar en consideración 5 aspectos:

- Metas y objetivos.
- Límites de aplicación del programa.
- Bases Técnicas, principalmente las condiciones operativas.
- Periodicidad de mantenimiento.
- Elaboración del programa de mantenimiento.

El programa de mantenimiento consta de tres planes MP que definen las actividades a realizar y su frecuencia. Diseñado específicamente para Motores Caterpillar 3406, Bombas IMO 8I y Bombas Booster GP 3296.

El monitoreo de equipo y el análisis de variables dentro del programa de mantenimiento preventivo permite determinar el estado de la maquinaria y predecir posibles fallas en componentes críticos.

La implementación inicia con la divulgación del programa, designación de tareas, recolección y análisis de datos.

## **OBJETIVOS**

### **Generales:**

1. Realizar una Guía para el Diseño e Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo para maquinaria y equipo de bombeo de crudo en Estaciones de Bombeo de Perenco en el marco de Disciplina Operativa.
2. Capacitar al personal operativo y/o de mantenimiento sobre el uso de Manuales de Disciplina Operativa y Planes de Mantenimiento Preventivo, con el fin de realizar las actividades operativas de una manera segura y prolongar la vida útil de la maquinaria manteniéndola en condiciones normales de funcionamiento.

### **Específicos:**

1. Aumentar la vida y rentabilidad de la maquinaria y equipo de bombeo de las Estaciones de Bombeo de Perenco Guatemala Limited.
2. Reducir la utilización de mantenimiento correctivo, incrementar el tiempo entre reparaciones, mantener disponibilidad de maquinaria y reducir costos.
3. Incrementar la productividad y eficiencia de la Estación de Bombeo.

4. Detección de causas raíces de problemas y fallas en los equipos a monitorear en el plan de mantenimiento preventivo.
5. Mejora en las condiciones de trabajo de operadores al momento de la implementación del manual de disciplina operativa, esto permitirá el trabajo en condiciones seguras y el buen funcionamiento de la maquinaria y equipo.
6. Reducción de incidentes y accidentes en actividades de mantenimiento preventivo. Eliminación de condiciones inseguras en equipos críticos.

## **INTRODUCCIÓN**

En las Estaciones de Bombeo de Petróleo de la Empresa Perenco Guatemala Limited con operaciones en los departamentos de Petén, Alta Verapaz e Izabal se desarrollará una guía para el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para maquinaria y equipo de bombeo en el marco de disciplina operativa.

El presente trabajo se ha dividido en dos capítulos, el primero describe las generalidades de la empresa; la maquinaria y equipo sujeto de este proyecto y nos introduce a la parte de Disciplina Operativa.

El segundo capítulo abarca el área de mantenimiento, dando los lineamientos del diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo. Se incluye una propuesta de frecuencia de actividades de mantenimiento y formatos para la implementación del programa con base en manuales del fabricante de cada máquina.



# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN.**

## **GENERALIDADES DE LA EMPRESA PERENCO GUATEMALA LIMITED**

### **1.1 Descripción de una estación de bombeo de crudo de Perenco**

#### **1.1.1 Descripción del área operativa**

Perenco Guatemala Limited es la empresa petrolera más grande del país, sus operaciones se encuentran establecidas en la parte norte del territorio nacional. Cuenta con dos campos de extracción y producción de crudo estos son:

Campo Xan: que se encuentra ubicado al norte del municipio de San Andrés, departamento de Petén, encontrándose a una distancia de 686 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala a una altura de 192” sobre el nivel del mar. Se caracteriza por ser el campo con mayor producción, es donde nace el oleoducto por el que se traslada el crudo hasta la Terminal Piedras Negras donde se embarca el crudo al extranjero.

Campo Rubelsanto: En este campo se encuentran los primeros pozos petroleros del país, por su antigüedad la producción se da en menor porcentaje. Este campamento está ubicado en el municipio de Chisec, Alta Verapaz. Está localizado a 127 kilómetros de Cobán a 132 metros sobre el nivel del mar.

Adicionalmente a los dos campos petroleros Perenco cuenta con la Refinería La Libertad donde se realiza el proceso de producción de asfalto y de sus derivados, del crudo que se extrae del campamento Xan, se encuentra ubicada a 2 kilómetros del municipio de La Libertad, Peten (ver figura 1).

**Figura 1. Ubicación geográfica de la operación de Perenco Guatemala Ltd.**



Fuente: **Cuaderno de notas Perenco Guatemala Ltd.** Pág. 110

El crudo extraído es transportado por medio de un Oleoducto de 474.41 Km. de longitud a lo largo del cual se encuentran distribuidas seis estaciones de bombeo, las cuales son Tamariz, El Nance, Raxruha, Chahal, Semox y río Frío.

### **1.1.2 Estación de bombeo**

La experiencia y las modalidades del transporte de crudos por tuberías (oleoductos) han dado respuestas satisfactorias a las necesidades de despachar y recibir diariamente grandes volúmenes de petróleo desde los campos petrolíferos a las refinerías y/o terminales.



La figura 2 presenta una vista panorámica de una estación de bombeo ubicada en un tramo de oleoducto que comunica el campo petrolero con la terminal de embarque.

**Figura 2. Estación de bombeo.**



La principal función de una estación de bombeo es transformar la energía mecánica en energía hidráulica que permita transportar el petróleo a través del oleoducto ininterrumpidamente manteniendo condiciones poco variables de caudal y presión. Adicionalmente una estación de bombeo permite el almacenamiento de crudo, la carga y descarga de camiones cisternas, decantación de agua presente aun en el petróleo, así también permite operaciones de mantenimiento de oleoducto, actividades administrativas y de logística.

### **1.1.3 Elementos de un conjunto de bombeo**

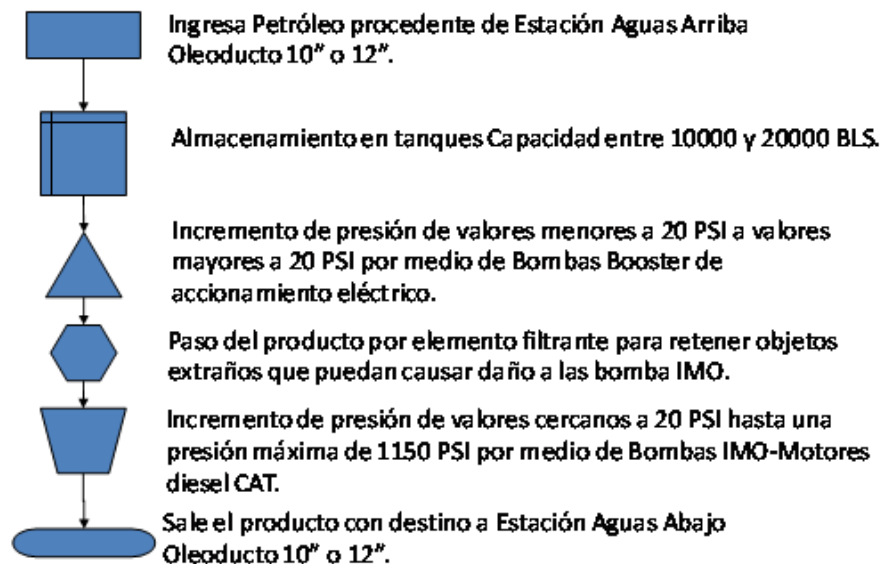
Un sistema de bombeo no varía considerablemente de una locación a otra, el conjunto de bombeo está conformado básicamente por los mismos equipos y/o componentes presentando pequeñas variantes en lo que respecta a la distribución de los mismos.

En el caso de Perenco Guatemala Limited, un conjunto de bombeo esta conformado por un depósito de fluido a bombear que permite mantener un ritmo de bombeo y almacenaje de producto, motores Caterpillar 3406 encargados de proporcionar la energía mecánica a las bombas de desplazamiento positivo IMO 8L que son las encargadas de transformar dicha energía en energía hidráulica necesaria para transportar el crudo a través del oleoducto.

Elementos que complementan la instalación son las bombas Booster que se encargan de mantener un flujo de crudo de alimentación hacia las bombas IMO a una presión necesaria dentro de los límites operacionales. Motores eléctricos van acoplados a las bombas Booster y grupos electrógenos Caterpillar 3306 son los encargados de proporcionar la energía eléctrica necesaria para la operación.

Las líneas o tuberías son las venas que permiten el flujo de crudo de un punto a otro, existe variedad de diámetros, espesores y accesorios de las mismas acorde a un diseño hidráulico establecido.

**Figura 3. Diagrama de flujo de proceso.**



Todos los elementos antes mencionados forman parte de un proceso cuyo diagrama de flujo se presenta en la figura 3. Adicional a estos componentes se encuentran los dispositivos de seguridad encargados de proteger a los equipos en caso de que las condiciones de trabajo se salgan de los límites permisibles operacionales, podemos mencionar válvulas de seguridad y de alivio, sensores de presión y temperatura, paros por emergencia, etc.

Son de vital importancia todos los dispositivos de instrumentación de medición de variables de nivel, temperatura y presión. Siendo más específicos hablamos del sistema Scada, manómetros análogos y digitales de distintas escalas y termómetros.

#### **1.1.4 Descripción de maquinaria y equipo de bombeo**

Una estación de bombeo está compuesta por un conjunto de elementos que permiten llevar a cabo la operación de transporte de crudo de la mejor manera. El presente trabajo de investigación estudiara tres equipos críticos de una estación de bombeo los cuales son los Motores Caterpillar 3406, las Bombas IMO 8L y las Bombas Booster.

##### **Motores Caterpillar 3406**

Los motores Caterpillar de la serie 3406 son motores de combustión interna diesel de inyección directa de combustible de cuatro tiempos y seis cilindros en línea. Cada culata de cilindro tiene dos válvulas de admisión y dos válvulas de escape.

Los balancines y las válvulas son accionados por el árbol de levas. La acción es llevada a cabo por levanta válvulas mecánicos y varillas de empuje.

Un gobernador mecánico controla la salida de la bomba de inyección de combustible, manteniendo las RPM del motor seleccionadas por el operador. Las bombas inyectoras individuales (una por cada cilindro) dosifican y bombean el combustible a alta presión hasta los inyectores. El avance de sincronización automático proporciona la mejor sincronización de inyección en toda la gama de velocidades del motor.

El control de la relación de combustible está ubicado en el regulador. El control de la relación de combustible limita el movimiento de la cremallera de combustible. Solo se permite inyectar la cantidad apropiada de combustible en los cilindros durante la aceleración. Esto reduce al mínimo el humo de escape.

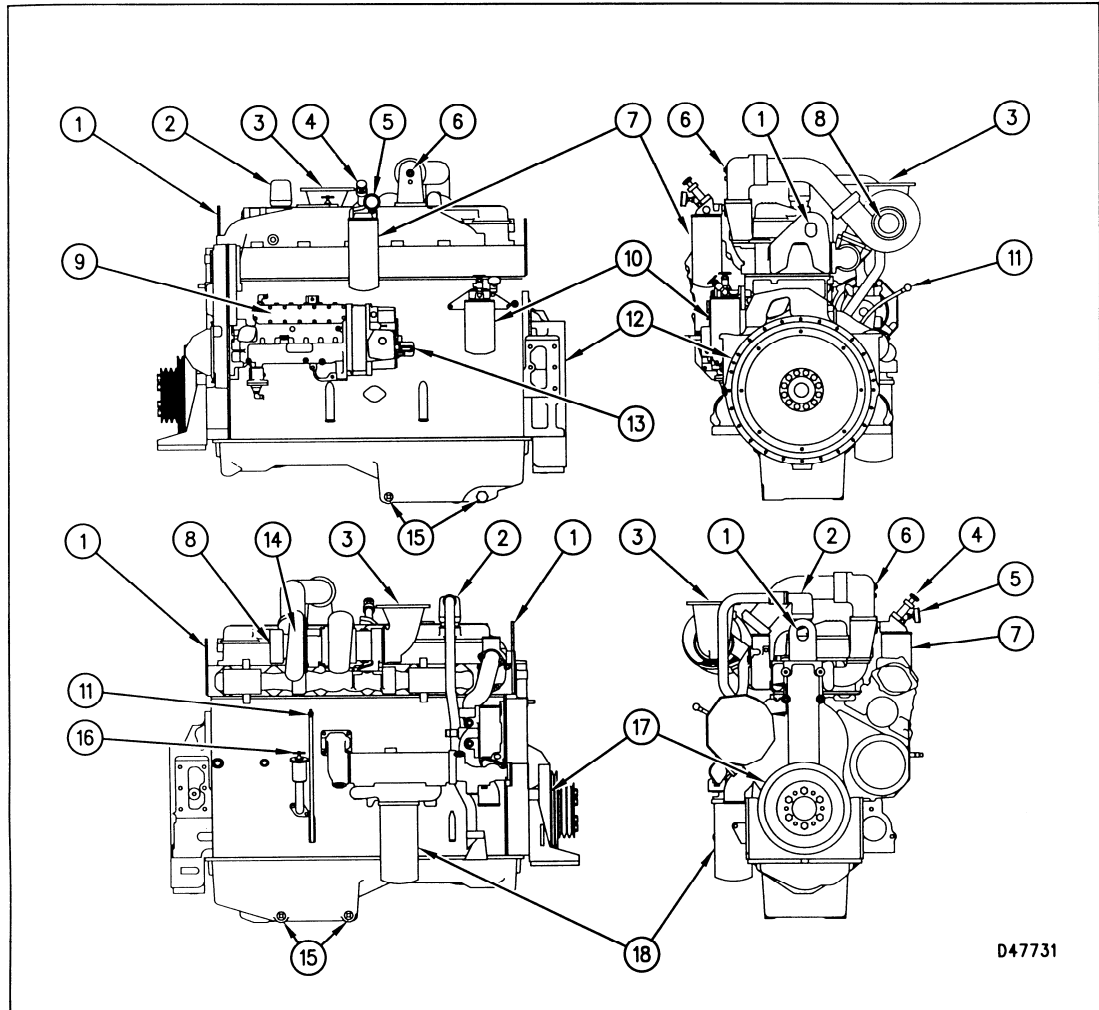
El aire de admisión atraviesa un filtro de aire. El aire es comprimido por un turbocompresor antes de entrar en los cilindros del motor. El turbocompresor está impulsado por los gases de escape del motor. El motor puede ser turbo cargado, o turbo cargado con sistema de pos enfriamiento del agua de las camisas (motor estándar).

