



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

**OPTIMIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LA  
CENTRAL TÉRMICA, CENTRO DE ENERGÍA ESCUINTLA, SIDEGUA, S.A.**

**Edgar Lionel Alonzo Rosales**

Asesorado por la Inga. Sigrid Alitza Calderón de León

Guatemala, septiembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LA  
CENTRAL TÉRMICA, CENTRO DE ENERGÍA ESCUINTLA, SIDEGUA, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDGAR LIONEL ALONZO ROSALES**

SUPERVISADO POR LA INGA. SIGRID ALITZA CALDERÓN DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
EXAMINADORA	Inga. Norma Ileana Sarmientos Zeceña
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### **OPTIMIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LA CENTRAL TÉRMICA, CENTRO DE ENERGÍA ESCUINTLA, SIDEGUA, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 24 de mayo de 2012.



**Edgar Lionel Alonzo Rosales**



Guatemala, 02 de agosto de 2013.  
REF.EPS.DOC.819.08.2013.

Ingeniero  
Juan Merck Cos  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Merck Cos.


Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, **Edgar Lionel Alonzo Rosales**, Carné No. **200611464** procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“OPTIMIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LA CENTRAL TÉRMICA, CENTRO DE ENERGÍA ESCUINTLA, SIDEGUA, S.A.”**.

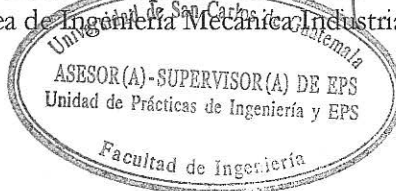
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Inga. Sigríd Alitza Calderón de León  
**Asesora-Supervisora de EPS**  
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



SACdL/ra



Guatemala, 02 de agosto de 2013.  
REF.EPS.D.536.08.2013

Ingeniero  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **“OPTIMIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LA CENTRAL TÉRMICA, CENTRO DE ENERGÍA ESCUINTLA, SIDEGUA, S.A.”** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Edgar Lionel Alonzo Rosales** quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Sigrid Alitza Calderón de Leon.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Juan Merck Cos  
Director Unidad de EPS



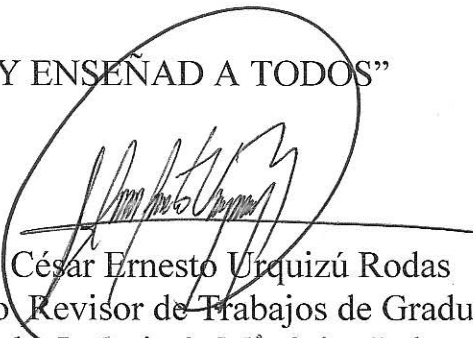
JMC/ra



REF.REV.EMI.135.013

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **OPTIMIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LA CENTRAL TÉRMICA, CENTRO DE ENERGÍA ESCUINTLA, SIDEGUA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Lionel Alonzo Rosales**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, agosto de 2013.

/mgp



REF.DIR.EMI.241.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de **OPTIMIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LA CENTRAL TÉRMICA, CENTRO DE ENERGÍA ESCUINTLA, SIDEGUA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Lionel Alonzo Rosales**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, septiembre de 2013.

/mgp



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 635.2013

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 Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LA CENTRAL TÉRMICA, CENTRO DE ENERGÍA ESCUINTLA, SIDEGUA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Lionel Alonzo Rosales**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 12 de septiembre de 2013

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios y la virgen María</b>	Por la vida y todas las bendiciones recibidas a lo largo de la misma y por darme la fortaleza y sabiduría para seguir adelante en los momentos difíciles.
<b>Mi madre</b>	María Luisa Rosales, por su amor, motivación y apoyo incondicional para poder finalizar mi formación profesional.
<b>Mi padre</b>	Vitalino Alonzo, por sus esfuerzos en todos estos años.
<b>Mis hermanos</b>	Ana Luisa y Byron Alonzo Rosales, por su cariño y apoyo.
<b>Mis amigos</b>	Abel Gúzman, Eddy Alfonso, Obed López, Ever Méndez y los hermanos Paredes por su valiosa amistad y apoyo.
<b>Mis compañeros de estudio</b>	Por su cooperación y amistad brindada.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Asesora**

Inga. Sigrid Calderón, por su gran colaboración en el desarrollo de este trabajo de graduación.

**Centro de Energía  
Escuintla, SIDEGUA,  
S.A.**

Por haberme abierto las puertas para realizar mi trabajo de graduación, en especial al Ing. Rony Castillo y al Lic. José Marques, por el apoyo brindado, por las experiencias compartidas para mi crecimiento como persona y como profesional.

**Facultad de Ingeniería**

Por brindarme la formación académica para convertirme en un profesional.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por brindarme la posibilidad de estudiar una carrera universitaria de calidad.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN .....	XXV
OBJETIVOS .....	XXVII
INTRODUCCIÓN .....	XXIX
1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA .....	1
1.1. Descripción de la Corporación Aceros de Guatemala .....	1
1.2. Reseña histórica de la Corporación Aceros de Guatemala .....	2
1.3. Visión .....	4
1.4. Misión .....	4
1.5. Valores .....	5
1.6. Estructura organizacional de la corporación .....	5
1.6.1. Junta Directiva .....	5
1.6.2. Administración General .....	5
1.6.3. Organización de cada planta .....	6
1.6.3.1. Gerencia Administrativa .....	6
1.6.3.2. Gerencia de Producción .....	6
1.6.4. Estructura organizacional del CEE .....	7
1.7. Ubicación del Centro de Energía Escuintla (CEE) .....	9
1.8. Actividades y servicios prestados por el CEE .....	10
1.8.1. Descripción técnica del proceso de transformación de energía .....	11
1.9. Descripción del Departamento de Mantenimiento Mecánico .....	20

2.	OPTIMIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO MECÁNICO.....	21
2.1.	Diagnóstico de la situación actual.....	21
2.1.1.	Análisis FODA .....	21
2.1.1.1.	Metodología utilizada .....	22
2.1.1.2.	Resultados del estudio.....	22
2.1.1.3.	Establecimiento del FODA .....	27
2.1.2.	Diagramas Causa y Efecto .....	31
2.1.3.	Determinación del problema .....	33
2.1.3.1.	Definición del problema.....	33
2.1.3.2.	Delimitación .....	34
2.1.3.3.	Límites .....	35
2.2.	Características generales, especificaciones técnicas de los motores Caterpillar 3616 .....	35
2.3.	Generalidades del área de estudio .....	38
2.4.	Descripción de la fuerza laboral.....	38
2.5.	Factores que intervienen en las operaciones de mantenimiento de los motores Caterpillar 3616 .....	39
2.5.1.	Condiciones de trabajo .....	40
2.5.2.	Métodos y procedimientos .....	41
2.5.3.	Gestión de mantenimiento .....	41
2.5.4.	Materiales y repuestos.....	42
2.5.5.	Herramienta y equipo.....	42
2.5.6.	Mano de obra.....	43
2.6.	Operaciones de mantenimiento para los motores Caterpillar 3616 .....	44
2.7.	Demoras en las operaciones de mantenimiento preventivo para los motores Caterpillar 3616.....	49
2.8.	Análisis y resultados del estudio de métodos .....	49

2.8.1.	Propuesta de estandarización de las actividades que conforman las operaciones de mantenimiento de los motores Caterpillar 361650 .....	50
2.8.1.1.	Estudio de tiempos de las operaciones de mantenimiento preventivo .....	50
2.8.1.1.1.	Ejecución del estudio de tiempos .....	52
2.8.1.1.2.	Mantenimiento de 100 horas de servicio .....	66
2.8.1.1.3.	Mantenimiento de 250 horas de servicio .....	68
2.8.1.1.4.	Mantenimiento de 500 horas de servicio .....	73
2.8.1.1.5.	Mantenimiento de 1 000 horas de servicio .....	76
2.8.1.1.6.	Mantenimiento de 2 000 horas de servicio .....	80
2.8.1.1.7.	Mantenimiento de 4 000 horas de servicio .....	84
2.8.2.	Evaluación de los tiempos utilizados por el personal durante el desarrollo de las operaciones de mantenimiento.....	87
2.8.2.1.	Jornada de trabajo .....	87
2.8.2.2.	Demoras inevitables .....	88
2.8.2.3.	Demoras evitables .....	90
2.8.2.4.	Análisis de demoras .....	91
2.8.2.5.	Tiempo efectivo .....	92
2.8.3.	Recursos materiales, herramienta y equipo.....	94

2.8.4.	Propuesta de mejora en las operaciones de mantenimiento .....	102
2.8.4.1.	Mejora en la programación de mantenimiento.....	103
2.8.4.1.1.	Programación del mantenimiento.....	103
2.8.4.1.2.	Control de horas extras .....	113
2.8.4.2.	Mejora en la utilización de recursos .....	114
2.8.5.	Mejora de la eficiencia en las operaciones de mantenimiento .....	123
2.8.5.1.	Factores que afectan la eficiencia .....	123
2.8.5.2.	Planificación de las operaciones de mantenimiento.....	129
2.8.5.3.	Estandarización de los procedimientos para las desviaciones en la operación de los motores.....	130
2.8.5.4.	Establecimiento de índices de calidad para una mejora continua .....	130
3.	ANÁLISIS DE EFICIENCIA EN LOS MOTORES CATERPILLAR 3616..	135
3.1.	Principios básicos de funcionamiento .....	135
3.2.	Definición de factores que afectan el funcionamiento .....	136
3.2.1.	Condiciones de trabajo .....	136
3.2.1.1.	Altitud.....	136
3.2.1.2.	Fuentes de calor .....	137
3.2.2.	Tipo de combustible.....	138
3.2.2.1.	Selección .....	139
3.2.2.2.	Propósito del combustible .....	139
3.2.2.3.	Características del combustible.....	139

3.2.2.4.	Contaminantes .....	142
3.2.3.	Dosificación de carga .....	144
3.2.3.1.	Arranque y dosificación inicial.....	145
3.2.3.2.	Dosificación complementaria .....	147
3.2.3.3.	Verificación de parámetros .....	147
3.3.	Estudio técnico sobre eficiencia de los motores .....	147
3.3.1.	Parámetros de funcionamiento.....	148
3.3.1.1.	Velocidad.....	148
3.3.1.2.	Temperatura de cilindros .....	149
3.3.1.3.	Presión de combustible .....	149
3.3.1.4.	Temperatura de combustible .....	149
3.3.1.5.	Presión de aceite lubricante.....	149
3.3.1.6.	Temperatura de aceite lubricante .....	150
3.3.1.7.	Temperatura de agua de enfriamiento .....	150
3.3.1.8.	Presión de agua de enfriamiento .....	150
3.3.1.9.	Presión en el cárter.....	151
3.3.1.10.	Presión de aire de admisión .....	151
3.3.2.	Rendimiento .....	151
3.3.2.1.	Rendimiento térmico.....	152
3.3.3.	Sistema de inyección de combustible.....	163
3.3.3.1.	Elementos .....	164
3.3.3.2.	Funcionamiento .....	166
3.3.3.3.	Calibración del sistema de inyección .....	167
3.3.3.4.	Análisis de calidad de combustible .....	170
3.3.4.	Sistema de enfriamiento.....	179
3.3.4.1.	Elementos .....	180
3.3.4.2.	Funcionamiento .....	181
3.3.4.3.	Refrigerantes y aditivos .....	183
3.3.4.4.	Preservación del sistema de enfriamiento .....	188



3.3.5.	Sistema de lubricación .....	190
3.3.5.1.	Elementos .....	190
3.3.5.2.	Funcionamiento.....	192
3.3.5.3.	Tipo de lubricante.....	192
3.3.5.4.	Análisis de calidad de aceite lubricante .....	194
3.3.5.4.1.	Parámetros .....	195
3.3.5.4.2.	Degradación del aceite lubricante.....	200
3.3.5.4.3.	Recomendaciones .....	203
4.	CAPACITACIÓN .....	207
4.1.	Diagnóstico de necesidades de capacitación .....	207
4.2.	Planificación de capacitaciones .....	210
4.3.	Programas de capacitación del proyecto .....	211
4.3.1.	Leyes de la termodinámica y conceptos básicos .....	211
4.3.2.	Motores de combustión interna .....	212
4.3.3.	Motores Caterpillar 3616.....	213
4.3.4.	Aislamiento de energía peligrosa .....	213
	CONCLUSIONES .....	217
	RECOMENDACIONES .....	219
	BIBLIOGRAFÍA .....	221
	APÉNDICES .....	223

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura organizacional de la corporación Aceros de Guatemala .....	6
2.	Organigrama del Centro de Energía Escuintla (CEE) .....	8
3.	Ubicación geográfica de Centro de Energía Escuintla, parque industrial SIDEGUA, S.A.....	9
4.	Diagrama de bloques del proceso de transformación de energía.....	18
5.	Diagrama esquemático del proceso de transformación de energía.....	19
6.	Formato de encuesta para realización de análisis FODA.....	23
7.	Resultados de encuesta sobre situación actual .....	26
8.	Descripción grafica del FODA .....	26
9.	Diagrama Causa-Efecto, demoras en las operaciones de mantenimiento de los motores Caterpillar 3616 .....	32
10.	Motores Caterpillar 3616 instalados en CEE.....	37
11.	Panel local de motor Caterpillar 3616 .....	43
12.	Formato de <i>check list</i> para mantenimientos preventivos.....	47
13.	Formato de <i>Daily</i> del Centro Energía Escuintla.....	48
14.	Formato de hoja de observación.....	65
15.	Duración de operaciones de mantenimiento de 250 horas de servicio .....	104
16.	Duración de operaciones de mantenimiento de 500 horas de servicio .....	105
17.	Programación de operaciones de mantenimiento de 1 000 horas de servicio .....	107

18.	Programación de operaciones de mantenimiento de 2 000 horas de servicio .....	109
19.	Programación de operaciones de mantenimiento de 4 000 horas de servicio .....	112
20.	Principales factores que afectan la eficiencia .....	125
21.	Formato para control de salida de herramienta, equipo, materiales y repuestos .....	128
22.	Formato para control de entrada de herramienta, equipo, materiales y repuestos.....	129
23.	Torre de enfriamiento .....	138
24.	Ciclo diesel ideal .....	153
25.	Inyector de combustible unitario motores Caterpillar 3616 .....	164
26.	Actuador electrónico-mecánico motores Caterpillar 3616.....	165
27.	Varillaje de control de inyección motores Caterpillar 3616.....	166
28.	Varillaje del sistema de inyección .....	168
29.	Caja del actuador .....	169
30.	Ajuste de inyección por bancada.....	170
31.	Intercambiador de calor y tanque de expansión .....	180
32.	Diagrama de sistema de enfriamiento .....	182
33.	Formato de seguimiento de adición de aditivo (SCA) .....	188
34.	Diagrama esquemático del sistema de lubricación .....	193
35.	Formato de encuesta sobre necesidades de capacitación .....	208
36.	Resultados de encuesta sobre necesidades de capacitación .....	209
37.	Formato de asistencia al programa de capacitación .....	215

## **TABLAS**

I.	Matriz FODA.....	30
II.	Especificaciones de los motores Caterpillar 3616.....	35

III.	Pesos de referencia para motores Caterpillar 3616.....	36
IV.	Descripción de personal, Departamento de Mantenimiento Mecánico .....	39
V.	Determinación de número de ciclos (General Electric) .....	51
VI.	Sistema de calificación de habilidades Westinghouse .....	56
VII.	Calificación de esfuerzo Westinghouse .....	57
VIII.	Calificación de condiciones Westinghouse .....	58
IX.	Calificación de consistencia por método Westinghouse .....	58
X.	Suplementos recomendados por la OIT .....	63
XI.	Lavado de turbocompresores .....	66
XII.	Limpieza/cambio de filtros de admisión .....	68
XIII.	Cambio de filtros centrífugos de aceite lubricante .....	69
XIV.	Limpieza de respiraderos del cárter.....	70
XV.	Evaluación de refrigerante.....	71
XVI.	Lubricación de varilla del actuador .....	71
XVII.	Prueba de compuerta de parada de emergencia.....	72
XVIII.	Resumen de operaciones de mantenimiento de 250 horas de servicio .....	73
XIX.	Revisión y torque de tapones del cigüeñal .....	74
XX.	Medición de turbocompresores .....	75
XXI.	Resumen de operaciones de mantenimiento de 500 horas de servicio.....	76
XXII.	Resumen de operaciones de mantenimiento de 1 000 horas de servicio .....	79
XXIII.	Resumen de operaciones de mantenimiento de 2 000 horas de servicio .....	83
XXIV.	Resumen de operaciones de mantenimiento de 4 000 horas de servicio .....	85
XXV.	Demoras inevitables en las operaciones de mantenimiento .....	90

XXVI.	Demoras evitables en las operaciones de mantenimiento.....	91
XXVII.	Demoras inevitables y evitables .....	92
XXVIII.	Descripción de equipo.....	95
XXIX.	Descripción de materiales e insumos .....	99
XXX.	Tiempo estándar definitivo para el mantenimiento de 250 horas de servicio.....	104
XXXI.	Tiempo estándar definitivo para el mantenimiento de 500 horas de servicio .....	106
XXXII.	Tiempo estándar definitivo para el mantenimiento de 1 000 horas de servicio .....	108
XXXIII.	Tiempo estándar definitivo para el mantenimiento de 2 000 horas de servicio .....	110
XXXIV.	Tiempo estándar definitivo para el mantenimiento de 4 000 horas de servicio .....	113
XXXV.	Recursos utilizados para mantenimiento preventivo .....	114
XXXVI.	Factores que afectan la eficiencia en las operaciones .....	125
XXXVII.	Historial de consumo de repuestos y materiales.....	126
XXXVIII.	Horas de disponibilidad de los motores al año.....	132
XXXIX.	Eficiencia térmica motores Caterpillar 3616 .....	163
XL.	Especificación de combustible pesado para motores Caterpillar 3616 .....	171
XLI.	Matriz de mitigación de problemas relacionados con el combustible .....	172
XLII.	Fallas debido a mala calidad del combustible.....	176
XLIII.	Costos estimados para realización de <i>blending</i> .....	177
XLIV.	Características mínimas del agua de enfriamiento .....	183
XLV.	Tipos de refrigerantes.....	185
XLVI.	Parámetros de concentración de aditivo .....	187
XLVII.	Especificaciones de aceite lubricante .....	194

XLVIII.	Parámetros de aceite lubricante Taro 40 XL 40 .....	200
XLIX.	Resultados de centrifugación aceite lubricante .....	202



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>SCA</b>	Aditivo refrigerante suplementario
<b>AC/OC</b>	Aftercooler /Oil cooler o postenfriador y enfriador de aceite
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>A</b>	Amperio
<b>bar</b>	Bar (unidad de presión)
<b>Btu</b>	British thermal unit
<b>Btu/lb</b>	Btu sobre libra
<b>JW</b>	Camisas de agua
<b>cms</b>	Centímetros
<b>Cst</b>	Centiestok
<b>dB</b>	Decibeles
<b>US\$</b>	Dólares
<b>n<sub>t</sub></b>	Eficiencia térmica
<b>EPP</b>	Equipo de protección personal
<b>Gal</b>	Galones
<b>gpm</b>	Galones por minuto
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>°K</b>	Grados kelvin
<b>°</b>	Grados sexagesimales
<b>Hz</b>	Herz o ciclos por segundo
<b>HP</b>	Horse power o caballos de fuerza



<b>CCAI</b>	Índice aromático del carbono
<b>kJ</b>	Kilojoul
<b>kJ/kg</b>	Kilojoul sobre kilogramo
<b>KBbl</b>	Kilobarriles
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo sobre metro cúbico
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>kg/s</b>	Kilogramos sobre segundo
<b>kPa</b>	Kilopascales
<b>kWh</b>	Kilowatt-hora
<b>kW</b>	Kilowatts
<b>ft-lb</b>	Libra-pie
<b>lbs</b>	Libras
<b>lbs/pulg<sup>2</sup></b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>MW</b>	Megawatts
<b>MWh</b>	Megawatts- hora
<b>m</b>	Metros
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>m/s</b>	Metros sobre segundo
<b>mg/KOH</b>	Miligramos de hidróxido de potasio
<b>mm</b>	Milímetros
<b>min</b>	Minutos
<b>N.m</b>	Newton por metro
<b>TBN</b>	Numero total base
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Pulg</b>	Pulgadas
<b>"</b>	Pulgadas
<b>pulg<sup>3</sup></b>	Pulgadas cúbicas
<b>pulg de H<sub>2</sub>O</b>	Pulgadas de agua

<b>PMS</b>	Punto muerto superior
<b>PMI</b>	Punto muerto inferior
<b>Q</b>	Quetzales
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>SIDEGUA</b>	Siderúrgica de Guatemala
<b>ITC</b>	Sistema de enfriamiento de inyectores
<b>TPS</b>	Tiempo promedio seleccionado
<b>VAC</b>	Voltaje a corriente alterna
<b>VDC</b>	Voltaje a corriente directa



## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Acción de rozamiento y desgaste del metal perteneciente a piezas en movimiento a causa de partículas extrañas.
<b>Aceite lubricante</b>	Sustancia líquida que introducida entre dos superficies reduce la fricción entre ellas.
<b>Aceite usado</b>	Exactamente lo que su nombre implica, cualquier aceite proveniente de petróleo crudo o sintético que haya sido utilizado y a perdido sus características principales.
<b>Aditivos</b>	Producto que se mezcla o adiciona a otro, para mejorar las cualidades en los motores de combustión interna, los aditivos en el agua se agregan para evitar corrosión, cavitación y depósitos minerales, los aditivos detergentes, anticorrosivos y neutralizantes de ácidos se agregan al aceite lubricante.
<b>Alcalinidad</b>	Propiedad de las sustancias químicas capaces de ceder iones negativos cuando están en disolución acuosa.

<b>AMM</b>	Administración del Mercado Mayorista, entidad privada sin fines de lucro, encargada de coordinar la operación de centrales generadoras, interconexiones internacionales y líneas de transporte de energía eléctrica al mínimo costo. Garantizando la seguridad y abastecimiento de energía eléctrica en todo el país.
<b>Asfaltenos</b>	Familia de compuestos químicos orgánicos, resultan de la destilación fraccionada del petróleo crudo y representan los compuestos más pesados y por tanto, los de mayor punto de ebullición.
<b>Axial</b>	En la misma dirección del eje o sección.
<b>Azufre</b>	Elemento indeseable en el combustible que se quema en la cámara de combustión, formando gases que se transforman en líquidos corrosivos al reaccionar con el agua. Los compuestos de azufre pueden corroer las cámaras y los anillos de los pistones. El dióxido de azufre generado por la combustión puede causar corrosión en las salidas de escapes a bajas temperaturas.
<b>Bancada</b>	Soportes del eje cigüeñal y acople de bielas y pistones del motor.

<b>Carga</b>	Esfuerzo al que está expuesto un motor para desarrollar un trabajo, se puede tomar como sinónimo de potencia.
<b>Caudal</b>	Cantidad de flujo que pasa por una sección en un determinado tiempo.
<b>Cavitación</b>	Formación de burbujas de vapor en el seno de los líquidos, bien por vaporización de los mismos a causa de sólidos que entran en contacto a gran velocidad o por la acción de ondas sónicas de alta frecuencia.
<b>CEE</b>	Centro de Energía Escuintla, planta generadora de electricidad del tipo térmica de motores reciprocantes.
<b>Cigüeñal</b>	Eje con forma acodada encargado de transformar el movimiento rectilíneo de los pistones en movimiento circular o viceversa.
<b>Compresión</b>	Estrechamiento o reducción a menor volumen.
<b><i>Core business</i></b>	Actividad principal a la que se dedica, caracteriza, diferencia y define a una empresa u organización.

<b>Corrosión</b>	Reacción química de un material metálico con su entorno, lo cual conduce a una variación de sus propiedades.
<b>Densidad</b>	Cantidad de masa contenida en un determinado volumen.
<b>Destilación</b>	Proceso industrial empleado para la obtención de los diferentes productos combustibles y lubricantes a partir del petróleo bruto, se fundamenta a que este último, es una mezcla complicada de bastantes hidrocarburos de distinta densidad y temperaturas de ebullición.
<b>Desviación</b>	Salir de los parámetros establecidos.
<b>Disponibilidad</b>	Característica de un equipo, instalación, línea de producción que expresa su habilidad para operar sin problemas. Es el estado en que una unidad esta en condiciones de ser operada comercialmente, se encuentre en servicio o no.
<b>Eficaz</b>	Es la capacidad de alcanzar el efecto que se espera o se desea tras la realización de una acción
<b>Eficiencia</b>	Es la capacidad de alcanzar el efecto que se espera o desea tras la realización de una acción y utilizando los recursos de la mejor manera posible.

<b>Entropía</b>	Magnitud física que permite determinar la parte de la energía que no puede utilizarse para producir un trabajo, es el nivel de desorden que posee un sistema térmico.
<b>Esteres</b>	Producto de la condensación de una molécula de un ácido orgánico con otra de un alcohol con eliminación de una molécula de agua, la reducción catalítica de los esteres, se puede efectuar al usar el hidrógeno como reductor en presencia de catalizadores.
<b>Estrategia</b>	Conjunto de acciones planificadas sistemáticamente en el tiempo que se llevan a cabo para lograr un determinado fin o misión.
<b>Fluctuación</b>	Aumento y descenso alternado
<b>Fricción</b>	Frotamiento de una superficie de forma repetida aplicando una fuerza determinada.
<b>Gestión</b>	Realizar las acciones necesarias para resolver un problema o asunto.
<b>Herrumbre</b>	Capa de oxido que se forma en la superficie de los metales, principalmente el hierro a causa de la humedad.



<b>HFO</b>	Heavy Fuel Oil o combustible pesado, tipo de combustible derivado de los residuos de la destilación del petróleo crudo.
<b>Isoentrópico</b>	Proceso térmico en que la entropía del fluido que forma el sistema permanece constante.
<b>Mantenimiento</b>	Todas aquellas acciones llevadas a cabo para mantener o reparar una unidad funcional de forma que está pueda cumplir sus funciones.
<b>Mantto correctivo</b>	Comprende el que se lleva a cabo para con el fin de corregir (reparar) una falla en el equipo.
<b>Mantto predictivo</b>	Este tipo de mantenimiento se basa en adelantarse a la falla o al momento en que el equipo deja de funcionar en condiciones óptimas.
<b>Mantto preventivo</b>	Tipo de mantenimiento que intenta reducir las reparaciones mayores, mediante una rutina de inspecciones periódicas y reparación de elementos dañados.
<b>OIT</b>	Organización Internacional del Trabajo, organismo especializado de las Naciones Unidas que se ocupa de los asuntos relativos al trabajo y las relaciones laborales.

<b>Optimizar</b>	Buscar la mejor manera de realizar una actividad para obtener los resultados esperados.
<b>Perfiles</b>	Producto del acero obtenido a través de la laminación del mismo, con formas diferentes, utilizado en fines estructurales y estéticos.
<b>Pistón</b>	Cuerpo ajustado dispuesto en el interior de un cilindro que se mueve alternativamente, para comprimir un fluido o para recibir movimiento de él.
<b>Potencia</b>	Capacidad, fuerza o poder para ejecutar algo o para producir un efecto; trabajo en función del tiempo.
<b>Puente grúa</b>	Viga que corre sobre rieles a lo largo de la parte superior de una nave.
<b>Reacondicionamiento</b>	Reparación de equipos y dispositivos, cambiado parte de sus componentes por componentes nuevos.
<b>Reversible</b>	Propiedad de algunos procesos de desarrollarse de forma que el sistema atraviese una sucesión de estados de equilibrio y regresar a la posición original.
<b>Sedimentos</b>	Contaminantes que, normalmente proceden del almacenamiento y transporte del combustible. Todos los combustibles contienen sedimentos que consisten en residuos de hidrocarburos y materiales extraños. El análisis de sedimentos totales esta

diseñado para determinar la cantidad de material no fluido en combustibles por un método de filtración.

**Siliconas**

Polímero cuya cadena principal está formada por uniones respectivas de silicio y oxígeno, según el grado de polimerización, adoptan la forma de aceites, grasas, elastómeros, tienen alta resistencia térmica, baja adhesividad y carácter hidrofobo.