El sistema de enfriamiento consiste en:

- Una bomba centrífuga impulsada por engranajes.
- Un termostato que regula la temperatura del refrigerante del motor.
- Un enfriador de aceite, y
- Un radiador (que dispone de un sistema de derivación).

El aceite lubricante del motor, que es enfriado y filtrado, es suministrado por una bomba de engranajes. Las válvulas de desvío proporcionan un flujo sin restricciones de aceite lubricante a las piezas del motor si la viscosidad del aceite es alta, o si se taponan el enfriador de aceite o los elementos del filtro de aceite. Las partes antes mencionadas se ilustran en la figura 4.

**Figura 4. Partes de motor Caterpillar 3406.**



Lifting Eye (1), Crankcase Breather (2), Exhaust (3), Fuel Priming Pump (4), Fuel Pressure Gage (5), Ether Starting Aid (6), Fuel Filter (7), Air Inlet (8), Fuel Pump (9), Supplemental Coolant Additive (SCA), Element (10), Oil Level Gauge (Dipstick, 11), Flywheel Housing (12), Service (Hour) Meter (13), Turbocharger (14), Oil Drain Plugs (15), Oil Filler Cap (16), Crankshaft Vibration Damper (17), and Oil Filter (18).

Fuente: **Operation & maintenance manual 3406 industrial and EPG generator set diesel engine.** Pág. 13

La eficiencia del motor, la eficiencia de los controles de emisión y el rendimiento del motor dependen de si se respetan las recomendaciones adecuadas de operación y mantenimiento.

## **Bombas IMO serie 8L**

Las bombas IMO 8L son bombas rotatorias de desplazamiento positivo de tres tornillos flotantes, donde un tornillo principal (central) hace girar dos tornillos laterales al atornillado dentro de unas cámaras de tolerancia muy restringidas, obligando al líquido de bombeo a desplazarse positivamente en dirección axial a los tornillos imprimiéndoles energía de presión.

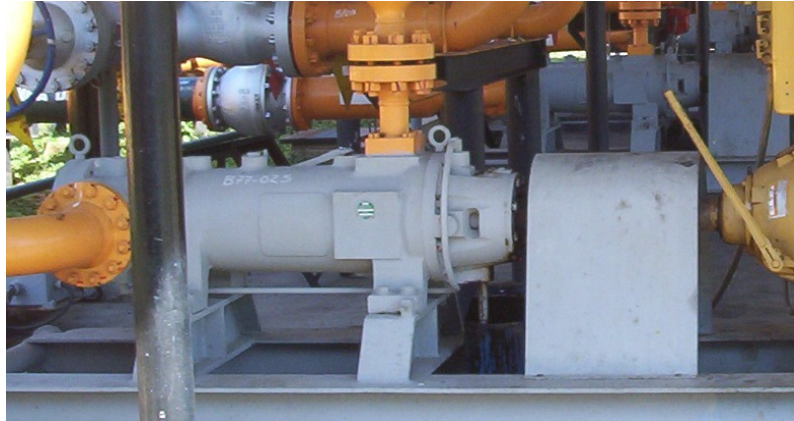
Las bombas de tornillos flotantes aplicadas en oleoductos gozan de aceptación creciente en el manejo de líquidos viscosos que al tratarlos de transportar por otros tipos de bombas resultan onerosos.

El rendimiento de estas bombas manejando fluidos de mediana viscosidad (80 centistokes) hasta las más elevadas (500 centistokes) se sitúa en el orden del 86 al 92 %. Igualmente por su bajo costo inicial y los pocos elementos que la conforman hacen atractiva su aplicación. Obviamente, presentan inconvenientes como el ser sensibles en el manejo de fluidos de baja viscosidad que se puedan incluir en una programación errónea del proceso sin tener en cuenta de adecuar el valor de la presión diferencial, con el fin de mantener la película de líquido que soporta o mantiene flotando los tornillos entre si y con los alojamientos de las carcasas.

Aunque están diseñadas para el manejo de partículas sólidas de tamaño grande (hasta 3/16 ") en suspensión, son sensibles a la abrasión si dichas partículas las componen rocas o cuerpos metálicos, motivo por el cual se hace necesario contar con filtros en las líneas de entrada.

En las estaciones de bombeo de Perenco, la fuente de energía mecánica para el funcionamiento de estas bombas son los motores Caterpillar 3406. La transmisión de potencia del motor a la bomba puede ser accionada o interrumpida por medio de un embrague manual (ver figura 5).

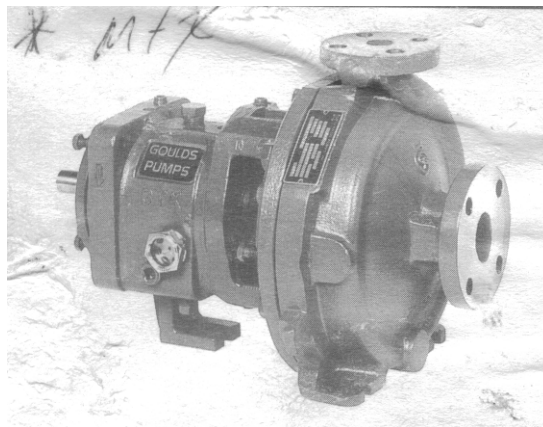
**Figura 5. Bomba IMO 8L.**



### **Bombas Booster GP 3196**

Las Booster Goulds Pumps 3196 son bombas centrifugas de montaje horizontal, impulsor abierto y que cumplen con los requerimientos de ANSI B73.1.

**Figura 6. Bomba Booster GP 3196.**



Fuente: *Instalation, operation, maintenance instructions ANSI family.* Pág. 1

La descarga se encuentra en la parte superior de la carcasa, ésta se encuentra sobre el eje central y a 90 grados de la succión de la bomba. Una sola base integral es utilizada como soporte para lograr una máxima resistencia al desalineamiento y a distorsiones por cargas agudas.

El impulsor es completamente abierto y va montado sobre el eje, el elemento encargado de mantener libre de fugas la bomba es un sello mecánico.

### **1.1.5 Características del petróleo bombeado**

Todos los petróleos: livianos, medianos, pesados y extrapesados, generalmente llamados crudos en la jerga diaria petrolera, tienen características y propiedades físicas y químicas que sirven para distinguir y apreciar unos de otros. Estas características son indispensables para el diseño de sistemas de transporte de crudo.

En sistemas de bombeo es necesario conocer los valores de viscosidad, gravedad específica y temperatura del crudo a transportar para utilizar el equipo de bombeo apropiado para dichas características (bombas, líneas, válvulas, etc.).

El petróleo transportado a través del oleoducto hasta la Terminal de embarque tiene una gravedad API entre 15.5 y 16.5, es un crudo pesado asfáltico con una viscosidad cinemática de 275 centistokes.



## **1.2 Disciplina operativa**

### **1.2.1 ¿Qué es disciplina operativa?**

Disciplina operativa es un proceso de mejora continua de las áreas de personal, tecnología e instalaciones que permite desarrollar las actividades operativas y de mantenimiento de manera segura. En cada una de las áreas antes mencionadas existen aspectos a realizar enfocados principalmente hacia la seguridad de los procesos, en lo que respecta a instalaciones es necesaria la Integridad Mecánica y Aseguramiento de Calidad (IMAC).

Referente a instalaciones y procesos, Disciplina operativa es asegurar que las actividades se desarrollen en forma consistente y segura a través de:

- Disponibilidad de procedimientos.
- Calidad de procedimientos.
- Comunicación de procedimientos.
- Cumplimiento de procedimientos.

### **Integridad mecánica y aseguramiento de calidad:**

Integridad mecánica son todos los esfuerzos que enfocamos en asegurar que la integridad de los sistemas o equipos críticos de operaciones y procesos que contengan materiales peligrosos sean mantenidos hasta el final de la vida de la instalación, reduciendo o eliminando los incidentes para garantizar la protección al personal, la comunidad, el medio ambiente y las instalaciones.

El aseguramiento de calidad son todas aquellas acciones planeadas y sistemáticamente realizadas para promover la confianza adecuada de que un producto o servicio cumpla con los requisitos dados de calidad.

Los elementos que conforman la integridad mecánica son los siguientes:

- Aseguramiento de la calidad de equipos.
- Procedimientos de mantenimiento.
- Capacitación de mantenimiento.
- Control de calidad de materiales de mantenimiento y partes de repuesto.
- Inspecciones y pruebas.
- Reparaciones y modificaciones.
- Ingeniería de confiabilidad.
- Auditorías.

Los temas de Mantenimiento Preventivo y Predictivo son importantes y necesarios para asegurar la confiabilidad de una operación segura. Tales programas ayudan a prevenir fallas prematuras y ayudan a asegurar la operabilidad de un sistema requerido para el control de una emergencia.

### **1.2.2 Etapas del proceso de Disciplina Operativa**

La Disciplina Operativa es un proceso cíclico de mejora continua. Este ciclo consta de cuatro etapas, empieza cuando se elabora un procedimiento (Etapa de disponibilidad); una vez disponible se debe revisar la calidad del mismo (Etapa de calidad); luego se comunica el procedimiento a los operadores (Etapa de comunicación) y por último verificar que el operador realice sus actividades tal y como lo dice el procedimiento (Etapa de cumplimiento), ver figura 7.

**Figura 7. Proceso de disciplina operativa.**



### **a. Disponibilidad:**

El objetivo de la etapa de disponibilidad es que el área de trabajo cuente con los procedimientos “operativos y de mantenimiento” disponibles y actualizados que requiera para el desarrollo normal de sus funciones y operaciones.

Así también que cada departamento o sección maneje adecuadamente sus registros de revisiones y actualizaciones a sus archivos de procedimientos; y que pueda medir el avance en el desarrollo de sus procedimientos.

Para la elaboración de los procedimientos de su área debe considerar los siguientes aspectos:

- Diseñe un encargado de llevar el control de procedimientos.
- Realice un listado de actividades.
- Determine qué actividades necesitan un procedimiento.
- Priorice la elaboración de procedimientos en base al riesgo involucrado, el peligro que evitan y la probabilidad que ocurra un accidente.

- Programe la elaboración de sus procedimientos.
- Utilice el formato estándar y el correlativo de su respectiva área.
- Reporte el avance del programa al comité de procedimientos.

### **Como determinar cuándo se requiere de un procedimiento:**

Determinar cuál de las funciones o actividades de mantenimiento a realizar por operadores, técnicos o colaboradores se llevan a cabo en forma repetitiva y cotidiana, para desarrollarles un procedimiento, de esta manera podrá asegurar que sus procesos se desarrollen de una forma segura y estándar.

Todas las tareas de mantenimiento, deberán tener procedimientos escritos y deberán cumplirse por todos (mecánicos, operadores, contratistas, etc.).

Además de los aspectos ya mencionados, una actividad requiere de procedimiento si se cumple la mayoría de las siguientes situaciones:

- La operación requiere para su desarrollo seguir normas, parámetros de seguridad, o leyes establecidas.
- Involucra riesgos y recomendaciones muy específicas que requiere sean conocidos por el personal.
- Implica un riesgo potencial de derrame, fuego, explosión, lesión o accidente.
- Tiene antecedentes de que en el pasado a representado pérdida de tiempo o bienes para la empresa.
- Requiere de mano de obra calificada.
- Requiere de cierto orden lógico para ser productivo.

### **Cómo priorizar el desarrollo de procedimientos:**

Luego de determinadas las actividades que necesitan un procedimiento, se elabora un listado priorizando como alta, media o baja la elaboración de los mismos basándose en los siguientes criterios:

- Peligro que evitan: fuego, explosión, derrame, lesión, intoxicación, etc.
- Severidad del incidente: alta, media, baja.
- Riesgo involucrado: alto, moderado y bajo.
- Probabilidad de que ocurra un incidente o accidente: alta, media, baja.

### **Desarrollo del procedimiento:**

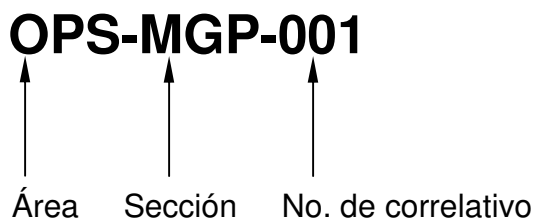
Los procedimientos deben ser elaborados por los trabajadores involucrados en la operación con el visto bueno y retroalimentación de su jefe inmediato siguiendo los siguientes pasos:

- Recopile información: pídale al técnico, operador o supervisor que describa en detalle como desarrolla la actividad.
- Observe la actividad u operación: comparar la actividad practica con lo escrito desde el inicio hasta el final observando el cumplimiento de normas de seguridad, así como los riesgos potenciales.
- Obtenga gráficos y planos: elementos ilustrativos (fotos, diagramas o graficas) que ayudan a entender el desarrollo de la actividad.
- Elabore un borrador: con base en la información recopilada y lo observado.
- Retroalimentación: deberá discutir con el operador o supervisor para afinar detalles y ampliar cualquier información.

### **Codificación de procedimientos:**

Para identificar a que área o sección pertenece cada procedimiento se clasificarán de la siguiente forma:

**Figura 8. Codificación de procedimientos**



Corresponde al procedimiento número uno de la sección Mantenimiento General y Preventivo del Área de Operaciones (consultar sección 1.1.2).

Cada gerente de área deberá codificar sus secciones o departamentos con un código de 3 letras que lo represente.

### **Formato de procedimientos:**

Con la finalidad de estandarizar la presentación de los procedimientos escritos deberá de utilizarse un formato general para todas las actividades de las distintas secciones y áreas. Los procedimientos descritos en un Manual DO de Actividades de Mantenimiento Preventivo deben de estar en un mismo formato.

**Índice de procedimientos:**

Cada supervisor de área o sección será el responsable de crear su índice de procedimientos, el cual deberá de actualizarlo con forme se vayan creando nuevos procedimientos.

**Autorización de los procedimientos:**

Una vez desarrollados y codificados los procedimientos, deberán ser enviados en original a autorización al Gerente de Área. Tanto el Gerente de Área como el supervisor que reviso el procedimiento deberán firmar el original. Antes de poner disponible un procedimiento deberá de llevar la autorización respectiva.

**Archivo de procedimientos:**

Incluir los procedimientos en Manual de Procedimientos del área, Manual de Procedimientos General (depto. de operaciones) e Intranet. Es responsabilidad de cada supervisor de área contar con su manual de procedimientos disponible y actualizado.

**b. Calidad:**

El objetivo de esta etapa es que el área de trabajo cuente con procedimientos de calidad y que correspondan a la realidad de las operaciones.

El desarrollar los procedimientos con calidad garantizara que sean seguidos en buena forma por el personal.

El supervisor de área debe verificar por lo menos una vez al año la calidad de sus procedimientos. Algunos aspectos a considerar durante el desarrollo y revisión periódica de procedimientos son:

- Claridad: El procedimiento puede ser entendido por todo mundo, en lo posible debe de evitar el uso de tecnicismos, debe llamar al equipo y herramienta por su nombre.
- Congruencia: Todo lo mencionado en el procedimiento debe de coincidir con lo que existe en el área físicamente en cuanto a identificación y localización.
- Especificidad: Evitar ambigüedades al hablar de unidades de medidas, deben coincidir las mencionadas en el procedimiento con las existentes en los instrumentos de medición.
- Actualizados: Revisar los procedimientos en forma periódica para que coincidan los cambios efectuados en procesos, maquinaria e instalaciones con los mencionados en el procedimiento.

### **Auditorías de calidad:**

Cada supervisor o gerente de área deberá revisar constantemente la calidad de sus procedimientos, esto garantizara poder detectar variaciones en los mismos y mantenerlos siempre actualizados.

Para realizar una auditoría deberá escoger al azar un número significativo de procedimientos que representen el total de los mismos e involucrar a las personas que conocen y se relacionan con la operación.



En lo que respecta a la calificación, son 10 aspectos que se evaluarán de cada procedimiento y se le dará una ponderación de 0 a 1. Al final la suma de cada aspecto le debe dar un total de 10 puntos aplicando el siguiente criterio:

- Excelente: 10.
- Muy bueno: de 9.5 a 10.
- Bueno: de 9.0 a 9.4.
- Regular: de 8.5 a 8.9.
- Requiere atención inmediata: calificación menor a 8.5.

**Tabla I. Parámetros de evaluación de procedimientos.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>Nota</b>	<b>CRITERIOS</b>
1. Fecha de última revisión.	0	<b>Nunca ha sido revisado.</b>
	0.5	<b>No ha sido revisado en el último año.</b>
	1	<b>Fue revisado en el último año.</b>
2. Autorizaciones.	0	<b>No está autorizado.</b>
	0.5	<b>Esta autorizado solo por el supervisor inmediato.</b>
	1	<b>Esta autorizado por la gerencia de área.</b>
3. Formato y estructura estándar.	0	<b>No está en el formato estándar.</b>
	0.5	<b>Está en el formato pero no tiene la estructura.</b>
	1	<b>Está en el formato y tiene la estructura.</b>
4. El procedimiento está claro, congruente, específico y actualizado.	0	<b>No se entiende.</b>
	0.5	<b>Se entiende pero no refleja la realidad.</b>
	1	<b>Se entiende y refleja la realidad de las operaciones.</b>
5. Fotografías, anexos, planos o dibujos.	0	<b>No cuenta con algunas fotografías o esquemas.</b>
	0.5	<b>Cuenta con algunas, no concuerdan.</b>
	1	<b>Son de acuerdo a la realidad de las operaciones.</b>
6. Puntos de riesgo de la operación.	0	<b>No resalta los puntos críticos y de riesgo.</b>
	0.5	<b>Resalta algunos puntos críticos de la operación.</b>
	1	<b>Resalta todos los puntos críticos de la operación.</b>
7. Revisión del procedimiento en la práctica.	0	<b>No se realiza en la práctica como dice por escrito.</b>
	0.5	<b>En la práctica tiene algunas desviaciones.</b>
	1	<b>Se realiza en la práctica como dice por escrito.</b>
8. Información técnica.	0	<b>No cuenta con información técnica, ni referencias.</b>
	0.5	<b>Cuenta con alguna información de referencia.</b>
	1	<b>Cuenta con buen soporte técnico y referencias.</b>
9. Documentación de cambios.	0	<b>No hay documentación de cambios realizados.</b>
	0.5	<b>Personal calificado realiza cambios, no hay registro.</b>
	1	<b>Hay registro, y cambios realizados por gerente de área.</b>
<b>10. Calidad de la revisión.</b>	0	<b>No está definido un grupo de revisión.</b>
	0.5	<b>Los cambios los realiza personal calificado.</b>
	1	<b>Hay un grupo de revisión bien definido y calificado.</b>

### **c. Comunicación:**

Esta etapa tiene por objetivo comunicar los procedimientos de operación y mantenimiento y verificar que lleguen a todos en buena forma. Se busca estandarizar la forma en que los operadores o técnicos desarrollan sus actividades en sus respectivas áreas de trabajo.

Cada supervisor de área debe comunicar a sus operadores los procedimientos que ha puesto disponibles en el manual de procedimientos, por medio de:

- Matriz de procedimientos: Define cuáles procedimientos debe comunicar a cada puesto.
- Matriz de conocimiento: Define a qué personas debe comunicar cada uno de los procedimientos.

La etapa de comunicación está conformada por las siguientes fases:

#### **Fase de revisión:**

Antes de iniciar el proceso de comunicación el supervisor de área debe revisar la calidad de los procedimientos y de los test de comunicación, en esta fase deberá elaborar los test de los nuevos procedimientos.

### **Fase de capacitación:**

El supervisor de área debe discutir cada uno de los procedimientos con los operadores que tenga a su cargo. Deberá también programar la comunicación de los mismos por medio de las matrices de procedimientos y conocimiento empezando a comunicar los que involucren alto riesgo y tengan mayor probabilidad de un incidente o accidente.

En esta fase se programará las fechas de las evaluaciones informando con anticipación al personal.

### **Fase de evaluación:**

Consistirá en hacer una evaluación teórica de la forma en que los operadores desarrollan sus operaciones siguiendo los procedimientos autorizados. Las evaluaciones deben de contener los aspectos más importantes del procedimiento, preguntando sobre secuencias de los pasos a seguir, los riesgos involucrados y parámetros de operación.

El operador que no apruebe las evaluaciones debe ser reevaluado para asegurar que el procedimiento fue de su entendimiento. Los criterios de evaluación se encuentran en la tabla II al final del capítulo.

### **File de personal:**

En el *file* de cada operador se archivará una copia de cada evaluación como constancia de que el procedimiento le fue comunicado.

#### **d. Cumplimiento:**

El objetivo de esta etapa es verificar que los procedimientos se cumplan tal y como lo dice el manual de procedimientos detectando desviaciones en la ejecución de los mismos. Así también certificar a cada operador o técnico como apto para realizar sus funciones en cada área de trabajo.

#### **Certificación:**

Para que un operador pueda ser certificado, primero tuvo que haber aprobado la evaluación teórica en la etapa de comunicación. Para determinar cuáles procedimientos es necesario certificar al personal revise las matrices de procedimientos y conocimientos que desarrolló en la etapa de comunicación.

La certificación debe de ser programada de la misma forma que la evaluación teórica. La evaluación práctica consiste en observar al operador en el desarrollo de una actividad, acá se evalúa también el criterio y conocimiento general de la operación.

Esta evaluación sirve también para observar desviaciones en el cumplimiento de los procedimientos. Si se observa una desviación podrían estarse dando dos situaciones; la primera que el operador no esté cumpliendo con lo que dice el procedimiento, para lo cual habría que reevaluar al operador; y la segunda que el procedimiento este incorrecto, para lo cual habría que modificar el mismo.

Tanto la evaluación práctica como la teórica deben de llevar el nombre y puesto del evaluado, el nombre del que realiza la evaluación y el visto bueno del supervisor de área; así también los criterios de evaluación son los mismos para ambas.

**Certificado de aprobación:**

A cada técnico u operador que haya aprobado satisfactoriamente sus evaluaciones (teórica y práctica), debe extendersele un certificado que lo acredite como apto para realizar la o las operaciones que se le estén evaluando.

**File de personal:**

En el *file* de cada trabajador se archivara una copia de cada certificado, así como también su evaluación práctica como constancia que fue evaluado y certificado.

**Re certificación:**

Para los procedimientos que involucran altos riesgos de operación deben ser comunicados y evaluados una vez por año, para los que involucran bajo riesgo cada 2 años o según como considere sea conveniente.

**Revisión de los procedimientos:**

Los procedimientos deben ser revisados por lo menos una vez al año; cuando ocurra algún cambio en equipo o proceso; cuando ocurra un incidente o accidente relacionado con el mismo.

## **e. Auditorías:**

Las auditorías forman parte de cada una de las etapas del proceso de disciplina operativa. El objetivo principal de éstas es medir el avance de cada etapa del programa DO en su área de trabajo, así también que cada supervisor de área tenga los criterios para verificar y auditar el avance del programa de DO.

En el proceso de evaluación, el papel del evaluador es importante para ver el avance real del programa DO en cada área de trabajo.

El evaluador debe observar los siguientes puntos importantes:

- Debe ser objetivo.
- Debe comparar lo que se está haciendo con lo que se dijo que se hace.
- Debe revisar y buscar evidencia y toda la documentación que compruebe el avance del programa.
- No debe dar opiniones de si el sistema está bien o mal simplemente reportar al comité de DO las desviaciones y el avance real del programa.

En la implementación del programa de DO verificar que el programa se esté llevando tal y como lo indica el manual DO, que todo el proceso este bien documentado y difundido a todo el personal. De igual manera verificar que existan y que los supervisores de área conozcan las guías prácticas para la implementación de la DO en cada una de sus etapas.

En la etapa de disponibilidad verificar que cada área de trabajo cuente con los procedimientos operativos y de mantenimiento disponibles, actualizados y accesibles a todo el personal usuario de los mismos.