**Sincronización**

Acto de sincronizar, es decir que el generador se acople a las características del sistema, cumpliendo con los requisitos de que la tensión y frecuencia sean iguales a los del Sistema Nacional Interconectado.

**Stock**

Nivel de inventario o cantidad disponible de materiales, equipo o herramienta.

**Taller**

Sectores internos o externos de la empresa en donde se realiza el mantenimiento.

**Termodinámica**

Parte de la física que estudia la relación mecánica del calor con otros tipos de energía.

**Viscosidad**

En un líquido, mide su tendencia a mantenerse unido y se manifiesta por su resistencia a fluir.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación desarrollado a través del Ejercicio Profesional supervisado (EPS) contempla aspectos generales de la Corporación Aceros de Guatemala al cual pertenece el parque industrial SIDEGUA, S.A., donde se encuentra ubicado el Centro de Energía Escuintla en el cual se ha llevado a cabo las investigaciones relativas a la optimización y estandarización de operaciones de mantenimiento mecánico de los motores Caterpillar 3616, que relacionan aspectos tanto operativos como técnicos de la eficiencia de los motores.

Luego de describir el proceso de generación de energía eléctrica, se realizó el diagnóstico de la situación actual, se establecieron las causas principales de demoras en las operaciones de mantenimiento preventivo de los motores, asimismo todos los factores que intervienen en las operaciones de mantenimiento y se delimitaron las operaciones para realizar un seguimiento en las operaciones y un estudio de tiempos para establecer el tiempo estándar de las mismas.

Una vez establecido el tiempo estándar de cada operación, se procedió a programar las actividades de mantenimiento tomando en cuenta recursos como: materiales, herramienta, equipo y repuestos de una forma metódica y práctica. Además, se elaboran flujogramas que describen de forma sencilla la manera de actuar en las desviaciones más comunes que se dan en la operación y funcionamiento de los motores.

Se describe el análisis efectuado en los sistemas necesarios para el funcionamiento de los motores, parámetros de operación y ajuste, realizando cálculos para encontrar la eficiencia térmica, determinar la cantidad de combustible destilado a mezclar para mejorar las características del combustible pesado utilizado, cálculos sobre dosificación de aditivo refrigerante para el sistema de enfriamiento y evaluación de análisis de aceite lubricante, y presentar una propuesta e implementación de criterios de cambio o refrescamiento del mismo.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Optimizar y estandarizar las operaciones de la central térmica, Centro de Energía Escuintla, SIDEGUA, S.A.

### **Específicos**

1. Determinar el tiempo óptimo de ejecución para cada una de las operaciones de mantenimiento preventivo en los motores Caterpillar 3616.
2. Programar las operaciones de mantenimiento preventivo, utilizando la mano de obra y tiempo de forma óptima.
3. Planificar las operaciones de mantenimiento mejorando la utilización de herramienta, materiales y equipo, estableciendo indicadores para una mejora continua.
4. Determinar la eficiencia térmica de los motores Caterpillar 3616.
5. Analizar los principales sistemas de funcionamiento de los motores Caterpillar 3616, identificando los parámetros y puntos críticos necesarios para mejorar la eficiencia de los mismos.
6. Realizar propuestas técnicas de mejora relacionadas con el combustible, aceite lubricante y refrigerante para motor.

7. Brindar capacitaciones técnicas que complementen los conocimientos del personal de mantenimiento mecánico para que puedan desempeñarse de mejor manera en sus labores.

## INTRODUCCIÓN

El Centro de Energía Escuintla es una central térmica que forma parte de la corporación Aceros de Guatemala, como un activo estratégico para la creación de utilidades por medio de la generación de energía eléctrica y distribución a través del Sistema Nacional Interconectado. Por lo que la convierte en un productor importante de energía eléctrica en el país.

Para poder ofrecer el servicio debe poseer toda la maquinaria y equipo en condiciones disponibles de operación, principalmente los grupos electrógenos compuestos por motores de combustión interna y generadores. Es importante contar con tiempos programados para los distintos mantenimientos debido a que las unidades entran a generar en cualquier momento por disposición del Administrador del Mercado Mayorista.

Si no se cumplen los períodos de tiempo concedidos para los distintos mantenimientos, se corre el riesgo de pagar multas debido a que las unidades quedan indisponibles fuera del tiempo programado. Es por ello la importancia de establecer tiempos reales y estándar para la realización de mantenimientos de tipo preventivo, principalmente, y mejorar la gestión de recursos necesarios para la ejecución de los mismos.

Otra forma de que las unidades queden indisponibles en el mercado es por medio de las fallas de funcionamiento de los motores, que incluso pueden dejar a las unidades fuera de servicio por semanas debido a las reparaciones correctivas que se realizan.



Por lo que es importante mejorar la eficiencia operativa de los motores, esto se realiza estableciendo parámetros de funcionamiento desde el cálculo de la eficiencia térmica actual hasta los principales ajustes en los sistemas de inyección de combustible, sistema de enfriamiento y sistema de lubricación.

Actualmente se desconocen los tiempos reales aceptables para la elaboración de determinado mantenimiento, una gestión desorientada en el uso de recursos y deficiencias técnicas sobre el funcionamiento de los motores, que son los principales retos de este proyecto.

# **1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA**

## **1.1. Descripción de la Corporación Aceros de Guatemala**

La Corporación Aceros de Guatemala se encuentra conformada por un grupo de cuatro plantas productivas alrededor de todo el país cuyo principal atribución es la elaboración de diversos productos donde la materia prima es el acero. Dentro de sus principales plantas productivas se encuentra el parque industrial SIDEGUA (Siderúrgica de Guatemala, S.A.), dicho parque cuenta con una capacidad de producción de 71 000 toneladas métricas mensuales de acero utilizado para la elaboración de palanquilla, alambón, varilla corrugada, clavos, grapas, alambre de amarre, alambre espigado, alambre galvanizado, malla ciclón y malla electro soldada.

A pesar de que la corporación tiene como principales productos todos aquellos derivados del acero, cuenta con un activo estratégico de gran importancia para socios de la corporación. Este activo se representa físicamente a través de la central térmica que recibe el nombre de Centro de Energía Escuintla (CEE), ubicado dentro de las instalaciones del parque industrial SIDEGUA.

El CEE tiene como principal función la generación de energía eléctrica por medio de diez grupos electrógenos. Cada grupo electrógeno se encuentra conformado por un motor de combustión interna y un generador con una capacidad de 4 megavatios.

Por lo que la central cuenta con una capacidad instalada de 40 megavatios, para cubrir la demanda de la acería ubicada dentro del parque industrial, de igual forma cubrir la demanda de grandes usuarios en el Sistema Nacional Interconectado.

El Centro de Energía Escuintla (CEE) forma parte de la industria eléctrica del país y por ello se rige por los estatutos de la entidad conocida como Administrador del Mercado Mayorista (AMM), dicha entidad es la encargada de la coordinación de la operación de las centrales generadoras y de garantizar la seguridad y abastecimiento de energía eléctrica en todo el país.

El AMM es el encargado de programar la entrada en operación del CEE, por lo que el tiempo, duración y potencia generada depende única y exclusivamente de la demanda de energía que exista en el Sistema Nacional Interconectado.

Por lo que el CEE es una unidad totalmente dependiente de las normas y reglamentos establecidos por el AMM y cada uno de los movimientos de operación y mantenimiento deben realizarse siguiendo los debidos procedimientos previamente establecidos por dicha entidad.

## **1.2. Reseña histórica de la corporación Aceros de Guatemala**

En 1950 fue fundada Distribuidora Universal, una empresa comercializadora de distintas líneas de productos. Dada la elevada demanda de productos derivados del acero, rápidamente concentra su negocio en la venta de clavo, alambre espigado y varillas de hierro para la construcción.

En 1963 se inicia la historia de la Corporación Aceros de Guatemala, a partir de una sencilla máquina para fabricar clavos. La primera empresa fundada para la producción de clavos, rápidamente se amplía otros productos de acero como grapas, alambre espicado y varilla para construcción.

En 1971, con el objetivo de cubrir mejor el mercado por medio de una producción más competitiva, se amplía con una planta galvanizadora de alambre y lámina, así como dos hornos de arco eléctrico para la fabricación de lingote de acero, partiendo de la chatarra como materia prima básica.

En 1979, la fábrica de laminación se amplía para producir varilla de construcción lo que llevaría a la corporación a ocupar un lugar importante en el mercado. Posteriormente en 1987, la corporación adquiere Industrial de Tubos y Perfiles S.A. (INTUPERSA). Dicha adquisición permite ofrecer una extensa gama de productos de acero, tales como: cañería, costanera, tubería eléctrica, estructural e industrial, convirtiéndola en la más sólida de la industria.

Con la finalidad de obtener una mayor eficiencia en la fabricación de los diferentes productos se funda SIDEGUA; uno de los proyectos más importantes de la historia de la industria del acero en Centro América. Esta planta inicia operaciones en 1994 llevando a cabo el proceso de fabricación de lingote de acero desde la recolección de la chatarra utilizando métodos y tecnología avanzada logrando una producción más limpia para la conservación del medio ambiente.

En 1995 se adquiere INDETA, empresa dedicada a la fabricación de alambre, varilla de construcción, clavo y otros productos. Basados en el creciente mercado de la construcción, el cual constituye uno de los de mayor crecimiento en la economía del país, la corporación Aceros de Guatemala a

desarrollado sus diferentes productos satisfaciendo parte importante del mercado tanto nacional como a nivel centroamericano.

Con el fin de satisfacer los requerimientos de energía eléctrica y como parte de una estrategia visionaria de la corporación, se inicia en 1995 el montaje del Centro de Energía Escuintla. Dicha central térmica no solo garantizaría el suministro de energía eléctrica a las plantas ubicadas dentro del parque industrial SIDEGUA, sino además, vendería al sistema nacional, contribuyendo así a proporcionar la herramienta necesaria para que Guatemala pueda aceptar los nuevos retos que en materia energética se presentan.

### **1.3. Visión**

“Mantener el liderazgo en Guatemala y el resto de Centro América, en la fabricación y distribución de productos de acero para la construcción y otros sectores; identificados y comprometidos con los altos estándares de la siderurgia a nivel internacional”.

### **1.4. Misión**

“En Corporación Aceros de Guatemala, fabricamos y distribuimos productos de acero con calidad certificada en un ambiente seguro, con un equipo humano especializado y motivado; comprometidos con nuestros clientes, la sociedad y el cuidado del medio ambiente”.

## **1.5. Valores**

Dentro de los principios fundamentales en que se guían todas las actividades de la corporación, se pueden mencionar:

- Honestidad y rectitud
- Actitud responsable
- Calidad en todo lo que se hace
- Personas leales, comprometidas y realizadas
- Seguridad en el ambiente de trabajo
- Cliente satisfecho

## **1.6. Estructura organizacional de la corporación**

La empresa Aceros de Guatemala está organizada de la siguiente forma:

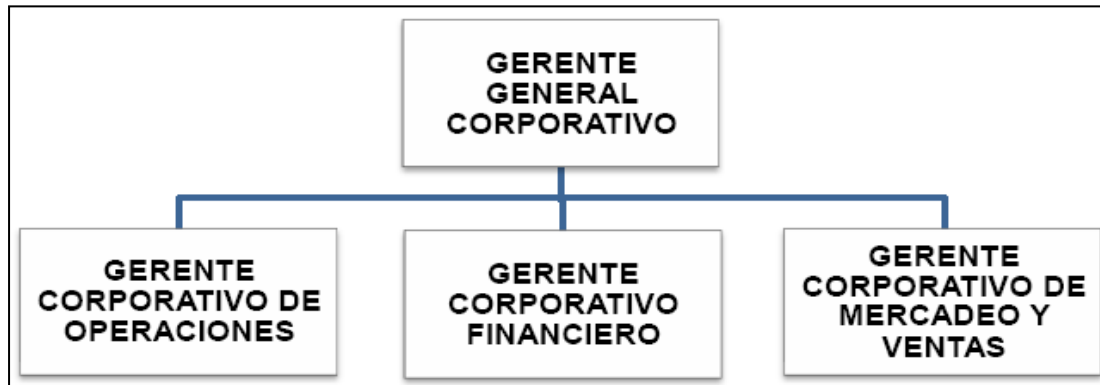
### **1.6.1. Junta Directiva**

Formada por los propietarios y principales ejecutivos de la corporación.

### **1.6.2. Administración General**

Su función principal es la administración y control de los bienes de la empresa. Se representa gráficamente por medio de un organigrama vertical que muestra de forma general la gerencia y el principal nivel jerárquico administrativo de la corporación. (Ver figura 1).

Figura 1. **Estructura organizacional de la corporación Aceros de Guatemala**



Fuente: Gerencia Administrativa de la corporación Aceros de Guatemala.

### **1.6.3. Organización de cada planta**

Las plantas productivas están organizadas de la siguiente forma:

#### **1.6.3.1. Gerencia Administrativa**

Tiene como función la administración y control de los bienes de la empresa en cada planta de producción, asimismo, mantener el orden de la totalidad de las operaciones normales de cada empresa.

#### **1.6.3.2. Gerencia de Producción**

Este departamento tiene a su cargo toda la producción en cada una de las plantas, su función principal es la de velar que la producción cumpla con los programas de mercadeo y ventas corporativos, de igual forma que el producto tenga la calidad requerida.

#### **1.6.4. Estructura organizacional del CEE**

La estructura jerárquica de la central térmica es de tipo funcional y se representa gráficamente por medio de un organigrama vertical, este tipo de organigrama permite establecer la responsabilidad y autoridad dentro de la planta. Compuesto por unidades ramificadas de arriba hacia abajo a partir del nivel gerencial en la parte superior y diferentes niveles jerárquicos que se desagregan en forma escalonada.

Se cuenta con el gerente de la planta conocido en la corporación como gerente de generación ubicado en el nivel superior, en el segundo nivel se encuentra el superintendente de mantenimiento que tiene a su cargo la supervisión de cuatro departamentos esenciales para la operación y mantenimiento de la planta. En el tercer nivel del organigrama se encuentran los supervisores de cada uno de los departamentos de operación, mantenimiento mecánico, mantenimiento eléctrico y mantenimiento de auxiliares. En el cuarto nivel se encuentran los técnicos pertenecientes a cada uno de los departamentos mencionados con anterioridad, donde la cantidad de personal depende de las necesidades de cada uno de los departamentos.