En la etapa de calidad verificar el nivel de calidad de los procedimientos que se estén desarrollando en cada área de trabajo, así como también la calidad de los evaluadores.

En la etapa de comunicación verificar que los procedimientos estén siendo comunicados al personal respectivo y que el proceso de evaluación-certificación se esté efectuando.

En la etapa de cumplimiento verificar que exista un mecanismo para detectar desviaciones en los procedimientos y que estos cambios sean documentados y comunicados a los interesados. Medir el avance de la implementación del programa DO.

#### **Índices de medición del avance del programa:**

- Índice de disponibilidad =  $\frac{\text{No. de procedimientos disponibles}}{\text{No. de procedimientos programados}} \times 100$
- Índice DO =  $100 - \frac{\text{No. de incidentes o accidentes en el área}}{\text{No. de personas trabajando en el área}} \times 100$
- Índice de difusión =  $\frac{\text{No. de personas certificadas}}{\text{No. de personas evaluadas}}$

### **1.2.3 Realización de manual DO de actividades de mantenimiento preventivo de motores Caterpillar 3406, bombas IMO y bombas Booster**

Todo manual de Disciplina Operativa que regule cualquier proceso operativo debe de ser elaborado por todo el personal involucrado en la operación a tratar.

Esto implica poner a discusión con todo técnico u operador el procedimiento preliminar previo a ser sometido a la divulgación y certificación.

Estos procedimientos deben de ser redactados de tal manera que el personal que ejecuta la actividad comprenda claramente que se requiere de ellos al momento de ejecutar la acción descrita, en la medida de lo posible evitar tecnicismos y palabras rebuscadas.

#### **Procedimientos de mantenimiento:**

Estos tienen como objetivo asegurar que el personal de mantenimiento efectúe sus actividades de forma segura y con calidad para que puedan mantener la operación de los equipos correcta y confiablemente.

Todas las tareas de mantenimiento deberán tener procedimientos escritos y deberán cumplirse por todos (mecánicos, operadores, contratistas, etc.).

Los procedimientos de mantenimiento se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Procedimientos de habilidades comunes de mantenimiento, estos son procedimientos genéricos que explican tareas mecánicas.



- Procedimientos para áreas o equipos específicos de acuerdo a instrucciones del fabricante y que normalmente son únicos, para el que las tareas generales son inadecuadas.
- Procedimientos de procesos específicos que tienen requerimientos especiales de riesgo químico o ambiental, es decir tareas para trabajar cerca de sustancias peligrosas.

#### **1.2.4 Implementación de manual DO de actividades de mantenimiento preventivo**

Este manual DO de Actividades debe de ser implementado conjuntamente con el Plan de Mantenimiento Preventivo, ambos deben de ir de la mano para el éxito del programa en general.

El encargado del Plan de MP está también a cargo de dirigir y administrar el proceso de mejora continua del manual DO de actividades de MP, siendo compromiso de todos los involucrados participar activamente en el proceso.

**Tabla II. Criterios de evaluación.**

CERTIFICACIÓN TIPO A+	CERTIFICACIÓN TIPO A-	CERTIFICACIÓN TIPO B	CERTIFICACIÓN TIPO C
<p>El operador contestó correctamente el 100% de las preguntas escritas, respondió con propiedad las preguntas formuladas en el examen práctico y siguió fielmente lo que indica el procedimiento. Además se pudo observar que conoce la operación y tiene criterio para operar. Por último respeta las normas y medidas para operar con seguridad, está consciente y conoce de los riesgos en la operación.</p>	<p>El operador contestó correctamente el 80% de las preguntas escritas. Las preguntas que no fueron contestadas correctamente por escrito fueron rectificadas en forma oral en el examen práctico. Tiene conocimiento del procedimiento aunque se le dificulta un poco cuando es cuestión de tomar decisiones. Sigue el procedimiento aunque obvia algunos pasos recomendados por seguridad, trabaja con un mínimo de equipo de seguridad y tiene idea de los riesgos de la operación.</p>	<p>El operador obtuvo menos del 80% de respuestas correctas. En el examen práctico no contestó con propiedad las preguntas formuladas, y desconocía el procedimiento. No tiene criterio para operar, difícilmente podría asimilar algún tipo de información complicada en corto tiempo. Reprobado, el operador debe ser evaluado nuevamente.</p>	<p>El operador obtuvo menos del 60% de respuestas correctas. Reprobado, no apto para operar. Debe prestársele principal importancia y ser evaluado nuevamente.</p>

## **2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

### **2.1 Conceptos generales**

#### **2.1.1 Definición de mantenimiento**

Conjunto de acciones oportunas, continuas y permanentes dirigidas a prever y asegurar el funcionamiento normal, la eficiencia y la buena apariencia de sistemas, edificios, equipos y accesorios.

Asegurar que todo activo continúe desempeñando las funciones deseadas.

Acciones necesarias para que un ítem sea conservado o restaurado de manera que pueda permanecer de acuerdo con una condición especificada.

#### **Filosofía de mantenimiento:**

Disponer de un grupo mínimo de recursos humanos de mantenimiento capaz de garantizar optimización de producción, disponibilidad de equipos, y la seguridad en la planta industrial.

#### **Objetivo de mantenimiento:**

Asegurar la competitividad de la empresa por medio de:

- Garantizar la disponibilidad y confiabilidad planeadas de la función deseada,
- Satisfacer todos los requisitos del sistema de calidad de la empresa,
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente, y
- Maximizar el beneficio global.

## **2.1.2 Diferentes tipos de mantenimiento**

### **Mantenimiento predictivo o basado en la condición**

Consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas según condición.

Incluye tanto las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetivas (con los sentidos), como la reparación del defecto (falla potencial).

Servicios de seguimiento del desgaste de una o más piezas o componente de equipos prioritarios a través de análisis de síntomas, o estimación hecha por evaluación estadística, tratando de extrapolar el comportamiento de esas piezas o componentes y determinar el punto exacto de cambio.

### **Mantenimiento detectivo o búsqueda de fallas**

Consiste en la inspección de las funciones ocultas, a intervalos regulares, para ver si han fallado y reacondicionarlas en caso de falla (falla funcional).

## **Mantenimiento correctivo o a la Rotura**

Consiste en el reacondicionamiento o sustitución de partes en un equipo una vez que han fallado, es la reparación de la falla (falla funcional), ocurre de urgencia o emergencia. Servicios de reparación en ítems con falla.

## **Mantenimiento mejorativo o rediseños**

Consiste en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o instalación.

No es tarea de mantenimiento propiamente dicho, aunque lo hace mantenimiento.

## **Nuevas instalaciones**

Instalaciones de nuevos equipos para ampliación de la producción; modificación en equipos para mejorar su desempeño o facilitar el mantenimiento, sustitución de equipos antiguos por otros más modernos las pruebas de aceptación de nuevos equipos.

### **2.1.3 Mantenimiento preventivo**

Servicios de inspección, control, conservación y restauración de un ítem con la finalidad de prevenir, detectar o corregir defectos, tratando de evitar fallas. Este mantenimiento se realiza con una frecuencia dependiendo de la criticidad del equipo.

## **Mantenimiento preventivo o basado en el tiempo**

Consiste en reacondicionar o sustituir a intervalos regulares un equipo o sus componentes, independientemente de su estado en ese momento.

## **Mantenimiento preventivo sistemático**

Servicios de Mantenimiento Preventivo, donde cada equipo para después de un período de funcionamiento, para que sean hechas mediciones, ajustes y si es necesario, cambio de piezas en función de un programa preestablecido a partir de la experiencia operativa, recomendaciones de los fabricantes.

## **Mantenimiento preventivo por estado**

Mantenimiento efectuado a partir de la condición de funcionamiento del equipamiento.

### **2.1.4 Importancia del mantenimiento preventivo**

La importancia del Mantenimiento Preventivo radica en las ventajas y beneficios que se presentan durante su utilización. Con base en lo anterior, las principales ventajas son:

- Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.

- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
- Mayor duración, de los equipos e instalaciones.
- Disminución de existencias en Almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones.

### **2.1.5 Atribuciones del mantenimiento preventivo**

El MP puede definirse como la conservación planeada, teniendo como función conocer sistemáticamente el estado de máquinas e instalaciones para programar en los momentos más oportunos y de menos impacto en la producción, las acciones que tratan de eliminar averías que originan las interrupciones. Su finalidad es reducir al mínimo dichas averías así como también una depreciación excesiva.

Dentro de las atribuciones del mantenimiento preventivo se puede mencionar:

- Reparar las averías que puedan producirse en maquinas e instalaciones en un mínimo de tiempo.
- Prever las posibles averías con anticipación suficiente para que estas no se produzcan, eliminando así los paros imprevistos.
- Verificar la calidad de fabricación de máquinas e instalaciones para evitar deterioros prematuros.
- Realizar una correcta gestión de existencia de repuestos y de materiales de mantenimiento.

- Reacondicionar maquinas e instalaciones para conseguir un estado próximo al que tenían nuevas.

## **2.2 Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para maquinaria y equipo de bombeo de crudo de Perenco Guatemala Limited**

A continuación se detallan los pasos necesarios a seguir para el diseño de un programa de mantenimiento preventivo. Estos pasos son de carácter general, en algunos casos se presentan variaciones no significativas entre un plan de mantenimiento y otro dependiendo principalmente de la estructura de la organización, sus políticas y otros factores pero todas las opciones se pueden manejar en un momento determinado.

### **2.2.1 Determinación de las metas y objetivos**

El primer paso para desarrollar un programa de mantenimiento preventivo es determinar exactamente “qué es lo que se quiere obtener del programa”. Usualmente el mejor inicio es trabajar sobre una base limitada y expandirse después de obtener algunos resultados positivos.

En el caso de estudio del presente proyecto se buscará disminuir los costos de mantenimiento incrementando las frecuencias de servicio y eliminando en la medida de lo posible el mantenimiento correctivo.



## **2.2.2 Requerimientos del plan de mantenimiento preventivo**

Determinar los límites de aplicación del programa de mantenimiento preventivo, específicamente que debe de incluir y donde se debe de iniciar.

### **a. Maquinaria y equipo a incluir**

La mejor forma de iniciar esta actividad es determinar cuál es la maquinaria y equipo más crítico de la planta. Para realizar esta selección es necesario tomar en consideración que un equipo crítico es aquel en el cual una falla resultaría, permitiría o contribuiría a originar una exposición del personal a una cantidad suficiente de sustancias peligrosas, lo cual resultaría en una lesión seria o la muerte, en un daño considerable a las instalaciones y al medio ambiente.

### **b. Áreas de operación a incluir**

Puede ser mejor, seleccionar un departamento o sección de la estación para facilitar el inicio; esta aproximación permite que concentre sus esfuerzos y más fácilmente realice mediciones del progreso.

### **c. Decida si se van a incluir disciplinas adicionales al programa de mantenimiento preventivo**

Debe determinar si implementara “rutas de lubricación”, realizar inspecciones y hacer ajustes y/o calibraciones, o cambiar partes en base a frecuencia y o uso (mantenimiento preventivo).

Inspecciones periódicas de monitoreo, y análisis de aceite (este último parte de un mantenimiento predictivo).

Lecturas de temperatura, presión y volumen; o cualquier otro subsistema.

La maquinaria y equipo que selecciono para incluir en el programa, determinara si necesita disciplinas adicionales de mantenimiento preventivo, cada subsistema prevé beneficios pero también influirá en sus recursos disponibles. Tenga siempre presente esto e inclúyalo en su programa original.

### **d. Declare la posición del mantenimiento preventivo**

Es importante que cualquier persona en la organización entienda exactamente cuál es el mayor propósito del programa de mantenimiento preventivo.

### **e. Medición del mantenimiento preventivo**

Es necesaria la medición del progreso del programa de Mantenimiento Preventivo para obtener una herramienta de defensa que justifique su existencia así como también el aporte de recursos de la empresa para el mismo.

La medición del progreso del programa permite probar que se está trabajando para obtener los resultados que se predijeron con base en esto es posible justificar una futura expansión del programa. Si no se mide el progreso y el avance de resultados no es posible la afinación del programa.

#### **f. Desarrolle un plan de entrenamiento**

Se necesita determinar si se requiere algún tipo de entrenamiento y planear el mismo. Es buena idea formar un grupo de trabajo directamente relacionado con el soporte de los programas de mantenimiento preventivo, considerando siempre su cumplimiento o al menos dar entrenamiento a su personal de base.

Si se incluyeron otras disciplinas de mantenimiento predictivo en su programa, necesita un entrenamiento especial de cómo usarlo, así como programas de control e integración.

#### **g. Reúna y organice los datos**

Una vez que se seleccionó el equipo y se han recolectado todos los datos de las variables monitoreadas es necesario transferir esta información a su forma final, ya sea en un programa de mantenimiento preventivo manual o en un sistema computarizado.

Haciendo uso de los datos realizamos una plantación de las actividades de mantenimiento preventivo esperando con ello evitar los paros y obtener con ello una alta efectividad de la planta.

### **2.2.3 Bases técnicas para el diseño de un plan de mantenimiento preventivo**

Las principales bases técnicas a considerar en el diseño de un Plan de MP son:

- Límites operacionales de la maquinaria.
- Estado de la maquinaria.
- Tipos de lubricantes a utilizar.
- Combustible utilizado.

### **2.2.4 Condiciones Operativas de los Motores Caterpillar 3406, bombas IMO y Booster**

#### **a. Condiciones Operativas de Motores Caterpillar 3406**

#### **LÍMITES OPERACIONALES**

- Temperatura de agua de enfriamiento 170 – 210 ° F.
- Presión de aceite 40 – 88 psi.
- Presión de combustible 25 – 35 psi.
- Revoluciones 1000 – 1800 rpm.

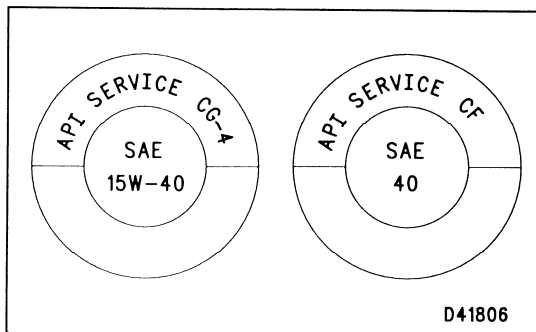
## ESTADO DEL MOTOR

Es necesario conocer el estado del motor antes de iniciar un Plan de Mantenimiento. De no poseer registros de mantenimiento u otra clase de información de reparaciones, previas al programa de MP a implementar, se debe de realizar un ajuste completo de todos los sistemas del motor, es decir optimizar el estado del equipo antes de ser sometido a un nuevo programa de mantenimiento.

## TIPOS DE LUBRICANTES A UTILIZAR

Caterpillar reconoce y apoya el “Sistema de certificación y licencia de aceites de motor” del Instituto Americano del Petróleo” (API), lo aceites con el símbolo API (ver figura 9) han sido certificados por API.

**Figura 9. Ejemplos de símbolos API.**



Examples of the API symbol.

Fuente: ***Operation & maintenance manual 3406 industrial and EPG generator set diesel engine.*** Pág. 32

**Aceites DEO multigrado Caterpillar:** Se formulan con detergentes, dispersantes y suficiente alcalinidad para dar un rendimiento excelente en los motores diesel Caterpillar, se presentan en dos combinaciones de viscosidad SAE 10W30 y SAE 15W40 (consultar tabla III).

**Tabla III. Viscosidades (SAE) vrs. Temperatura ambiente (°C y °F)**

Protección del Motor según Viscosidad del Aceite		
Grado de Viscosidad del Aceite de Motor	Temperatura Ambiente	
	Mínima °C (°F)	Máxima °C (°F)
SAE 0W20	-40° (-40°)	10° (50°)
SAE 5W30	-30° (-22°)	30° (86°)
SAE 5W40	-30° (-22°)	40° (104°)
SAE 10W30	-20° (-4°)	40° (104°)
SAE 15W40	-15° (5°)	50° (122°)

Fuente: *Operation & maintenance manual 3406 industrial and EPG generator set diesel engine.* Pág. 35

**Aceite comercial API CG-4:** Si no se utilizan los aceites DEO multigrados, Caterpillar recomienda los aceites comerciales API CG-4 y API CF-4, de los cuales se prefieren los aceites API CG-4 debido a que es la única categoría de aceite que evalúa los aceites en pruebas de motor utilizando combustible con un contenido de azufre del 0.05 por ciento.

**Aceite Mobilgard 412:** Es el aceite que se utiliza actualmente en los motores Caterpillar instalados en Estaciones de Bombeo de Perenco Guatemala Ltd.

Mobilgard 412 ha sido diseñado para ser aplicado en motores diesel que utilizan combustibles con alto contenido de azufre, ha sido formulado para tener una excelente resistencia a la oxidación y un incremento en la viscosidad sobre un periodo largo de servicio. Reúne los requisitos de API para la evaluación CF, algunas de sus características se presentan en la tabla IV.

**Tabla IV. Propiedades del aceite Mobil Gard 412.**

Propiedades del Aceite Mobilgard 412	
Grado SAE	40
Flash Point, °C, ASTM D 92	292
NBT, mg KOH/g, ASTM D 2896	15
Sulfated Ash, wt%, ASTM D 874	2.1

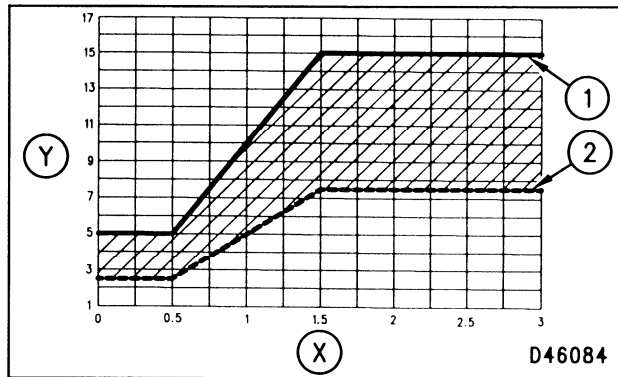
Fuente: *Operation & maintenance manual 3406 industrial and EPG generator set diesel engine.* Pág. 37

## **NÚMERO DE BASE TOTAL (NBT) Y NIVELES DE AZUFRE EN EL COMBUSTIBLE PARA MOTORES DIESEL DE INYECCIÓN DIRECTA (DI)**

El número de base total (NBT) de un aceite depende del nivel de azufre presente en el combustible a utilizar en el motor a lubricar. En los casos de motores de inyección directa que funcionen con combustible diesel destilado, el NBT mínimo del aceite nuevo debe ser 10 veces mayor que la concentración de azufre en el combustible.

El NBT del nuevo aceite viene definido por el procedimiento ASTM D2896. El NBT mínimo del aceite es 5, independientemente de la concentración de azufre en el combustible (ver figura 10).

**Figura 10. Gráfica NBT (según ASTM D2896) vrs. % de azufre en el combustible (por peso).**



Fuente: *Operation & maintenance manual 3406 industrial and EPG generator set diesel engine.* Pág. 35

Donde (Y) representa el NBT según la norma ASTM D2896,

(X) representa el porcentaje de azufre en el combustible por peso,

(1) NBT de aceite nuevo y

(2) Reemplace el aceite cuando el NBT deteriore a 50% del NBT original.

Si los niveles de azufre en el combustible exceden el 1.5% siga las siguientes pautas:

- escoja un aceite con el NBT más alto posible que cumpla con una de estas clasificaciones: EMA, LRG-1, API CH-4, API CG-4 y API CF-4.
- Reduzca el intervalo de cambios de aceite, decidiendo el intervalo de acuerdo con los resultados del análisis de aceite S.O.S. Asegúrese que el análisis de aceite incluya una prueba del estado del aceite y un análisis de desgaste del metal.



Los aceites con alto NBT que no cumplan con los requisitos de las categorías API CF-4 o CG-4 pueden causar depósitos excesivos en los pistones, lo que producirá la pérdida de control del consumo de aceite y el pulido de los cilindros.

## **COMBUSTIBLE UTILIZADO**

Los combustibles recomendados para los motores diesel Caterpillar son: combustible diesel No. 2-D con bajo contenido de azufre (0.05 % máximo) o con un contenido normal de azufre (0.5 % máximo). También son aceptables los de grado No. 1 (según normas ASTM D975-92 y D396).

Actualmente en Estaciones de Bombeo se utiliza un Gas Óleo No. 2 con 1.5 % de azufre, conocido localmente como Diesel Mezcla.

### **b. Condiciones Operativas de Bombas IMO 8L**

## **LÍMITES OPERACIONALES**

- Presión de descarga: 1000 PSIG construcción del alojamiento del rotor de bronce y 1500 PSIG construcción del alojamiento del rotor bimetálico.
- Presión de entrada: 15 PSI como mínimo (valores inferiores producen cavitación), hasta un máximo de 55 PSIG.
- Límites de velocidad: Hasta un máximo de 2300 RPM, todas las velocidades por encima de 1800 RPM deben ser aprobadas por la fábrica.
- Viscosidad: 33 SSU (2.0 cst.) mínimo.

- Temperatura: Construcción de bronce y construcción bimetálica 250 ° F máximo.
- Rotación: En el sentido de las agujas del reloj, de frente al eje de la bomba.
- Transmisión: Solamente directa.
- Montaje: Puede ser montada horizontalmente a cualquier altura.

## **ESTADO DE LA BOMBA**

Al igual que con los motores es indispensable conocer el estado de la bomba, principalmente la condición de los cojinetes y sellos mecánicos. Así también es vital llevar registro de las tolerancias u holguras existentes entre piezas. De no poseer registros de reparaciones o mantenimiento realizar una puesta a punto de todas las bombas previo a iniciar un plan de mantenimiento preventivo.

## **FILTROS Y CESTAS DE ASPIRACIÓN**

Todos los filtros y cedazos deben de ser periódicamente inspeccionados, limpiarse y reemplazarse cuando sea necesario. Esto protegerá al equipo contra daño por caída de presión causada por elementos sucios o tapados.

Un criterio de selección de la frecuencia de limpieza es la disminución en el valor de la presión de entrada o succión de la bomba, se puede considerar necesaria una limpieza cuando la presión diferencial antes-después del filtro es de más de 3 PSI.

## **FLUIDO**

Solamente trabaje con el fluido recomendado o aprobado para usarse con el equipo. Deberá efectuar chequeos regulares sobre la condición del fluido. Verifique que la temperatura del fluido este controlada para no exceder la viscosidad mínima permitida a la máxima temperatura de operación permitida y para que la viscosidad máxima al arranque en frío no produzca una caída de presión en la entrada de la bomba por debajo del mínimo requerido.

## **BASE / CIMIENTOS**

La condición de la base / cimientos y el ajuste de los pernos de sujeción deben de ser chequeados por lo menos cada seis meses.

## **ALINEACIÓN**

La alineación entre la bomba y la transmisión del motor debe de ser verificada y corregida, si es necesario, por lo menos cada seis meses. Si el sistema presenta un incremento de vibraciones (fuera de lo normal) o grandes variaciones en la temperatura de operación deberá de ajustar la frecuencia de revisión, acortando el tiempo entre chequeos y ajustes.

Manteniendo una correcta alineación del equipo aseguramos la vida máxima de la bomba así como su buen funcionamiento.

## **COJINETES**

Los factores que afectan la vida de los cojinetes son el ambiente, las condiciones de operación y los intervalos entre revisiones de los mismos.

Los cojinetes tienen una vida limitada y deben de ser inspeccionados frecuentemente en busca de incrementos en la temperatura de operación y/u operación irregular o tosca. Si nota una de estas condiciones, detenga el equipo y reemplace el cojinete.

## **EMPAQUES**

La bomba debe de reempacarse si la carrera del casquillo de empaque se ha gastado o si el empaque se ha averiado. Siga las direcciones de reemplazo de empaques en el manual específico de reparaciones.

## **SELLOS DE EJE Y FILTRACIONES**

Inspeccione visualmente el equipo frecuentemente en busca de señales de avería, filtración o goteo de los sellos, empaques y “O-rings” del eje que pudiesen causar mal funcionamiento o peligro durante la operación. Asegúrese de que todas las conexiones estén apretadas.

Si la filtración del sello es mayor de aproximadamente 10 gotas por hora por sello, apague el equipo y repare o reemplace las piezas necesarias.

Los sellos del eje tienen una vida limitada que depende de las condiciones de operación y el ambiente. Si la filtración se hace inaceptable, reemplace la unidad de sello con uno compatible con las condiciones de operación de la bomba.

Los líquidos sucios o con sólidos en suspensión reducen la vida del sello.

### **c. Condiciones Operativas de Bombas Booster GP 3196**

#### **LÍMITES OPERACIONALES**

- Revoluciones: 1200 RPM.
- Presión máxima de diseño a 100 ° F: 250 PSI.
- Montaje de la bomba: Horizontal.

#### **ACEITE LUBRICANTE**

Cuando los cojinetes son nuevos cambie el aceite después de 200 hrs y luego cada 2000 horas de operación o 3 meses (lo que venga primero).

Debe de utilizarse un aceite de alto rendimiento con inhibidores de herrumbre y oxidación. En las condiciones operacionales, la temperatura de los cojinetes se encuentra entre los 120° F (50° C) y los 180° F (82° C). En este rango un aceite de viscosidad ISO grado 68 a 100° F (40° C) es recomendado.