El uso de este tipo de organigrama presenta ventajas y desventajas en la planta. Como ventaja de emplear este tipo de organigrama se tiene que cada uno de los puestos se comprende fácilmente e indica en forma objetiva la jerarquía del personal.

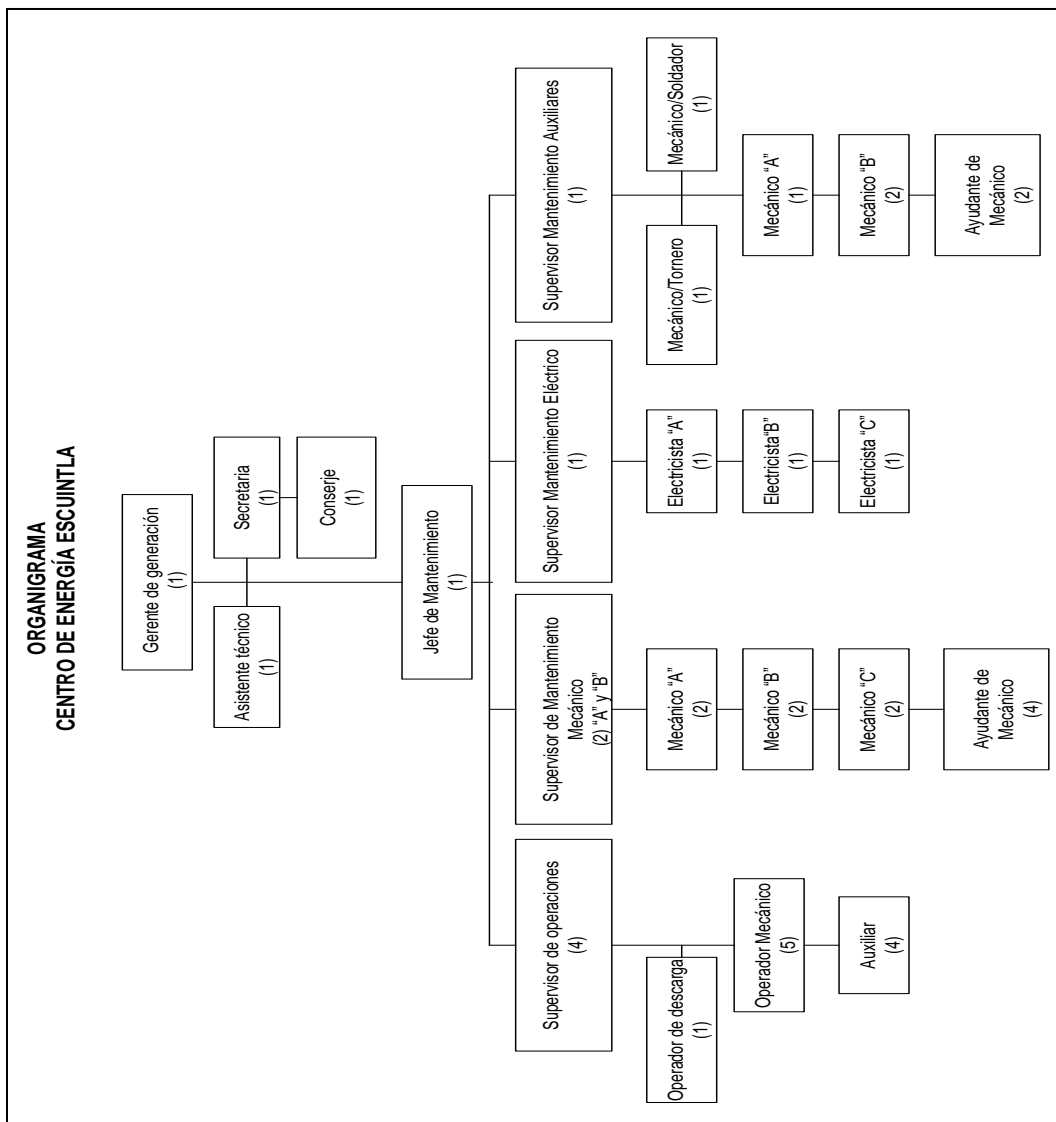
Como desventaja del uso de este tipo de organigrama es que puede producir el efecto de triangulación. Dicho efecto causa que luego de dos niveles, se hace difícil indicar los puestos inferiores, produciendo organigramas muy extensos. Además puede provocar inflexibilidad en la cadena de mando,



teniendo como consecuencia que todas las decisiones recaen en el gerente provocando dificultad en la innovación o adaptación a situaciones externas.

A continuación se presenta, en la figura 2, el organigrama del Centro de Energía Escuintla, donde se puede visualizar el tipo de organización que existe:

Figura 2. Organigrama del Centro de Energía Escuintla (CEE)

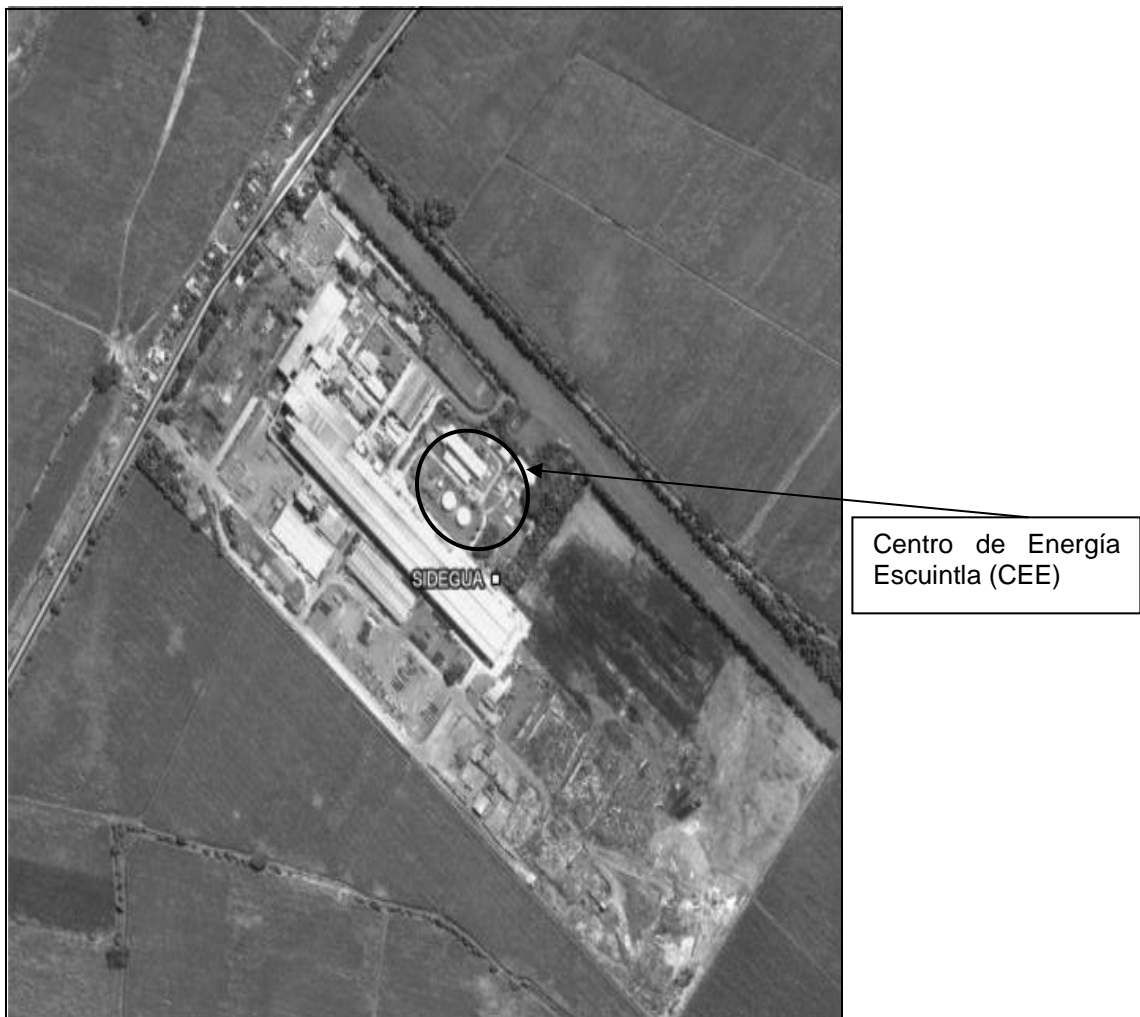


Fuente: Centro de Energía Escuintla, SIDEGUA S.A.

### 1.7. Ubicación del Centro de Energía Escuintla (CEE)

El Centro de Energía Escuintla se encuentra ubicado dentro de las instalaciones del parque industrial SIDEGUA, instalado en el kilómetro 65,5 carretera antigua al puerto de San José, municipio de Masagua, Escuintla.

Figura 3. **Ubicación geográfica de Centro de Energía Escuintla, parque industrial SIDEGUA, S.A.**



Fuente: Googlemaps. 2012 Google imágenes. *DigitalGlobe*. Consulta: 12 de mayo de 2012.

## **1.8. Actividades y servicios prestados por el CEE**

Tiene la función de transformar la energía química contenida en el combustible de tipo residual en energía del tipo mecánica, por medio de diez motores de combustión interna con principios de funcionamiento de ciclo diesel de marca Caterpillar, el movimiento rotatorio de los motores se transforma en energía eléctrica por medio del acople a los generadores que logran transformar el movimiento giratorio en corriente eléctrica siguiendo los principios del electromagnetismo.

Cada grupo electrógeno posee una potencia máxima instalada de 4 megavatios, por lo que la capacidad máxima instalada de la planta es de 40 megavatios. Dicha potencia se encuentra disponible para conectarse a la red nacional de distribución de energía eléctrica.

El CEE energía pertenece al grupo de centrales generadoras del tipo de motores reciprocantes, según clasificación de la Administración del Mercado Mayorista (AMM), entidad encargada de regular la generación de energía eléctrica a nivel nacional.

Debido al proceso de generación y la utilización de combustible residual utilizado en la combustión los costos de operación y mantenimiento son elevados en comparación a otros procesos de generación como las turbinas hidráulicas, turbinas de vapor, geotérmicas y turbinas de gas.

El CEE genera electricidad a un costo promedio de US\$168,58 por cada megavatio-hora generado. Esta es una medida de productividad de la planta tomando en cuenta los costos de operación y mantenimiento. Y con una

potencia disponible de 38,04 megavatio-hora tomando en cuenta el desempeño de cada grupo electrógeno.

Tanto los costos de generación como la disponibilidad de las unidades generadoras son unos de los principales factores que evalúa el AMM, para regular y distribuir la demanda de potencia entre las distintas centrales de generación existentes en el territorio nacional.

### **1.8.1. Descripción técnica del proceso de transformación de energía**

El proceso de transformación de energía química a mecánica y luego a energía eléctrica es el siguiente:

- El combustible residual utilizado para realizar la combustión en los motores Caterpillar 3616 es el búnker tipo C. El mismo se entrega en la estación de descarga de combustible, localizada en el lado norte del área de almacenaje. La estación de descarga está provista de dos líneas equipada con conexiones de mangas flexibles para recibir el combustible de los camiones cisternas y entregar el mismo a la succión de tres bombas de desplazamiento positivo. Cada bomba de descarga de combustible está instalada con conexiones de mangas flexibles en la succión y en la descarga. Cada bomba descarga a través de una válvula de aislación hacia un cabezal común el cual entrega el combustible a los dos tanques de almacenaje localizados en el área de tanques asilados.
- Cada tanque de almacenamiento tiene una capacidad de 15 000 barriles (600 000 galones), pudiendo suministrar cada uno de los tanques combustible durante diez días completos, a los motores funcionando a carga completa.

Cada tanque se encuentra equipado con un calentador de succión de vapor para mantener la viscosidad del combustible en la succión de las bombas de transferencia del mismo. La función de los calentadores es mantener el flujo de aceite a una temperatura de 60 grados Celsius (140 grados Fahrenheit).

- Posteriormente, el combustible fluye por gravedad desde los tanques de almacenamiento hacia un cabezal común que alimenta las dos bombas de desplazamiento positivo montadas en sus propias plataformas. Estas bombas sirven para la transferencia y mezclado de combustible. Cada bomba es impulsada por un motor eléctrico de 15 kilovatios (20 Caballos de fuerza) además, que están clasificadas para abastecer del 110 por ciento de los requisitos de flujo de combustible de la planta a su capacidad completa.
- Durante la operación normal, una bomba se encuentra en operación, mientras la otra se encuentra en espera o recirculando el combustible hacia el tanque de almacenamiento. Las bombas descargan a través de una válvula de flujo en una sola dirección y una válvula de aislación manual hacia un cabezal de descarga común. Desde el cabezal de descarga de las bombas de transferencia y mezclado, el combustible se entrega a los tanques de asentamiento de combustible.
- La función de los tanques de asentamiento de combustible, es la de proveer tiempo de resistencia para el combustible y permitir que el agua y el sedimento se asienten previo a que el combustible pase a ser tratado en la plataforma de la centrífuga. Existen dos tanques de asentamiento de combustible, el primero con una capacidad de 3 000 barriles (120 000 galones) y el segundo con una capacidad de 1 700 barriles (68 000 galones). Dichos tanques se encuentran aislados de la temperatura ambiente, ya que a estos se

les transfiere calor por medio de vapor para mantener la temperatura del combustible a 60 grados Celsius (140 grados Fahrenheit).

Los tanques de asentamiento alimentan el cabezal de succión desde las bombas de adelantamiento a través de un arreglo de succión flotante. Estas bombas son de desplazamiento positivo, cada una impulsada por un motor de 7,5 kilovatios (10 caballos de fuerza) y están clasificadas para entregar un 110 por ciento de los requisitos de flujo de combustible de la planta a su capacidad completa. Durante la operación normal, una sola bomba se encuentra en operación, con la otra en estado de espera.