Si la temperatura de los cojinetes excede los 180° F (82° C), use un aceite de viscosidad ISO grado 100 con caja de cojinetes con sistema de enfriamiento (ver tabla 5). Para altas temperaturas de operación, bombeo alrededor de 350° F (177° C), es recomendado un aceite sintético.

Algunos lubricantes aceptables son:

- Exxon                      Teresstic EP 68.
- Mobil                      Mobil DTE 26 300 SSU @ 100° F (38°C).
- Sunoco                    Sunvis 968.
- Royal Purple            SYNFILM ISO VG 68 Synthetic Lube.

## **GRASA LUBRICANTE**

Los cojinetes vienen pre lubricados de fábrica. La mayoría de las bombas utilizan grasa Sunoco 2EP. Para unidades a alta temperatura (temperatura de bombeo de más de 350° F) use grasa Mobil SCH32. Reengrase los cojinetes cada 2000 horas de operación o cada 3 meses.

Para la mayoría de condiciones de operación una grasa mineral con base de Litio de consistencia NLGI No. 2 es recomendada. Esta grasa es aceptable cuando la temperatura de los cojinetes se encuentra en el rango de 5° F a 230° F (-15° C a 110° C). La temperatura de los cojinetes generalmente se encuentra alrededor de 20° F (18° C) más que la temperatura de la superficie exterior de la caja de cojinetes.

A una temperatura de bombeo alrededor de los 350° F (177° C) debe de utilizarse una grasa de alta temperatura. Es decir, una grasa mineral que tenga estabilizadores de oxidación y una consistencia NLGI No. 3.

## **SELLOS MECÁNICOS**

Cuando los sellos mecánicos son proporcionados o vienen instalados, un dibujo de referencia es suministrado con la información del paquete. Este esquema debe de ser guardado para utilizarlo cuando se realice alguna actividad de mantenimiento o ajuste del sello.

La vida de un sello mecánico depende de varios factores tales como la limpieza del fluido utilizado y las propiedades de lubricación. Debido a la diversidad de condiciones operacionales es muy difícil determinar el tiempo de vida del sello.

### **2.2.5 Determinación de la periodicidad de mantenimiento / planeación y frecuencias de actividades de mantenimiento preventivo**

La determinación de la frecuencia de las actividades de mantenimiento preventivo va a depender directamente de las condiciones operativas de la maquinaria a incluir en el programa y fundamentalmente de las indicaciones del fabricante al respecto.

Con base en lo anterior se elabora una tabla de criterios (frecuencias de mantenimiento preventivo). Esta tabla le indicara al sistema con qué frecuencia debe de generar las ordenes de trabajo, o su grafico de MP, así como el establecimiento de otros parámetros para su programa.

Para el éxito del programa es indispensable realizar un plan de actividades de acuerdo a los recursos con que se cuente, es decir, personal de mantenimiento y suministros. Con esto lograremos cumplir estrictamente con el tiempo establecido en las frecuencias, evitando así el incremento del tiempo de paro por servicio de la maquinaria.

La planeación y el uso de materiales-repuestos en los registros del MP por maquina, requiere para el efecto ingresar con anticipación los artículos de inventario y enlazarlos al programa de MP.

## **2.2.6 Elaboración del Programa de Actividades de Mantenimiento Preventivo**

Una adecuada distribución de recursos se obtiene al realizar una programación de las actividades de mantenimiento preventivo. De esta manera se determina la necesidad de personal, materiales y tiempo a utilizar en una fecha específica.

Para la elaboración del programa de actividades partimos de las frecuencias de MP establecidas en el plan de MP, relacionamos estas frecuencias con fechas calendario y de esta manera obtenemos la programación de recursos.

En este punto es vital la organización de tiempos por equipo para evitar fechas sobresaturadas de trabajo para el departamento de mantenimiento mecánico y excesos en requerimientos de materiales. En el caso de los motores CAT 3406 es indispensable realizar un desfase de horas de trabajo con la finalidad de que reparaciones mayores no caigan en las mismas fechas.

Llevar un buen control de los tiempos de trabajo nos permitirá desarrollar con éxito el programa de mantenimiento preventivo, siguiendo este lineamiento se puede recomendar la estandarización de los tiempos de trabajo, es decir que cada equipo trabaje la misma cantidad de tiempo en un lapso de tiempo determinado.



## **2.3 Implementación de Plan de Mantenimiento Preventivo para motores industriales Caterpillar 3406, bombas IMO y bombas Booster**

### **2.3.1 Plan de Mantenimiento Preventivo para motores Caterpillar D3406**

Para determinar los intervalos de mantenimiento utilice cualquiera de las siguientes tres variables (lo que ocurra primero):

- Consumo de combustible.
- Horas de servicio.
- Intervalos de calendario.

La experiencia ha demostrado que los intervalos de mantenimiento se programan con más exactitud con el consumo de combustible que con las horas de servicio.

En nuestro caso particular con los motores CAT 3406 de Estaciones de Bombeo, es recomendable utilizar el consumo de combustible como variable que defina los intervalos de mantenimiento debido a que las revoluciones de los motores varían constantemente y tomar horas de servicio o fechas calendario no es muy representativo como lo es el consumo de combustible.

## **a. Programa de mantenimiento**

### **RUTINA DIARIA DE INSPECCIONES**

- Inspección general: Inspeccione el motor para ver si tiene fugas y conexiones flojas. Inspección visual de embrague y acople (coupling).
- Cáster del motor: Compruebe el nivel de aceite.
- Sistema de enfriamiento: Compruebe el nivel de refrigerante.
- Sistema de combustible: Compruebe el nivel de combustible del tanque.
- Filtro de aire: Compruebe el indicador de servicio, efectúe el servicio del filtro de aire cuando sea necesario.
- Lubricador del motor de arranque neumático (si lo tiene): Compruebe el nivel de fluido y ajuste la alimentación del engrasador.
- Tanque de aire (si lo tiene): Drene el agua y compruebe la presión.
- Chequeo de condiciones operativas (presiones, temperatura, revoluciones, voltaje de batería, horómetro).

### **INSPECCIÓN A LAS PRIMERAS 250 HORAS DE FUNCIONAMIENTO O 2500 GLS DE COMBUSTIBLE**

- Luz de las válvulas: Compruebe y ajuste.
- Sensor de velocidad del motor (sensor magnético): Inspeccione y ajuste.

### **INSPECCIÓN CADA 250 HORAS O 2500 GLS DE COMBUSTIBLE**

- Análisis SOS de aceite: Obtenga la muestra y el análisis.

- Carter del motor: reemplace el aceite y el filtro.
- Respiradero del *carter*: Limpie
- Sistema de enfriamiento: Pruebe la concentración de SCA u obtenga un análisis de refrigerante.
- Sistema de combustible: Limpie el filtro de combustible primario y reemplace el filtro de combustible final.
- Tanque de combustible: Drene el agua y los sedimentos.
- Fajas: Compruebe y ajuste.
- Mangueras: Inspeccione y reemplace si es necesario.
- Cojinete de mando del ventilador: Lubrique.
- Baterías: Limpie y compruebe el nivel de electrolito.
- Embrague: Compruebe y ajuste si es necesario.
- Limpieza externa de motor y radiador.

### **INSPECCIÓN CADA 1000 HORAS O 10000 GLS DE COMBUSTIBLE**

- Dispositivos de protección del motor: Inspeccione y compruebe.
- Gobernador y varillaje de control de combustible: Compruebe y lubrique.

### **INSPECCIÓN CADA 3000 HORAS O 30000 GLS DE COMBUSTIBLE**

- Sistema de enfriamiento: Si utiliza refrigerante/anticongelante de larga duración agregue prolongador. Si utiliza refrigerante/anticongelante convencional drene, limpie y reemplace el refrigerante.
- Luz de las válvulas del motor, puentes y rotadores de válvulas: Compruebe y ajuste.

- Control de relación de combustible, punto de control y velocidad baja en vacío: Compruebe y ajuste.
- Turbocompresor: Limpie, inspeccione y compruebe.
- Soportes del motor: Inspeccione.
- Amortiguador de vibraciones del cigüeñal (damper): Inspeccione.
- Regulador de temperatura (Termostato): Reemplace.

### **INSPECCIÓN CADA 5000 HORAS O 50000 GLS DE COMBUSTIBLE**

- Inyectores de combustible: Pruebe o cambie si es necesario.
- Alternador: Inspeccione, darle servicio y reemplazar si es necesario.
- Bomba de agua: Inspeccione y reemplace el sello si es necesario.
- Motor de arranque (Starter): Inspeccione, darle servicio y reemplazar si es necesario.
- Turbocompresor (Turbo): Inspeccione, darle servicio y reemplazar si es necesario.
- Sensor de velocidad del motor (sensor magnético): Inspeccione y ajuste.
- Servicio a la culata.

### **INSPECCIÓN CADA 6000 HORAS O 60000 GLS DE COMBUSTIBLE**

- Sistema de enfriamiento: Si cuenta con refrigerante/anticongelante de larga duración drene, enjuague y reemplace el refrigerante.

## **INSPECCIÓN CADA 10000 HORAS O 100000 GLS DE COMBUSTIBLE**

- Overhaul.
- Servicio a la bomba de inyección.

### **2.3.2 Plan de Mantenimiento Preventivo para bombas IMO 8L**

Este tipo de mantenimiento se realiza, como su nombre lo indica, para anticipar en el tiempo cualquier fallo en el funcionamiento de la bomba y comprende esencialmente, mas no limitadamente, lo siguiente:

- Revisión del estado de alineamiento entre los acoplamientos de la bomba y la transmisión del motor.
- Inspección del filtro a la entrada de la bomba.
- Medir el movimiento axial y radial del rotor principal, es decir verificación de ajustes.
- Verificación de los rangos de operación de los instrumentos de protección.

#### **a. Programa de mantenimiento**

### **RUTINA DIARIA DE INSPECCIONES**

1. Chequear la presión diferencial antes-después del filtro.

2. Chequear si existen ruidos inusuales, vibraciones y la temperatura de los cojinetes.
3. Inspeccionar la bomba y la tubería por posibles fugas o “*liqueos*”.
4. Revise la recamara de sellos / caja de estopas por cualquier “*liqueo*”:
5. Revisar que todos los parámetros de presión y temperatura se encuentren dentro de los límites operacionales.
6. Revisar acoplamiento motor-bomba (*coupling*).
7. Revisar anclaje de la bomba.

## **INSPECCIÓN A LAS PRIMERAS 50 HORAS DE FUNCIONAMIENTO**

Luego de 50 horas de operación, parar la maquina y verificar el estado de alineamiento, ajustar todos los anclajes de la unidad. Si alguno de ellos esta flojo ajustar al valor de torsión (torque) especificado.

## **INSPECCIÓN CADA 500 HORAS**

- Revisión de las tolerancias entre los rotores y las cajas o camisas de alojamiento.
- Reportar presencia de partículas abrasivas en el fluido que pudieran causar raspaduras en forma de espiral en las superficies tanto de los rotores como en los alojamientos de las camisas y en las cazoletas de control de empuje axial.
- Reportar cualquier cambio en la coloración de los componentes de fricción que pueden ser causados por la elevación de la temperatura de funcionamiento.

## **INSPECCIÓN CADA 2000 HORAS O 3 MESES**

- Revisar el estado del alineamiento en los acoplamientos y efectuar los ajustes correctivos necesarios.
- Verificar el estado de los componentes flexibles de los acoplamientos a fin de detectar partes deterioradas.
- Revisar el estado de desgaste del rodamiento instalado en el rotor principal de potencia.
- Revisar tolerancias de ajuste de los rodamientos de soporte en los ejes de la caja de engranajes (si lo hay) o en el sistema de embrague del motor a fin de detectar causas de posibles vibraciones que afecten el funcionamiento de la bomba.

## **INSPECCIÓN CADA 4300 HORAS O 6 MESES**

- Revisión de las tolerancias entre los rotores y las cajas o camisas de alojamiento con el fin de establecer nuevos valores de manejo de la bomba en función de las dimensiones encontradas.
- Chequeo de sellos mecánicos, rectificación o reemplazo si fuera necesario.
- Inspección del ajuste de la base y el apretamiento de los tornillos de sujeción.
- Debe chequearse y corregirse el alineamiento entre la bomba y el motor.
- Revisión completa de todo el sistema.

### **2.3.3 Plan de Mantenimiento Preventivo para bombas Booster GP 3196**

Un programa de mantenimiento preventivo puede extender la vida de la bomba. Un buen mantenimiento del equipo logrará una duración mayor y requerirá de menos reparaciones. Deberá llevar registros de mantenimiento, esto le ayudara a encontrar las causas potenciales en caso de problemas.

#### **a. Programa de mantenimiento**

##### **RUTINA DE MANTENIMIENTO**

- Lubricación de cojinetes.
- Monitoreo de sellos.
- Análisis de vibración.
- Presión de descarga.
- Monitoreo de temperatura.

##### **RUTINA DIARIA DE INSPECCIONES**

1. Chequear el nivel y la condición del aceite a través del visor de la caja de cojinetes.
2. Chequear si existen ruidos inusuales, vibraciones y la temperatura de los cojinetes.
3. Inspeccionar la bomba y la tubería por posibles fugas o "*liqueos*".



4. Inspeccione la recámara de sellos / caja de estopas por cualquier “*liqueo*”: Sellos mecánicos no deben de presentar fuga. Empaques, si existe excesivo “*liqueo*”, requiere ajuste o si es necesario reemplazo.

### **INSPECCIONES CADA TRES MESES O 2000 HORAS**

- Inspeccione la superficie de montaje y la base de la bomba-motor eléctrico, así como los tornillos de sujeción.
- El aceite debe de ser cambiado por lo menos cada tres meses (o 2000 horas de operación) o más frecuentemente si se presenta alguna condición atmosférica adversa u otras condiciones como posible contaminación o derrame de aceite. Si el aceite se encuentra turbio o contaminado deberá de cambiarse inmediatamente.
- Chequee la alineación del eje, realíne si es necesario.

### **INSPECCIONES ANUALES**

- Revise la capacidad de la bomba, la presión y la potencia requerida. Si la actuación de la misma no satisface los requerimientos del proceso, y los requerimientos no han cambiado, la bomba debe de ser desensamblada, inspeccionada y las partes dañadas deben de ser reemplazadas.
- Conjuntamente con lo anterior debe de realizarse una inspección completa del sistema.
- Servicio al motor eléctrico.

### **2.3.4 Monitoreo de equipo**

Una de las herramientas principales del plan de mantenimiento preventivo son las rutas de inspección. En las estaciones de bombeo sujeto de nuestro estudio existen dos tipos de rutas:

- Ruta de inspección en horas pares.
- Ruta de inspección en horas impares.

En el monitoreo efectuado en las horas pares se deben de observar y registrar las siguientes condiciones operativas:

- Presión de entrada del oleoducto.
- Presión de salida de bomba Booster GP.
- Presión de entrada del filtro.
- Presión de salida del filtro.
- Revoluciones del motor Caterpillar 3406.
- Presión de descarga de la bomba IMO 8L.
- Niveles de tanques de almacenamiento.
- Temperatura de crudo.
- Temperatura ambiente.
- Presión de salida del oleoducto.

En el monitoreo efectuado en las horas impares se deben de observar y registrar las siguientes condiciones operativas aplicables para motores Caterpillar 3406 y 3306:

- Presión de aceite.

- Temperatura de refrigerante.
- Amperaje.
- Presión de diesel.
- Revoluciones del motor.
- Estado del drene de las bombas (IMO y Booster GP).

La frecuencia del monitoreo del nivel de aceite y del estado del filtro de aire por medio de su indicador va a depender de las condiciones de cada motor (ubicación, consumo de aceite, horas de servicio).

En cada una de las inspecciones verificar que no existan líquidos derramados, pernos sueltos o cualquier otra condición insegura.

Todos los datos tomados descritos en este apartado deben de ser ingresados en el formato electrónico y generar graficas de tendencia variable vrs. tiempo.

### **2.3.5 Análisis de variables monitoreadas**

El análisis de los datos recopilados en las rutas de inspección, ingresados en el formato electrónico, nos permite conocer el estado actual de la maquinaria, así como también prevenir el paro de la maquinaria por falla. Con base en este análisis se pueden restablecer las frecuencias de las actividades de mantenimiento.

Tanto el técnico mecánico como el operador de la maquinaria deben de ser capacitados en la interpretación de tendencias de variables operativas.

### **2.3.6 Análisis de lubricante Mobil Gard 412**

El análisis S.O.S. de aceite es una serie de pruebas de laboratorio que permite determinar las características del aceite lubricante de un motor próximo a salir de servicio.

Es la forma más rápida, más precisa y más fiable de ver lo que esta ocurriendo dentro del motor. Se considera como una herramienta de diagnóstico y de administración que puede maximizar la vida y la productividad de los motores.

Este análisis es una herramienta fundamental de mantenimiento predictivo que complementa todo programa de mantenimiento preventivo. Permite evitar que reparaciones menores se conviertan en problemas importantes y le ayuda a evitar averías graves.

Dentro de los muchos beneficios que podemos obtener con esta serie de pruebas tenemos que podemos predecir problemas relacionados con desgaste, permitiéndole una mayor flexibilidad en la programación de reparaciones y en el control de tiempo muerto. Permite darle seguimiento al desgaste de componentes y piezas, así también del rendimiento y estado del aceite.

Por ultimo podemos definir al análisis S.O.S. de aceite de motor como una herramienta de reducción de costos y de planificación de recursos; nos permite un incremento del tiempo entre servicios lo cual se traduce en menor consumo de repuestos y de aceite lubricante.

Básicamente el análisis S.O.S. de aceite incluye cuatro pruebas que son:

- El análisis de régimen de desgaste vigila el desgaste de los metales del motor. Se analiza la cantidad del metal desgastado el tipo de metal desgastado que está en el aceite. El aumento en el régimen de metales de desgaste del motor en el aceite es tan importante como la cantidad de metal de desgaste del motor en el aceite. Por esta razón, es necesario

tener muestreos regulares a intervalos especificados a fin de establecer los regímenes de desgaste. El muestreo intermitente no permite establecer las líneas de tendencia de velocidad de desgaste. Los metales de desgaste del motor en la muestra de aceite se comparan con normas establecidas de Caterpillar a fin de determinar su aceptabilidad.

- El análisis del estado de aceite determina la pérdida de las propiedades lubricantes del aceite. Se utiliza un análisis infrarrojo para comparar las propiedades del aceite nuevo con las de la muestra de aceite usado. Este análisis permite a los técnicos determinar el desgaste que ha sufrido el aceite, así como también verificar el rendimiento del mismo según la especificación durante todo el intervalo de cambio de aceite.
- La limpieza del aceite determina si contaminantes abrasivos están causando un desgaste acelerado. Al contar las partículas minúsculas en una muestra de aceite se identifican los contaminantes dañinos que disminuyen la vida del componente.
- Las pruebas adicionales se realizan para detectar contaminación del aceite con agua, glicol o combustible.

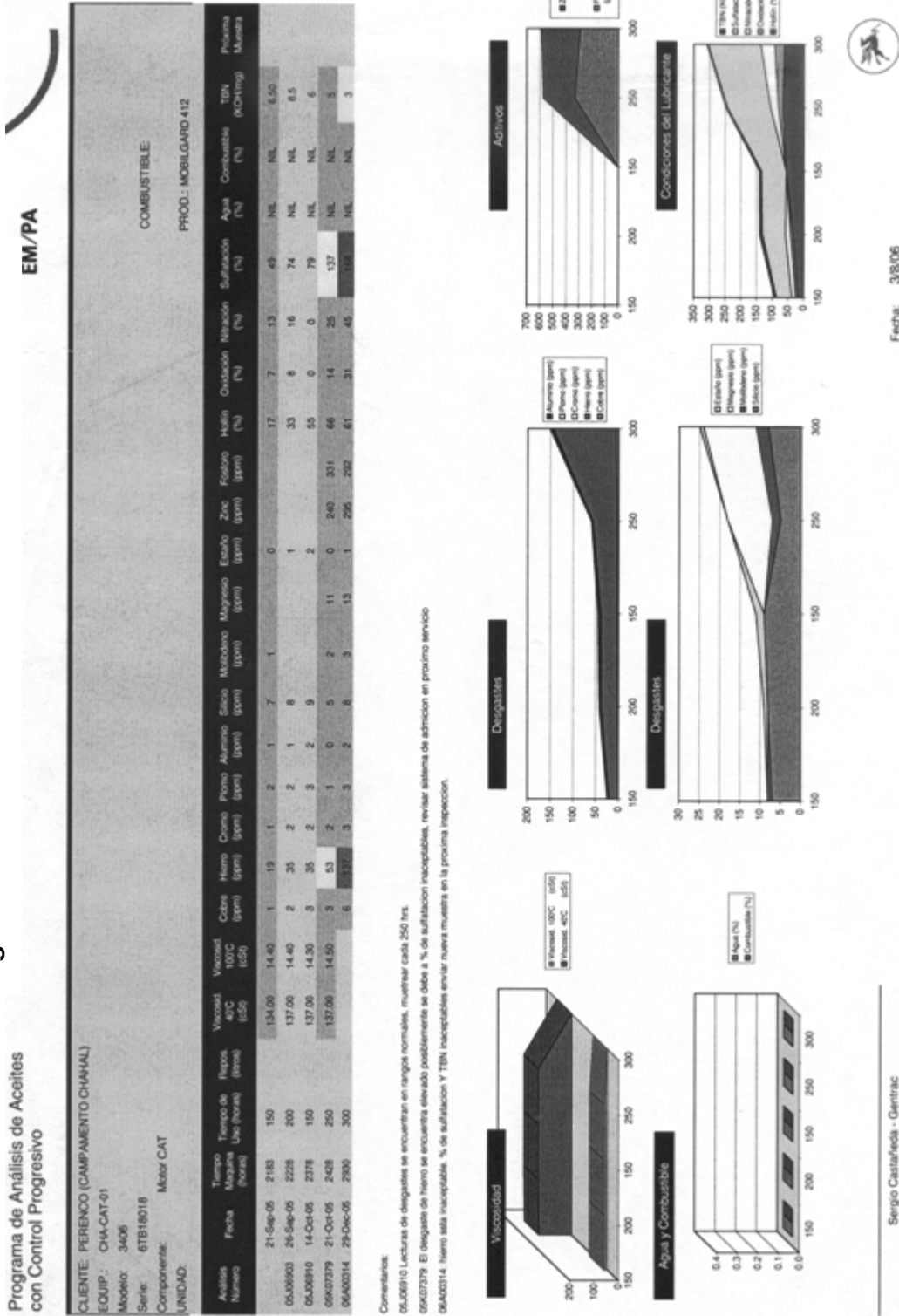
Los resultados de prueba de las muestras de aceite se usaran entonces como base para determinar el intervalo de cambio de aceite del motor. Los resultados del análisis de aceite S.O.S. pueden permitir que el motor opere durante más tiempo entre cambios de aceite sin riesgo de daño al motor.

**Tabla V. Intervalo de análisis S.O.S. de aceite de motor.**

Intervalo de Análisis S.O.S. de aceite	
Compartimiento	Intervalo
Carter del motor	Cada 250 horas de servicio

Fuente: *Operation & maintenance manual 3406 industrial and EPG generator set diesel engine.* Pág. 58

Figura 11. Control de análisis de aceite S.O.S.



### **2.3.7 Actividades a realizar en cada mantenimiento**

Las actividades a realizar en cada mantenimiento se encuentran descritas en los respectivos planes de mantenimiento preventivo, para poder consultarlas y llevar un mejor control de las mismas se han diseñado *check-list* o formatos en los cuales se le especifica al operador o mecánico que es lo que debe de realizar dependiendo del tiempo de servicio (consultar apartado 2.3.9).

### **2.3.8 Implementación de plan de mantenimiento preventivo**

Se puede considerar como inicio de la fase de implementación la recolección de datos en rutinas de mantenimiento y el procesamiento de los mismos.

Es vital tomar en consideración la necesidad del factor humano, por lo general cuando se inicia un programa de mantenimiento nuevo es necesario diseñar programas de capacitación tanto para el personal de mantenimiento como para operadores.

Una vez que la información este reunida, necesitará revisar la prioridad para comenzar la operación. Deben de existir varios reportes que le permiten este tipo de revisión pero el primero a revisar es el programa maestro de mantenimiento preventivo.

Un reporte así, prevé un buen panorama de todos los equipos con registro de mantenimiento preventivo y permite una selección completa y capacidad de ordenamiento para la impresión o elaboración de las órdenes de trabajo, de acuerdo a los requerimientos.

Se puede también utilizar una gráfica de carga de trabajo. La idea principal es observar las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo con una periodicidad definida, y aquellas actividades que no se han generado todavía, con un abanderamiento, como la fecha de su generación para su fácil detección.

Con estos dos reportes, el programa maestro de MP y la gráfica de carga de trabajo le sean útiles una vez que haya generado las ordenes de trabajo del MP y necesite ajustar la carga de trabajo, proporcionándole también la predicción del MP antes de que se genere y hacer los ajustes necesarios, inclusive a las necesidades de producción de la disponibilidad de maquinaria y equipos.

Una vez que todos los ajustes se hayan realizado, se estará listo para generar un primer listado de órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo; en un sistema computarizado, esto es básicamente un proceso automático. Todo lo que necesita es dar la instrucción de generación, una vez generado, cualquier ajuste fino puede ser realizado, a través de la característica de programación de órdenes de trabajo.