La descarga se realiza por medio de las bombas de transferencia de los tanques de asentamiento hacia la plataforma de centrífuga de combustible o también llamado módulo de tratamiento, localizado en el edificio de tratamiento de combustible. El combustible se supe a la succión de las tres bombas de suplado de combustible, de desplazamiento positivo, con descarga en un cabezal común.

El cabezal de descarga de las bombas de alimentación de combustible supe a tres centrífugas de combustible, las cuales se utilizan para separar el agua y las partículas foráneas del combustible. El flujo a cada centrífuga es a través de un calentador de vapor asociado, el cual mantiene la temperatura en el nivel adecuado para una separación eficiente. Desde el calentador de vapor el combustible fluye hacia la centrifuga a través de un divisor de tres vías que recircula el combustible hacia el tanque de asentamiento durante el arranque, detenida o condiciones de alarma.

El fango y el agua descargados desde la centrífuga se trasladan hacia un tanque de fango calentado por vapor en la base de la plataforma centrífuga,

cuando el nivel en el tanque aumenta, la bomba de fango, operada por aire, se arranca para bombear el fango hacia el tanque principal del fango.

- Posteriormente, el combustible limpio descargado fluye desde las centrifugas hacia el tanque Diario, localizado en el área de almacenaje. El tanque diario de combustible es un tanque con capacidad de 17 000 barriles (68 000 galones), calentado por vapor para mantener la temperatura del combustible a 60 grados Celsius (140 grados Fahrenheit). El combustible entra al tanque diario desde la centrífuga a través de una válvula de flujo en una sola dirección y una válvula de aislamiento normal.
- El tanque diario de combustible está equipado con un indicador local de nivel con interruptores y un transmisor de nivel. Se anuncia una alarma en el panel de control auxiliar en el edificio de tratamiento de combustible y en el cuarto de controles en el caso que el nivel se encuentre bajo, además se provee una línea de sobre llenado desde el tanque diario hacia el tanque de asentamiento para prevenir el sobre llenado del tanque diario.

El tanque diario de combustible provee succión a las dos bombas de adelantamiento de combustible. Estas bombas son de desplazamiento positivo, cada una impulsada por un motor de 11kilovatios (15 caballos de fuerza) y están clasificadas para entregar 110 por ciento del flujo requerido para operar la planta a su máxima capacidad.

- En una operación normal una bomba funciona mientras que la otra está en estado de espera, cada bomba se instala con conexiones flexibles en la succión y en la descarga. Cada bomba descarga a través de una válvula de flujo unidireccional y una aislación manual hacia un cabezal común de descarga. El cabezal de descarga está provisto con una indicación local de presión de

descarga, un interruptor de presión el cual arranca la bomba que está en espera, si la presión de descarga disminuye por debajo de 3,80 bar (55 libras por pulgada cuadrada). El cabezal de descarga se mantiene a una presión nominal de 5,5 bar (80 libras por pulgada cuadrada) por una válvula de seguridad la cual descarga el exceso de combustible hacia el tanque diario.

La descarga de las bombas de adelantamiento del tanque diario fluye hacia los cinco módulos de acondicionamiento de combustible (módulos de aumento del combustible o *boosters modules*) localizados en el edificio de Tratamiento de combustible.

Los módulos de acondicionamiento están diseñados para suplir el combustible hacia los motores a la viscosidad y presión necesaria. Cada uno de los módulos provee el flujo requerido para dos motores de combustión interna. El flujo para cada uno de los cinco módulos es idéntico. El flujo se dirige hacia la succión de dos bombas de suprido, una de ellas en servicio y otra en espera. La entrega del cabezal de descarga está equipada con indicadores locales de presión y temperatura, tanto como un interruptor de presión el cual arranca la bomba en espera en caso de pérdida de presión. La presión normal del cabezal de descarga se mantiene por una válvula de seguridad la cual dirige el exceso de combustible hacia la succión de la bomba.

En los módulos de acondicionamiento de combustible circula continuamente más combustible hacia los motores que lo necesario para la operación de los mismos, el exceso se recircula desde los motores hacia el desaerador del módulo de acondicionamiento, donde cualquier aire o vapor de combustible es removido.



Esto asegura que exista un flujo adecuado de combustible en todo momento para todas las cargas y además provee enfriamiento. Este sistema está diseñado con un factor de circulación de 4;1 es decir que, el flujo de combustible hacia los motores es aproximadamente 4 veces la capacidad requerida.

La descarga de las bombas en circulación pasa a través de uno de los calentadores de 100 por ciento de capacidad, los cuales controlan la viscosidad del combustible que se entrega a los motores, basándose en la retroalimentación de un transductor de viscosidad y un elemento de temperatura.

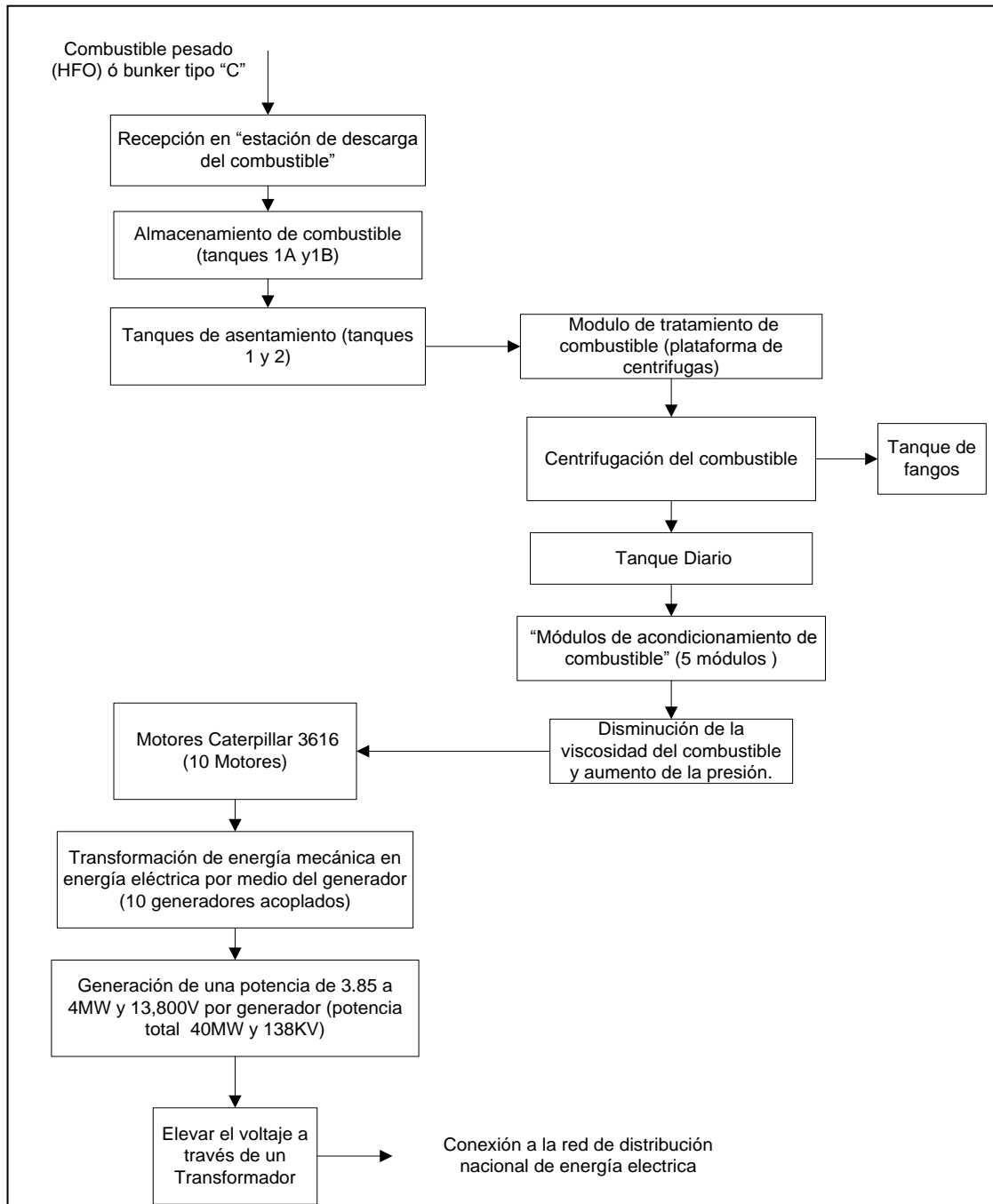
Desde los calentadores de vapor, el combustible fluye a través de un filtro de señal y luego hacia los motores. Cada filtro alimenta de combustible a dos motores.

Posteriormente, el combustible es inyectado a cada uno de los cilindros del motor de combustión interna a través de los inyectores, en donde el combustible es encendido por medio de la elevada temperatura que produce la compresión de aire en la cámara de combustión ubicada en el interior del cilindro. La combustión causa que el gas contenido en la cámara de combustión se expanda, impulsado cada uno de los pistones hacia abajo y transmitir por medio de las bielas el movimiento al cigüeñal, al que hace rotar, transformando el movimiento rectilíneo alternativo del pistón en un movimiento de rotación.

El movimiento de rotación es trasladado hacia el generador cuya función es convertir la energía mecánica de los motores de combustión interna en energía eléctrica a través de principios de electromagnetismo.

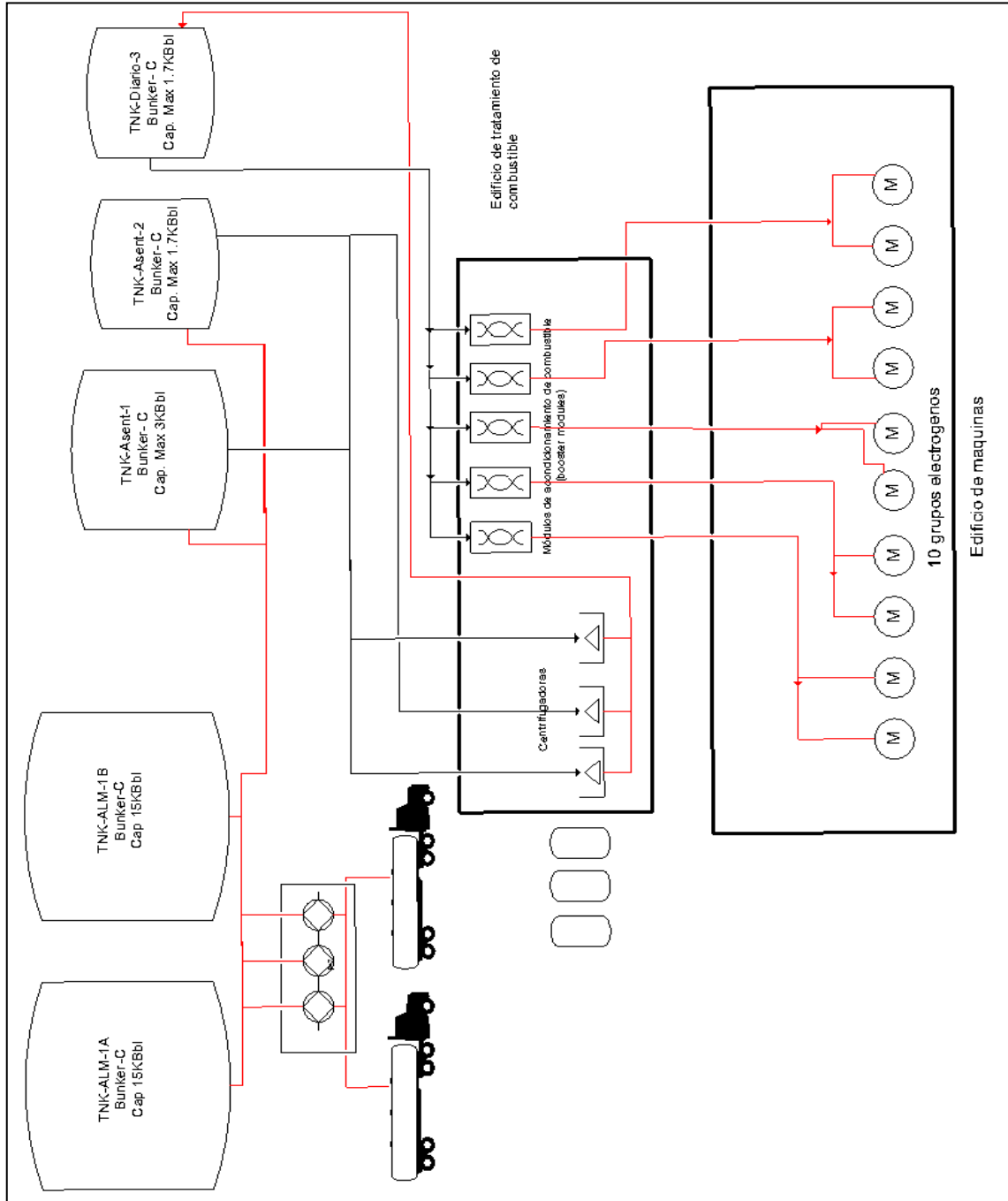
Existe un total de diez motores de combustión interna con principio de funcionamiento diesel, pero en este caso se utiliza combustible pesado (bunker tipo C). Cada motor es de la marca Caterpillar de la serie 3 600 de dieciséis cilindros en V, operados a una velocidad de 900 revoluciones por minuto para generar una potencia aproximada de 3,85 a 4 megavatios a través del generador de tipo Kato de 900 revoluciones por minuto, de ocho polos con capacidad de generar hasta 4 megavatios con un factor de potencia de 0,8 y producir energía eléctrica de tres fases, 60 ciclos a un voltaje nominal de 13 800 voltios. Los diez grupos electrógenos tienen la capacidad de proveer una carga total de 40 megavatios. Luego esta energía es trasladada a un transformador donde se aumenta el voltaje para poder conectarse al sistema de distribución de nacional. (Ver figuras 4 y 5)

Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de transformación de energía



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Diagrama esquemático del proceso de transformación de energía



Fuente: elaboración propia.

## **1.9. Descripción del Departamento de Mantenimiento Mecánico**

El departamento de mantenimiento mecánico del CEE, es el encargado de ejecutar toda la serie de trabajos relacionados en lo correspondiente con la parte mecánica de los motores Caterpillar de la serie 3616, con el fin de conservar su funcionamiento y que estos brinden el servicio para lo cual fueron diseñados con la mayor eficiencia posible. Del departamento de mantenimiento mecánico depende en gran medida mantener el buen funcionamiento de las unidades generadoras de la planta y de esta forma estar siempre disponibles para el mercado de oportunidad.