Cuando se tiene todo como se requiere, estará listo para generar los programas y despachar las órdenes de trabajo.

### **2.3.9 Formatos de monitoreo de equipo y control de actividades de mantenimiento**

Todos los formatos del presente apartado, al momento de su aplicación deben de ser archivados tanto física como electrónicamente.

El siguiente formato de monitoreo corresponde a la ruta de inspección a realizar en horas impares:



**Tabla VI. Ruta de inspección horas impares.**

RUTA DE INSPECCION HORAS IMPARES  
**CHEQUEO DE MOTORES D3406**  
**ESTACION DE BOMBEO RAXRUHA**



FECHA : jueves, 01 de enero de 2009

MOTOR No. 4							MOTOR No.						
HORAS	Psi. Aceite	T°	Amperímetro	Psi. Diesel	RPM.	Drene Bomba	HORAS	Psi. Aceite	T°	Amperímetro	Psi. Diesel	RPM.	Drene Bomba
01:00	55	150	0	30	1200	OK	01:00						
03:00	55	150	0	30	1200	OK	03:00						
05:00	55	150	0	30	1200	OK	05:00						
07:00	55	150	0	30	1200	OK	07:00						
09:00	55	150	0	30	1200	OK	09:00						
11:00	55	150	0	30	1200	OK	11:00						
13:00	55	150	0	30	1300	OK	13:00						
15:00	55	150	0	30	1200	OK	15:00						
17:00	55	150	0	30	1200	OK	17:00						
19:00	55	150	0	30	1200	OK	19:00						
21:00	55	150	0	30	1200	OK	21:00						
23:00	55	150	0	30	1200	OK	23:00						

**Lista de Operadores**

Herberth Saúl Barrera A.
Bartolo Chí
Carlos Alonso Pacay
Juan José Flores

OPERADOR DE TURNO :

DÍA Bartolo Chí

NOCHE Carlos Alonso Pacay

Para el monitoreo a realizar en la ruta de inspección en horas pares, se utilizará el formato siguiente:



**Tabla VIII. Control de actividades de MP para motores Caterpillar 3406.**

<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MOTORES CATERPILLAR 3406</b>						
Motor:						
Horometro:						
Fecha:						
Item.	ACTIVIDAD	FRECUENCIA				
		250	1000	3000	5000	10000
1	Comprobar y ajustar luz de valvulas (primeras 250 hrs).	x		x		
2	Inspeccionar y ajustar sensor de velocidad (primeras 250 hrs).	x			x	
3	Analisis S.O.S. de aceite.	x				
4	Cambio de aceite de motor.	x				
5	Cambio de filtro de aceite.	x				
6	Limpieza de respiradero del carter.	x				
7	Revision de refrigerante.	x				
8	Limpieza de filtro de combustible primario.	x				
9	Cambio de filtro de combustible final.	x				
10	Drene el agua y los sedimentos del tanque de combustible.	x				
11	Compruebe y ajuste fajas de motor.	x				
12	Inspeccione mangueras.	x				
13	Lubricar cojinete de mando de ventilador.	x				
14	Limpieza y chequeo de nivel de electrolito de baterias.	x				
15	Revision de embrague.	x				
16	Limpieza externa de motor y de radiador.	x				
17	Inspeccione y compruebe los dispositivos de proteccion del motor.		x			
18	Compruebe y lubrique varillaje de control de combustible.		x			
19	Cambio de refrigerante.			x		
20	Compruebe puentes y rotadores de valvulas.			x		
21	Control de relacion de combustible (velocidad baja en vacio).			x		
22	Limpie, inspeccione y compruebe el turbocompresor.			x		
23	Inspeccione soportes del motor.			x		
24	Inspeccion el damper de cigüeñal.			x		
25	Reemplace el termostato.			x		
26	Pruebe inyectores.				x	
27	Servicio al alternador.				x	
28	Inspeccione la bomba de agua.				x	
29	Servicio al motor de arranque.				x	
30	Servicio al turbocompresor.				x	
31	Servicio a la culata.				x	
32	Overhaul.					x
33	Servicio a la bomba de inyeccion.					x

Observaciones:

Firma de tecnico:

**Tabla IX. Control de actividades de MP para bombas IMO 8L.**

PLAN DE MENTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS IMO 8L					
Bomba:					
Horometro:					
Fecha:					
		FRECUENCIA			
Item.	ACTIVIDAD	50	500	2000	4300
1	Verificar estado de alineacion (primeras 50 hrs).	x		x	x
2	Verificar anclajes de la unidad (primeras 50 hrs).	x			
3	Revisión de tolerancias entre rotores y camisas de alojamiento.		x		x
4	Reportar presencia de particulas abrasivas en el fluido.		x		
5	Reportar cualquier cambio que se observe o realice en la unidad.		x		
6	Verificar el estado de los componentes flexibles de los acoplamientos.			x	
7	Revisar rodamiento instalado en el rotor principal de potencia.			x	
8	Revisar tolerancias de ajuste de los rodamientos de soporte en los ejes de la caja de engranajes (si lo hay) o en el sistema de embrague del motor.			x	
9	Inspeccion, rectificacion o cambio de sellos mecanicos.				x
10	Inspeccion de base y ajuste de tornillos de sujecion.				x
11	Revisión completa de todo el sistema.				x
Observaciones:					
Firma de tecnico:					

**Tabla X. Control de actividades MP para bombas Booster GP 3196.**

PLAN DE MENTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS BOOSTER GP 3196			
Bomba:			
Horometro:			
Fecha:			
		FRECUENCIA	
Item.	ACTIVIDAD	3 meses	1 año
1	Inspeccion de base y ajuste de tornillos de sujecion.	x	
2	Cambio de aceite.	x	
3	Verificar estado de alineacion.	x	
4	Revisión de capacidades de la bomba.		x
5	Revisión completa de todo el sistema.		x
6	Servicio al motor electrico.		x
Observaciones:			
Firma de tecnico:			

## CONCLUSIONES

1. Como una respuesta a necesidad de mantenimiento preventivo en estaciones de bombeo se presenta la “Guía para el diseño e implementación de un programa de mantenimiento preventivo de maquinaria y equipo de bombeo de crudo en el marco de disciplina operativa”, proponiendo 3 planes y se sientan las bases para el diseño e implementación de programas MP para otros equipos críticos.
2. La aplicación del programa MP permitirá capacitar al personal en el área de mantenimiento preventivo enfocado hacia la disciplina operativa.
3. El programa brindará, como resultado de la correcta implementación, un aumento en la vida de la maquinaria incluida en cada plan.
4. Con la implementación del programa se reducirá el mantenimiento por falla, se disminuirá el tiempo muerto al realizar trabajos de mantenimiento preventivo programados que aseguren la disponibilidad de la maquinaria. Con un mejor control de *stock* de repuestos y distribución de recursos se logrará una reducción de costos.
5. Al contar con la disponibilidad de la maquinaria, se incrementará la eficiencia de la estación de bombeo y se disminuirá la pérdida de energía por trabajar con equipos defectuosos.
6. Debido a la utilización de los principios de disciplina operativa que regula las actividades y a la eliminación de condiciones inseguras detectadas en los trabajos de Mantenimiento Preventivo, se obtendrá una reducción de incidentes y accidentes en actividades de mantenimiento.



## RECOMENDACIONES

Al Supervisor General de Oleoducto y Estaciones de Bombeo:

1. Involucrar en el programa a todo el personal operativo y de mantenimiento, empezando por los mandos medios y gerencia para crear una cultura de DO y MP a todo nivel.
2. Designar a un encargado del programa (a nivel de supervisión) que funja como líder del mismo, realice auditorías y genere reportes de avances obtenidos de manera periódica. El líder MP debe de ser el encargado de realizar la capacitación respectiva y de resolver todas las dudas que surjan.

Al Jefe de Mantenimiento Mecánico Oleoducto:

3. Evaluar la extensión del programa a otros equipos críticos de la Estación, para contar con la disponibilidad deseada, reducir los costos de otras áreas y poder programar de mejor manera los recursos del departamento de Mantenimiento.
4. Designar a un operador MP que se encargue de generar las ordenes de reparación programadas según las frecuencias establecidas en cada plan. Operador y encargado de bodega deben de trabajar conjuntamente para optimizar el *stock* de repuestos.
5. Verificar periódicamente si las frecuencias establecidas en el programa se adaptan al estado de la maquinaria, esto permitirá obtener los resultados planteados en el presente estudio.





## BIBLIOGRAFÍA

1. CASEMA. **Seminario de Operación y Mantenimiento de Bombas de Desplazamiento Positivo.** Guatemala programa de capacitación 2005. 103 pp.
2. Caterpillar Inc. **Operation & Maintenance Manual 3406 Industrial and EPG Generator Set Diesel Engines.** U.S.A. SEBU6336-01 Abril de 1994. 106 pp.
3. COMPETROL. **Principios de Operaciones Petroleras.** Guatemala Junio de 2003. 362 pp.
4. E.I. du Pont de Nomours and Company. **Administración de la Seguridad de los Procesos.** Manual de seminario 2003. 233 pp.
5. Goulds Pumps. **Installation, Operation and Maintenance Instructions ANSI Family.** U.S.A. Octubre de 1997. 123 pp.
6. IMO Industries Inc. **General Installation, Operation, Maintenance and Troubleshooting Manual for Three Screw and Cig Series Pumps.** Manual No. CA-1 Rev. 4 Septiembre de 1997. 17 pp.
7. Internet. [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com). **Mantenimiento / Mantenimiento Preventivo.** Microsoft Office 2007. Agosto de 2005. 1-5, 1-28.
8. Obregon Chavez, Rodolfo. **Implementación de la Disciplina Operativa en la Administración de Operaciones en la Industria Petrolera de Guatemala.** Trabajo de graduación Ing. Ind. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, junio de 2007. 149 pp.



Figura 12. Formato para la elaboración de procedimientos



<b>Título: CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE MOTOR CATERPILLAR 3406</b>		Departamento: <b>Oleoducto</b>
		Revisión No. <b>1</b> Fecha: <b>AGO/05</b>
Procedimiento detallado:		
<p><b>OBJETIVO:</b> Realizar una calibración de válvulas de forma correcta y segura, asegurando un funcionamiento óptimo y confiable del motor.</p> <p><b>INTRODUCCIÓN:</b> Este procedimiento indica los pasos a seguir para una adecuada calibración de válvulas. Es recomendable realizar esta actividad por lo menos cada 2000 horas de operación (consultar check list de servicios a motores) .</p> <p><b>REVISIONES INICIALES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Herramienta adecuada para la operación, llaves, copas, maneral, hojas de calibración, destornillador plano.</li> <li>Verificar que el motor se encuentre frío.</li> <li>Cable positivo de batería desconectado.</li> </ul> <p><b>PROCEDIMIENTO:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Desacoplar la base del interruptor de encendido del motor.</li> <li>Quitar tapón de orificio y colocar tornillo de sincronización.</li> <li>Con la herramienta adecuada darle vuelta al volante lentamente hasta que coincida el tornillo de sincronización con el agujero roscado del volante.</li> </ol> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p><b>Nota:</b> Cuando el tornillo de sincronización se encuentra debidamente acoplado es recomendable marcar la polea del eje cigüeñal con respecto a un punto de referencia, esto con la finalidad de calcular aproximadamente una vuelta completa (paso</p> </div> <ol style="list-style-type: none"> <li>Quitar tapaderas de válvulas.</li> <li>Determinar que cilindro se encuentra en etapa de compresión, cilindro 1 o 6.</li> <li>Calibrar la válvulas según siguiente tabla 1.1</li> <li>Se realizan mediciones a las 12:00 y 6:00 hrs. (verticalmente); y a las 3:00 y 9:00 hrs. Horizontalmente.</li> <li>Si los valores en las mediciones son mayores a 0.0080" se procede a la alineación, en el caso de mediciones verticales colocando o quitando calzas de las bases de la bomba IMO y en el caso de mediciones horizontales alinear por medio de los tornillos de ajuste de las bases de la bomba.</li> <li>Se aprietan los tornillos de sujeción de la bomba de 200 a 250 lb-ft, ver esquema adjunto de secuencia de apriete.</li> <li>Realizar nueva medición, si los valores se encuentran dentro de los límites pasar al paso 10, si no repetir pasos 7 y 8.</li> <li>Acoplamiento de ejes, apretar tornillos de acople a 35 lb-ft.</li> <li>Colocación de guarda.</li> <li>Revisión final de pernos y conexión de cable positivo de batería.</li> </ol>		
Revisado y aprobado por: nombre y firma		Título
Original firmado por: Ing.		Supervisor General Oleoducto
Original firmado por: Ing.		Gerente Refinería y Oleoducto
Original firmado por: Ing.		Gerente Operaciones