Entre las principales actividades del departamento se encuentran: mantenimiento preventivo de los motores, reacondicionamiento de dispositivos mecánicos propias de los motores como; bombas de aceite, bombas de agua, cabezas de cilindro, inyectores, compuertas de seguridad, actuadores de inyección de combustible, etc., mantenimiento correctivo y mantenimiento predictivo.

Mantenimiento de la planta de emergencia (*black star*) que provee energía eléctrica a toda la central en caso de apagón y de la planta contra incendios.

De igual forma se realizan actividades de mantenimiento a los equipos auxiliares de mantenimiento, principalmente los puentes grúa y el montacargas de la planta.

## **2. OPTIMIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO MECÁNICO**

### **2.1. Diagnóstico de la situación actual**

Para realizar el diagnóstico de la situación actual de la central térmica y determinar el nivel de productividad y oportunidad que se tiene en el mercado de electrificación a nivel nacional, es importante analizar el entorno interno, de tal forma que se puedan identificar los focos claves de mejora en las operaciones.

Para esto es importante realizar diversos estudios de ingeniería que permitan identificar los problemas de mayor trascendencia, que en la actualidad son obstáculos para lograr la mayor eficiencia de la planta a nivel general.

#### **2.1.1. Análisis FODA**

El análisis FODA es una estrategia competitiva que se realiza para poder ubicar la situación actual de una empresa en determinado mercado y de esta forma poder conquistarlo a base de optimización de dos dimensiones; productividad y posicionamiento. Donde la productividad es un índice para la medición de la utilización de los recursos y el posicionamiento es un indicador de la fuerza que tiene determinado servicio en el mercado, que en este caso es la generación de energía eléctrica.

Por lo tanto, el análisis FODA se realiza para analizar la viabilidad actual y futura de determinada estrategia competitiva que se desee implementar, realizando un estudio de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas existentes en el CEE.

#### **2.1.1.1. Metodología utilizada**

Para realizar un buen diagnóstico se utilizó el método de encuesta estructurada, dirigida al Departamento de Administración, especialmente gerencia general del CEE, que es el ente que conoce a detalle cada uno de los factores que afecta a la planta tanto de manera interna como externa.

Para la estructuración de la encuesta se utilizaron dos formas de recopilar información, la primera de ellas a través de la ponderación de diferentes rubros que afectan el ámbito interno y externo de la planta, la segunda por medio de preguntas directas que se colocaron como filtro para confirmar la información (ver figura 6).

#### **2.1.1.2. Resultados del estudio**

Los resultados de la encuesta se muestran por medio de la ponderación en las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que posee la planta ( ver figura 7), dicha ponderación se aprecia gráficamente a través de un plano cartesiano que muestra una flecha indicando el vector estratégico hacia la situación óptima que se desea tener partiendo de la situación actual del CEE. Dicho gráfico muestra el promedio de los factores para el eje debilidades-fortalezas (eje vertical) y amenazas-oportunidades (eje horizontal). Ver figura 8

Figura 6. Formato de encuesta para realización del análisis FODA

<b>ENCUESTA SITUACIÓN ACTUAL CEE</b>																				
<b>ANÁLISIS FODA</b>																				
Nombre de entrevistado: _____			Fecha: _____																	
Depto _____			Puesto _____																	
<b>ANÁLISIS INTERNO</b>																				
<b>Fortalezas y debilidades</b>																				
A continuación se muestran diferentes factores que son necesarios para evaluar sobre la situación actual de la planta de manera interna. Se coloca un peso para cada uno de los factores que va de -10 a 10 (positivo si usted cree que es una fortaleza y negativo si usted cree es una debilidad, coloque una X en la ponderación que usted considere pertinente)																				
<b>FACTORES INTERNOS</b>																				
<b>PERSONAS Y HABILIDADES</b>																				
Personal Experimentado																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Compromiso del personal																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
relación con los proveedores																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cantidad de personal asienado																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>RECURSOS</b>																				
Alianzas de negocios																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Equipamiento																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tecnologías																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ubicación geográfica																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>FACTORES EXTERNOS</b>																				
<b>Oportunidades y amenazas</b>																				
A continuación se muestran diferentes factores que son necesarios para evaluar sobre la situación actual de la planta de manera externa. Se coloca un peso para cada uno de los factores que va de -10 a 10 (positivo si usted cree que es una fortaleza y negativo si usted cree es una debilidad, coloque una X en la ponderación que usted considere pertinente)																				
<b>Costos</b>																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Estado financiero</b>																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Infraestructura</b>																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PRODUCTIVIDAD</b>																				
Utilización del tiempo																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Se es productivo																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Calidad del servicio																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Organización																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Innovación																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Manejo de la información																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Estabilidad de resultados																				
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



Continuación de la figura 6.

Amenaza	FACTORES EXTERNOS	Oportunidad	ANÁLISIS INTERNO Fortalezas y debilidades
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Clima		Responda las siguientes preguntas según su criterio
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Incidencias sobre la naturaleza		1. ¿Qué ventajas tiene el CEE ?
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Impuestos		2. ¿Qué hace el CEE mejor que cualquier otra ?
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Mercado interno		3. ¿ A qué recursos de bajo costo o de manera unica se tiene acceso?
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Mercado internacional		4. ¿ Existe resistencia al cambio?
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	tecnología y la competencia		4. ¿ Qué se puede mejorar?
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Competencia		5. ¿Qué se debería evitar?
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Monopolio en la provision de materia		6. ¿ Qué percibe el mercado como una debilidad?
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Poder de negociación del proveedor		7. ¿ Qué factores reducen el éxito del proyecto?
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Barreras de entrada al mercado		
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Poder de negociación del intermediario		
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Poder de negociación del consumidor final		
-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Envergadura y tasa de crecimiento		

Continuación de la figura 6.

<p><b>ANÁLISIS EXTERNO</b> Oportunidades y Amenazas</p> <p>1. ¿A qué buenas oportunidades se enfrenta el CEE?</p> <p>2. ¿ De qué tendencias del mercado se tiene información?</p> <p>3. ¿ Existe alguna coyuntura en la economía del país?</p> <p>4. ¿ Qué cambios de tecnología se están presentando en el mercado?</p> <p>5. ¿Qué cambios en la normalidad legal y / o política se están presentando?</p> <p>6. ¿A qué obstáculos se enfrenta la empresa?</p> <p>7. ¿Qué están haciendo los competidores?</p> <p>8. ¿ Puede alguna de las amenazas impedir totalmente la actividad de la empresa?</p>
---

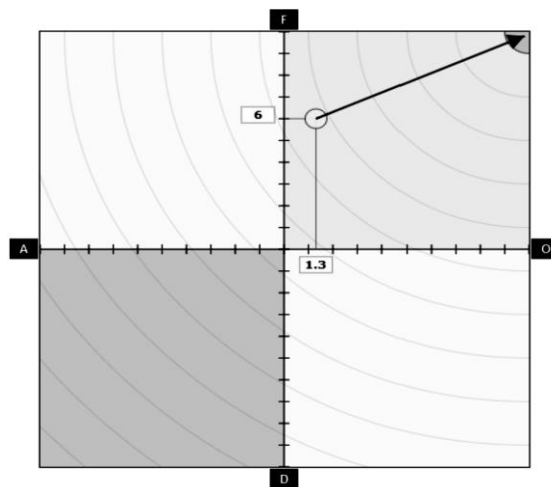
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Resultados de encuesta sobre situación actual

<b>Fortalezas</b>	Peso	<b>Debilidades</b>	Peso
Estado financiero	8	Cantidad de personal asignado	5
Personal experimentado	8		
Relación con los proveedores	8		
Calidad del servicio	8		
Se es productivo	8		
Utilización del tiempo	9		
Ubicación geográfica	10		
Compromiso del personal	10		
Innovación	6		
Manejo de la información	6		
Estabilidad de resultados	6		
Costos	5		
Infraestructura	5		
Tecnología	5		
Alianzas de negocios	5		
organización	4		
Equipamiento	2		
<b>Total</b>	<b>113</b>	<b>Total</b>	<b>5</b>
<b>Oportunidades</b>	Peso	<b>Amenazas</b>	Peso
Mercado internacional	10	Competencia	10
Clima	9	Poder de negociación del intermediario	6
Envergadura y tasa de crecimiento	9	Impuestos	5
Mercado interno	8	Monopolio en la provisión de materia prima	5
Poder de negociación del consumidor final	8	Poder de negociación del proveedor	5
Barreras de entrada al mercado	5	Incidencias sobre la naturaleza	4
Tecnología y competencia	3		
<b>Total</b>	<b>52</b>	<b>Total</b>	<b>35</b>

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Descripción gráfica del FODA



Fuente: elaboración propia.

### 2.1.1.3. Establecimiento del FODA

Luego de realizar el estudio con la metodología antes descrita se han identificado las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la planta las cuales se presentan a continuación:

#### a. Fortalezas

- F<sub>1</sub>** Formar parte de la corporación Aceros de Guatemala, comprometida a garantizar la seguridad ocupacional de sus colaboradores.
- F<sub>2</sub>** El Centro de energía Escuintla cuenta con la capacidad de generar energía eléctrica para el resto de plantas ubicadas dentro del parque industrial SIDEGUA y contribuir al ahorro de costos por cuestión energética de las mismas.
- F<sub>3</sub>** El Centro de Energía Escuintla cuenta con personal altamente calificado y comprometido para la operación y mantenimiento de los equipos, necesarios para cumplir con la demanda del servicio que se ofrece.
- F<sub>4</sub>** Cuenta con buenas relaciones con los proveedores de insumos necesarios para el funcionamiento de la planta.
- F<sub>5</sub>** Cuenta con ubicación geográfica estratégica, ya que permite una mejor utilización del recurso hidráulico y fácil interconexión a la red nacional de suministro de energía eléctrica. Además de encontrarse a una distancia favorable de la portuaria Quetzal, lugar por donde ingresa el combustible fósil necesario para el funcionamiento de los motores y otros equipos que funcionan dentro de la planta.
- F<sub>6</sub>** La administración del Centro de Energía Escuintla realiza lo todo lo que se encuentra a su alcance para mejorar los resultados con respecto a las metas de generación trazadas.

- F7** Cuenta con un estado financiero ajustado pero solvente capaz de cubrir las necesidades de mantenimiento que puedan surgir.
- F8** Disposición por parte de gerencia para realizar los cambios necesarios para lograr mejorar la eficiencia en las operaciones.

b. Oportunidades

- O1** En el último año, Guatemala ha firmado tratados de comercialización de energía eléctrica con México y Centro América, lo que amplía el mercado para los ofertantes nacionales.
- O2** La Administración del Mercado Mayorista (AMM) da la oportunidad de mejorar la potencia real ofertada, a través de pruebas de potencia programadas.
- O3** Los contratos de generación otorgados por el AMM, varían dependiendo del tipo de tecnología utilizada y de la disponibilidad de las plantas de entrar a generar en el momento que se le requiera.
- O4** Las centrales térmicas a base de combustible fósil se catalogan como plantas de emergencia, por lo que su utilización en el país aún es de suma importancia.
- O5** El clima de la región no afecta la capacidad de generación del Centro de Energía Escuintla en relación con las hidroeléctricas que dependen del caudal de los ríos.
- O6** Se encuentran distintos tipos de tecnologías en el mercado para mejorar la capacidad de generación de energía eléctrica.

c. Debilidades

- D1** Existe una alta rotación de personal dentro de la central de generación, por lo que eleva los costos de la empresa en relación al reclutamiento, selección y capacitación de personal.

- D<sub>2</sub>** Existencia de maquinaria y equipo con más de quince años de operación lo que conlleva a altas frecuencias de mantenimiento preventivo y correctivo.
- D<sub>3</sub>** El *core business* de la corporación no se enfoca en la generación de energía eléctrica, por lo que se afecta la disponibilidad de los recursos de la planta.
- D<sub>4</sub>** La cantidad de personal asignado al Centro de Energía Escuintla se encuentra muy limitada, por lo que las tareas se acumulan en menos personal y las operaciones se vuelven más lentas.
- D<sub>5</sub>** La tecnología utilizada para la generación de energía eléctrica se vuelve cada vez más obsoleta, debido a que se utiliza combustible fósil como materia prima en el proceso de transformación de energía.

d. Amenazas

- A<sub>1</sub>** Las empresas que se dedican a la generación de energía eléctrica están utilizando otro tipo de tecnología más amigable con la naturaleza, tales como: hidroeléctricas, plantas eólicas, plantas solares, biomasa, entre otras.
- A<sub>2</sub>** Fluctuación del precio del barril del petróleo tanto a nivel nacional como internacional.
- A<sub>3</sub>** La competencia se encuentra invirtiendo en tecnologías que aprovechan los recursos renovables, lo que tiene como consecuencia un menor costo por megavatio-hora producido.
- A<sub>4</sub>** La existencia de cierto tipo de monopolio en la provisión de materia prima, que en este caso es el búnker tipo C.
- A<sub>5</sub>** La comercialización de la energía eléctrica depende del Administrador del Mercado Mayorista, entidad que rige leyes y normas que pueden o no afectar el funcionamiento de la planta.

Tabla I. Matriz FODA de estrategias

<p style="text-align: center;"><b>MATRIZ FODA</b></p>	<p><b>Fortalezas:</b></p> <p>F1 Formar parte de la corporación Aceros de Guatemala, comprometida a garantizar la seguridad ocupacional de sus colaboradores.</p> <p>F2 El Centro de energía Escuintla cuenta con la capacidad de generar energía eléctrica para el resto de plantas ubicadas dentro del parque industrial SIDEGUA y contribuir al ahorro de costos por cuestión energética de las mismas.</p> <p>F3 El Centro de Energía Escuintla cuenta con personal altamente calificado y comprometido para la operación y mantenimiento de los equipos, necesarios para cumplir con la demanda del servicio que se ofrece.</p> <p>F4 Se cuenta con buenas relaciones con los proveedores de insumos necesarios para el funcionamiento de la planta.</p> <p>F5 Se cuenta con ubicación geográfica estratégica, ya que permite una mejor utilización del recurso hidráulico y fácil interconexión a la red nacional de suministro de energía eléctrica. Además de encontrarse a una distancia favorable de la portuaria Quetzal, lugar por donde ingresa el combustible fósil necesario para el funcionamiento de los motores y otros equipos que funcionan dentro de la planta.</p> <p>F6 La administración del Centro de Energía Escuintla realiza lo todo lo que se encuentra a su alcance para mejorar los resultados con respecto a las metas de generación trazadas.</p> <p>F7 Se cuenta con un estado financiero ajustado pero solvente capaz de cubrir las necesidades de mantenimiento que puedan surgir.</p> <p>F8 Disposición por parte de gerencia para realizar los cambios necesarios para lograr mejorar la eficiencia en las operaciones.</p>	<p><b>Debilidades:</b></p> <p>D1 Existe una alta rotación de personal dentro de la central de generación, por lo que eleva los costos de la empresa en relación al reclutamiento, selección y capacitación de personal.</p> <p>D2 Existencia de maquinaria y equipo con más de quince años de operación lo que conlleva a altas frecuencias de mantenimiento preventivo y correctivo.</p> <p>D3 El core business de la corporación no se enfoca en la generación de energía eléctrica, por lo que se afecta la disponibilidad de los recursos de la planta.</p> <p>D4 La cantidad de personal asignado al Centro de Energía Escuintla se encuentra muy limitada, por lo que las tareas se acumulan en menos personal y las operaciones se vuelven más lentas.</p> <p>D5 La tecnología utilizada para la generación de energía eléctrica se vuelve cada vez más obsoleta, debido a que se utiliza combustible fósil como materia prima en el proceso de transformación de energía.</p>
<p><b>Oportunidades:</b></p> <p>O1 En el último año Guatemala ha firmado tratados de comercialización de energía eléctrica con México y Centro América, lo que amplía el mercado para los ofertantes nacionales.</p> <p>O2 La Administración del Mercado Mayorista (AMM) da la oportunidad de mejorar la potencia real ofertada, a través de pruebas de potencia programadas.</p> <p>O3 Los contratos de generación otorgados por el AMM, varían dependiendo del tipo de tecnología utilizada y de la disponibilidad de las plantas de entrar a generar en el momento que se le requiera.</p> <p>O4 Las centrales térmicas a base de combustible fósil se catalogan en el país aun es de suma importancia.</p> <p>O5 El clima de la región no afecta la capacidad de generación del Centro de Energía Escuintla en relación con las hidroeléctricas que dependen del caudal de los ríos.</p> <p>O6 Se encuentran distintos tipos de tecnologías en el mercado para mejorar la capacidad de generación de energía eléctrica.</p>	<p>F3,O1 Contar con personal calificado, comprometido y capaz para mejorar la eficiencia de la planta y así poder competir en la venta del servicio a nivel de México y Centro América.</p> <p>F4, O1 Aprovechar las relaciones que se tiene con los proveedores de insumos para mejorar la logística de los mismos y así mantener o reducir los costos de operación y ser candidatos para la venta del servicio a nivel de Centro América</p> <p>F4, O1 Realizar los ajustes necesarios por parte de gerencia para mantener el buen estado de operación y disponibilidad de la planta y así ser competitivos para la venta del servicio a nivel de Centro América y México.</p> <p>F3,O2 Aprovechar el personal calificado y comprometido para mantener los equipos en óptimo funcionamiento y así lograr el desempeño esperado de los mismos en la prueba de potencia máxima.</p> <p>F6,O2 Realizar todos los preparativos por parte de la administración para obtener resultados satisfactorios en la prueba de potencia máxima y así mejorar la capacidad de venta del servicio en KWh.</p> <p>F3,O3 El Centro de Energía Escuintla cuenta con la capacidad de sincronizarse a la red nacional de energía eléctrica en tiempo record debido al personal altamente calificado y comprometido para la operación y control de las unidades generadoras.</p> <p>F6,O3 Realizar negociaciones con la AMM por parte de la administración para mejorar el tipo de contratos y así ser más competitivos en el mercado.</p>	<p>D1,O1 Motivar al personal a seguir en la corporación y comprometerse a mejorar el posicionamiento en el mercado energético regional.</p> <p>D5,O1 Realizar negociaciones importantes para mejorar el posicionamiento de la planta en el mercado, tomando en cuenta los costos por materia prima y el tipo de tecnología utilizada.</p> <p>D2,O2 Mejorar la capacidad de los equipos para poder alcanzar los resultados esperados en la pruebas de potencia máxima y así continuar vigentes en el mercado</p> <p>D3,O2 Alcanzar buenos resultados en las pruebas de potencia máxima para incrementar el interés del mercado de generación por parte de los socios de la corporación y así conseguir más recursos para el funcionamiento de la planta.</p> <p>D2,O3 Mejorar el mantenimiento en los equipos y la reducción de fallas conlleva a una mejor disponibilidad en el mercado siempre y cuando los contratos sean mejorados por parte de la AMM.</p> <p>D3,O3 Demostrar la rentabilidad que produce la planta para que la corporación realice las negociaciones necesarias para ser participantes con mejores oportunidades en el mercado energético regional.</p> <p>D5,O5 Aprovechar el clima de la región debido a que la tecnología instalada no influye de manera muy pronunciada en la eficiencia de la planta.</p>
<p><b>Amenazas:</b></p> <p>A1 Las empresas que se dedican a la generación de energía eléctrica están utilizando otro tipo de tecnología más amigable con la naturaleza, tales como: hidroeléctricas, plantas eólicas, plantas solares, biomasa, entre otras.</p> <p>A2 Fluctuación del precio del barril del petróleo tanto a nivel nacional como internacional.</p> <p>A3 La competencia se encuentra invirtiendo en tecnologías que aprovechan los recursos renovables, lo que tiene como consecuencia un menor costo de operación y un mejor posicionamiento en relación a costos por MWh producido.</p> <p>A4 La existencia de cierto tipo de monopolio en la provisión de materia prima, que en este caso es el bunker tipo "C".</p> <p>A5 La comercialización de la energía eléctrica depende del Administrador del Mercado Mayorista, entidad que rige leyes y normas que pueden o no afectar el funcionamiento de la planta.</p>	<p>F4,A1 Aprovechar las buenas relaciones con los proveedores de insumos para mejorar los costos de operación y así mejorar la competitividad en el mercado.</p> <p>F4,A2 Fortalecer las relaciones con los proveedores de combustible para realizar contratos más flexibles de tal forma que las fluctuaciones de precios impacten de forma más controlada en los costos de operación.</p> <p>F6,A2 Negociar la reducción del costo de combustible con los proveedores de los mismos, no por unidad si no por volumen para que los mismos accedan.</p> <p>F6,A3 Mejorar la eficiencia de la planta en cuanto a costos para tener un posicionamiento más competitivo.</p> <p>F4,A4 Buscar proveedores de combustible que brinden mejores beneficios en relación a precios y calidad.</p> <p>F6,A5 Negociar contratos con el AMM que incrementen la operatividad de la planta</p>	<p>D2,A1 Mantener programas efectivos de mantenimiento para los diferentes equipos para que la planta permanezca siempre disponible en el mercado de oportunidad.</p> <p>D2,A2 Mejorar la eficiencia de los equipos, de tal forma que la utilización de los recursos que consumen mayor capital como lo es combustible se reduzca y así obtener mayor margen de utilidad</p> <p>D3,A2 Fortalecer el apoyo a nivel corporativo para realizar los estudios necesarios para mejorar el suministro de combustible a precios más bajos y con la calidad adecuada.</p> <p>D5,A2 Analizar la tecnología de generación eléctrica actualmente utilizada y considerar el cambio a tecnología más amigable al medio ambiente y así entrar a competir fuertemente en el mercado de generación.</p> <p>D3,A5 Fortalecer la comercialización de la energía eléctrica por parte de la corporación, inyectando más capital y negociando con la AMM contratos que den mayor beneficio a la planta.</p>

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.2. Diagramas Causa y Efecto**

Es una herramienta eficaz y muy utilizada en acciones de mejoramiento y control de calidad en las organizaciones, esta permite de una forma sencilla agrupar y visualizar las razones que han de estar en el origen de cualquier problema que se desee mejorar.

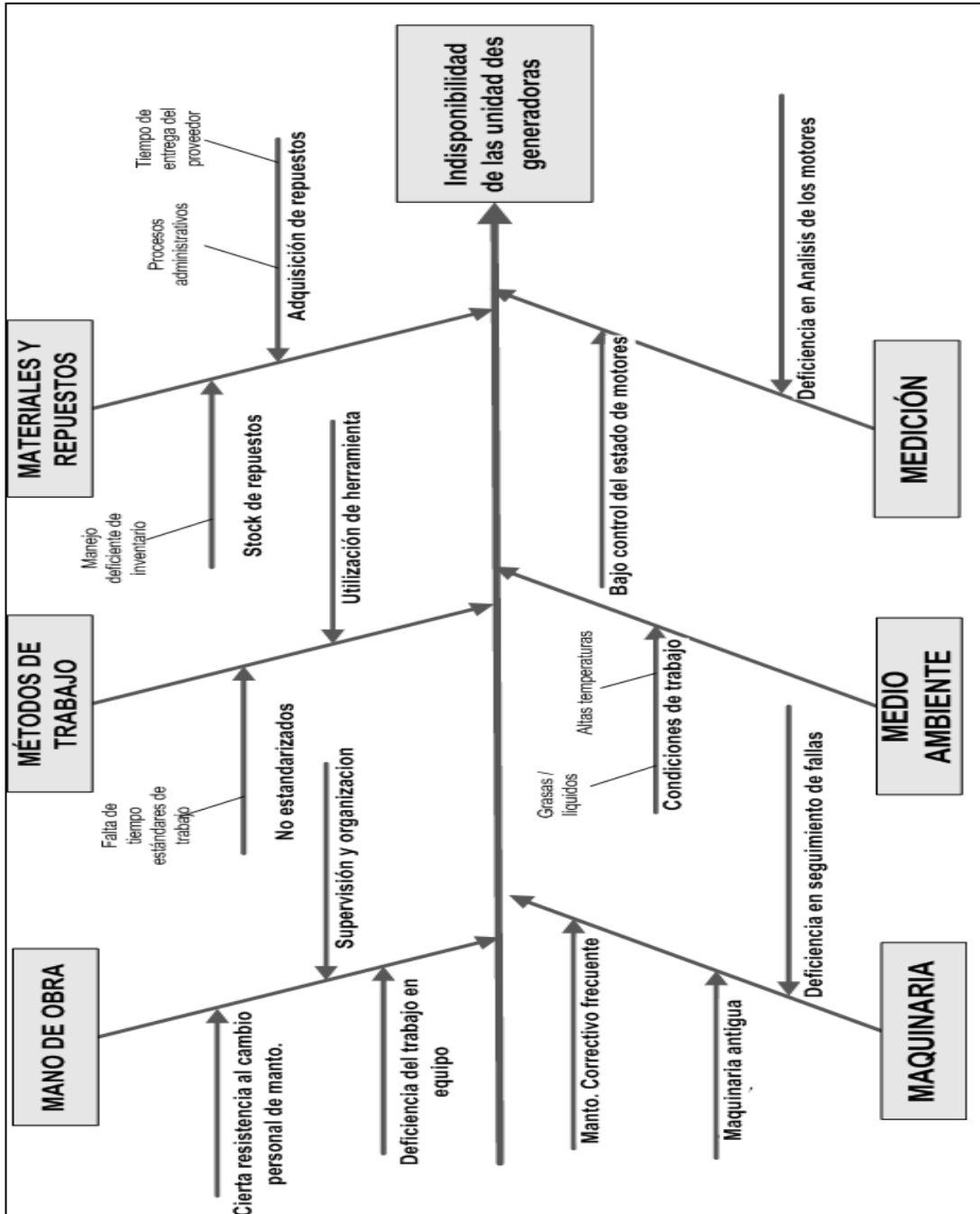
Existe una serie de problemas que traen como consecuencia la indisponibilidad de las unidades generadoras o grupos electrógenos encargados de brindar energía eléctrica a la red de distribución nacional. Para el cual se elabora el Diagrama Causa y Efecto utilizando el método 6M, el cual consiste en agrupar las causas potenciales en seis elementos principales que son: mano de obra, métodos de trabajo, materiales y repuestos, maquinaria, medio ambiente y medición.

Una vez identificadas las causas potenciales es necesario enfocar los esfuerzos de mejora hacia cada uno de los elementos. Sin embargo, por fines de viabilidad y desarrollo se enfocan los esfuerzos, principalmente en los métodos de trabajo, mano de obra, materiales y repuestos.

A continuación se muestra el Diagrama Causa y Efecto que fue desarrollado recopilando información en la fuente mediante observaciones en las actividades diarias y entrevistas no estructuradas con personal de la planta. (ver figura 9).



Figura 9. Diagrama Causa-Efecto, indisponibilidad de las unidades generadoras del Centro de Energía Escuintla



Fuente: elaboración propia

### **2.1.3. Determinación del problema**

A través de observación visual, mediciones y entrevistas no estructuradas con el personal tanto técnico como administrativo de la planta, se logra enfocar las principales causas que impiden aumentar la eficiencia en las operaciones de mantenimiento en los motores, por lo que se logra definir, delimitar y limitar el problema con el objetivo de realizar acciones concretas para la solución del mismo.

#### **2.1.3.1. Definición del problema**

La demora en las operaciones de mantenimiento de los motores Caterpillar 3616 es el principal problema a tratar para evitar la indisponibilidad de cada una de las unidades generadoras que prestan el servicio a la red de distribución nacional.

El Centro de Energía Escuintla (CEE) cuenta con diez motores de combustión interna por lo que las operaciones de mantenimiento deben de ser efectuadas de manera que se cumplan las especificaciones del fabricante en lo referente al tipo de mantenimiento y los intervalos de mantenimiento que requiere cada unidad motora.

En la actualidad, los motores presentan diferentes fallas que se dan por causas como: unidades con más de quince años de servicio, repuestos reacondicionados varias veces y que pueden presentar cierta fatiga debido a su uso repetitivo.

Además, existen demoras en los mantenimientos debido a causas como; falta de coordinación con los diferentes grupos de trabajo encargados del

mantenimiento, bajo *stock* de algún tipo de repuesto, respuesta lenta del proveedor de repuestos en algunos casos. Adicional a las condiciones de mantenimiento podemos agregar la necesidad de la calidad del combustible y de lubricación.

Este estudio permite proponer mejoras que puedan dar beneficios relacionados con la calidad del mantenimiento en los motores, el flujo de trabajo de las operaciones y el establecimiento de estándares de trabajo.

Se proponen mejoras en las actividades a través de la realización de un estudio de métodos y tiempo con la finalidad de determinar los tiempos reales de las operaciones de mantenimiento de los motores, mediante una metodología técnica y completa para analizar y establecer herramientas de toma de decisiones; todo ello con el fin de obtener el máximo rendimiento de los equipos y evaluar entre varias la mejor alternativa para mejorar los costos operacionales, la calidad, efectividad y eficiencia del personal, materiales, equipo y herramienta.

Dicho estudio permite mejorar las actividades así reducir los costos involucrados directa o indirectamente, todo con el fin de garantizar la productividad y rentabilidad de la empresa.

#### **2.1.3.2. Delimitación**

El programa de Ejercicio Profesional Supervisado permite aplicar medidas y/o herramientas que posibilitan una constante evaluación de las actividades, estableciendo bases cuantitativas y cualitativas para su respectivo análisis. Como también, detectar las fallas existentes y en virtud de estas proponer

alternativas que ayuden a mejorar y con ello optimizar las operaciones de mantenimiento.

Dicho estudio se enfoca principalmente en todas las operaciones de mantenimiento preventivo, manejo y programación de recursos.

### 2.1.3.3. Límites

Fue necesario recaudar información correcta y precisa para poder realizar el estudio, siendo un poco dificultosa la búsqueda de esta. Por otro lado, el personal que labora en el área de mantenimiento y de la planta en general cuenta con muy poco tiempo disponible, ya que se encuentran realizando labores de mantenimiento rutinario.

## 2.2. Características generales, especificaciones técnicas de los motores Caterpillar 3616

Los diez motores de combustión interna instalados en el CEE son de la marca Caterpillar de la serie 3600 de dieciséis cilindros ubicados en V vistos desde la parte trasera, es por ello que toman el nombre de 3616. Las especificaciones de los motores se presentan en la tabla II.

Tabla II. **Especificaciones de los motores Caterpillar 3616**

<b>Especificaciones de los motores de la serie 3616</b>	
<b>Artículo</b>	<b>Especificación</b>
Velocidad de operación (rpm)	700 a 1 000
Velocidad de baja en vacío (rpm)	300 a 400
Cilindro y configuración	16 en V a 50°
Diámetro del cilindro	280 mm (11 pulg)
Carrera	300 mm (11,80 pulg)

Continuación de la tabla II.

Desplazamiento volumétrico por cilindro	18,7 L (1 127 pulg <sup>3</sup> )
Desplazamiento volumétrico total	296 L (18,03 pulg <sup>3</sup> )
Relación de compresión	13:01
Velocidad media del pistón (900 rpm)	9 m/s(1 772 pie/minuto)
Velocidad media del pistón (1000 rpm)	10 m/s(1 969 pie/minuto)
Aspiración	Turbo compresión y postenfriamiento
Rotación	La rotación estándar es hacia la izquierda.
Entrega de combustible	Inyectores Unitarios
Combustible	Búnker y diesel
Método de arranque	Motores de arranque neumático
Sistema de enfriamiento	2 bombas accionadas por engranes
Presión máxima permisible del escape	254 mm (10 pulg de agua)
Restricción máxima permisible del aire de admisión	3,70 Kpa (15 pulg de agua )
Juego de válvulas de admisión	1,0 mm (0,039 pulg)
Juego de válvulas de escape	0,060 mm (0,024 pulg)
Peso total con accesorios	31 615 kg (69 700 lb )

Fuente: Caterpillar, Manual de operación y mantenimiento SSBU6966-03.p.25.

En la tabla III, se observa el peso de los diferentes componentes del motor.

Tabla III. **Pesos de referencia para motores Caterpillar 3616**

<b>Pesos de referencia para motores Caterpillar 3616</b>	
<b>Artículo</b>	<b>Especificación</b>
Bloque del motor	8 630 kg (18 986 lb)
Tapa de cojinete	65 kg (144 lb )
Cigüeñal	2 602 kg (5 724 lb)
Conjunto de volante	492 kg (1 084 lb)

Continuación de la tabla III.

Amortiguador de vibraciones del cigüeñal	486 kg (1 071 lb)
Conjunto de culata	196 kg (433 lb)
Camisa de cilindro	100 kg (221 lb)
Conjunto de pistón	36 kg (77 lb)
Pasador de biela	19 kg (42 lb)
Conjunto de biela de pistón	57 kg (125 lb)
Turbocompresor	401 kg (883 lb)
Post enfriador	104 kg (229 lb)
Inyector unitario	12 kg (27 lb)
Caja delantera	258 kg (568 lb)
Caja trasera	456 kg (1003 lb)
Elemento usado de filtro de aire	29 kg (64 lb)
Peso en seco del motor con accesorios	29950 kg (65 900 lb)

Fuente: Caterpillar, Manual de operación y mantenimiento SSBU6966-03.p.29.

Figura 10. **Motores Caterpillar 3616 instalados en CEE**



Fuente: cuarto de máquinas, Centro de Energía Escuintla, SIDEGUA, S.A.

### **2.3. Generalidades del área de estudio**

El estudio para lograr optimizar y estandarizar las operaciones de mantenimiento mecánico de los motores Caterpillar 3616 se llevó a cabo dentro del taller y cuarto de máquinas ubicados dentro de las instalaciones del Centro de Energía Escuintla.

Dentro de los recursos esenciales para obtener un mantenimiento eficiente se encuentran; la fuerza de trabajo, el tiempo de ejecución de las operaciones, herramienta, equipo, materiales y repuestos. Estos recursos deben ser gestionados simultáneamente para lograr que las operaciones de la central cumplan los requerimientos necesarios para mantenerse operando en el mercado energético a nivel nacional.

### **2.4. Descripción de la fuerza laboral**

El CEE cuenta, actualmente con 43 colaboradores para su administración, operación y mantenimiento. Para el área de mantenimiento se cuenta con veintitrés colaboradores, estos veintitrés colaboradores se subdividen en tres grupos de mantenimiento; el mantenimiento mecánico, el mantenimiento eléctrico y el mantenimiento de equipo auxiliar.

Actualmente, la fuerza laboral con la que cuenta el taller de mantenimiento mecánico para llevar a cabo todas las actividades de mantenimiento de los motores es de once personas. Estos cumplen una jornada diurna normal, de lunes a viernes distribuida de la siguiente manera; 9 horas de lunes a jueves con un horario de 8:00 a.m. a 12 p.m. y de 12:30 p.m. a 5:00 pm y los días viernes con un horario de 8:00 a.m. a 12 p.m. y de 12:30 p.m. a 4:00 pm. Para un total de de 44 horas semanales.

La descripción del personal se muestra de forma detallada en la tabla IV.

Tabla IV. **Descripción de personal, Departamento de Mantenimiento Mecánico**

<b>Fuerza laboral taller de mantenimiento mecánico</b>	
<b>Puesto</b>	<b>Cantidad</b>
Supervisor	1
Mecánico tipo "A"	2
Mecánico tipo "B"	2
Mecánico tipo "C"	2
Ayudante de mecánico	4

Fuente: Centro de Energía Escuintla, SIDEGUA, S.A.

## **2.5. Factores que intervienen en las operaciones de mantenimiento de los motores Caterpillar 3616**

Luego de la observación directa de las operaciones que realiza el personal de mantenimiento mecánico, es valioso señalar que durante el periodo de estudio, se observaron factores que intervienen directamente y que afectan de manera significativa en el desarrollo de las actividades. Por lo que, el manejo inadecuado de dichos factores puede incurrir en falta de disponibilidad de las unidades, lo que tiene como consecuencia un elevado costo de oportunidad.

Parte de los factores que intervienen en las operaciones de mantenimiento de los motores se pueden mejorar y controlar, ya que se deben a razones humanas y administrativas del CEE. Mientras otros dependen en gran parte de la corporación y de la importancia que esta le da a la central



térmica en relación de inversión y manejo de costos. A continuación se menciona los factores de mayor relevancia.

### **2.5.1. Condiciones de trabajo**

El ambiente de trabajo donde se ejecutan las actividades depende en gran medida del tipo de actividad que se realice y el momento en que se realice y si este se desarrolla en el taller o en el cuarto de máquinas.

Las actividades desarrolladas en el área de taller, por lo general se realizan en condiciones aceptables para el trabajo, ya que existe señalización, limpieza, orden y en general cumplen las especificaciones de la metodología de 5'S gestionada por la corporación, en general, el área de taller es afectada únicamente por la temperatura ambiente de la región que oscila entre 25 y 34 grados Celsius.

Mientras que las condiciones en el cuarto de máquinas suelen ser afectadas por las altas temperaturas y ruido excesivo provocados por los equipos, depende mucho del momento en que se realizan los mantenimientos, ya que en ocasiones existen dos unidades en operación alrededor de la unidad a la que se le realiza el mantenimiento provocando esto un ruido mayor a 90 dB y temperaturas percibidas de hasta 50 grados Celsius por efecto de radiación y contacto, provocando fatiga y deshidratación del personal.

Al personal se le provee equipo de protección personal (EPP), sin embargo, por el tipo de trabajo realizado suele ser incómodo su utilización, sin embargo, debido a normas de seguridad industrial suele ser de carácter obligatorio la utilización del mismo. Convirtiéndose esto en un tema de discusión y conflicto.

### **2.5.2. Métodos y procedimientos**

En relación a los métodos y procedimientos utilizados por el personal de mantenimiento, se observó que a pesar de que existe personal con mucha experiencia, en muchas ocasiones no preparan adecuadamente su equipo de trabajo, siguen procedimientos que divergen en ciertos aspectos y esto trae como consecuencia pérdida de tiempo importante al momento de realizar el mantenimiento, ya sea preventivo, correctivo y predictivo. Por lo que es fundamental plantear los procedimientos más utilizados y lograr establecer un procedimiento único para cada tipo de operación.

El personal posee el conocimiento y la capacidad de ejecutar las tareas sin embargo se necesita de una adecuada supervisión para que estos las realicen en el tiempo justo.

### **2.5.3. Gestión de mantenimiento**

Para el Departamento de Mantenimiento Mecánico es de vital importancia que los motores se encuentren disponibles, sin embargo, para realizar los mantenimientos debe existir una previa planificación no únicamente en lo referente a repuestos, cantidad de personal a utilizar e insumos, sino también en el tiempo estimado para realizar dichos mantenimientos.

El establecer tiempos estándar para realizar las operaciones es de gran beneficio, ya que de esta manera se logra realizar los trabajos en tiempo adecuado y sin recurrir a multas por exceder los plazos previamente concedidos por el AMM.

#### **2.5.4. Materiales y repuestos**

El adquirir los repuestos necesarios para el mantenimiento de los motores, es un inconveniente, ya que es un procedimiento extenso para su aprobación. En primer lugar se debe de realizar un diagnóstico de las unidades para establecer qué tipo de repuesto es requerido, luego el supervisor hace la requisición al encargado de bodega de la planta, posteriormente este realiza el pedido a bodega de SIDEGUA, cuando se trata de repuestos de uso común o *stock* para mantenimientos preventivos generalmente.

Sin embargo, cuando los repuestos que se requieren son de mayor relevancia en costos el supervisor del departamento necesita previamente la autorización de gerencia. Lo cual se logra un limitante si se toma desde el punto de vista de demoras en los procedimientos de mantenimiento.

A todo esto hay que agregarle la existencia de determinado repuesto tanto en bodega de la planta, como en bodega de SIDEGUA, ya que al no tener existencia es necesario realizar el procedimiento para adquirir los mismos con un proveedor externo.

#### **2.5.5. Herramienta y equipo**

Cada mecánico posee su propia herramienta, sin embargo, existe herramienta y equipo de uso general no solo para el Departamento de Mantenimiento Mecánico, sino para el resto de departamentos de la planta. La herramienta sufre daños frecuentes originados, ya sea por deterioro o por su mal uso, lo que provoca que exista herramienta incompleta provocando problemas entre departamentos y retrasos en las operaciones de mantenimiento.

### **2.5.6. Mano de obra**

Los aspectos más importantes relacionados a la mano de obra en el área de estudio se presentan a continuación.

Existe armonía en el sitio de trabajo, en general existe un buen trato entre todo el personal, dígase supervisor y mecánicos. En la ejecución de las labores, es importante mencionar que la mayoría de los mecánicos cumplen con sus tareas siempre y cuando existan los insumos necesarios para la ejecución.

El personal es altamente calificado de manera técnica para realizar todos los trabajos de tipo mecánico, sin embargo, por la cantidad de motores y la cantidad de dispositivos posee cada uno de estos, se requiere de una cantidad mayor de personal, cantidad con la que no se cuenta.

**Figura 11. Panel local de motor Caterpillar 3616**



Fuente: cuarto de máquinas, Centro de Energía Escuintla, SIDEGUA, S.A.

## 2.6. Operaciones de mantenimiento para los motores Caterpillar 3616

El proceso de mantenimiento de los motores se origina mediante varias formas; la primera de ellas es debido a la programación que se hace siguiendo la lectura de los horómetros, dicha lectura se encuentra ubicada en el panel local de cada uno de los diez motores localizados en la planta y siguiendo las especificaciones de mantenimiento preventivo dadas por el fabricante que dependen del número de horas de funcionamiento recorridas para realizar el tipo de mantenimiento respectivo (ver figura 11). Siguiendo este patrón se tienen contemplado diferentes servicios de mantenimiento como los siguientes;

- Mantenimiento diario :dentro de las operaciones de mantenimiento que se realizan diariamente se pueden mencionar;
  - Chequear del nivel de aceite lubricante del sistema neumático y motor neumático del arranque.
  - Drenar el condensado y los sedimentos que se encuentran en la unidad de mantenimiento del sistema de arranque neumático de los motores.
  - Chequear el nivel de refrigerante del sistema de enfriamiento de los motores.
  - Chequear el nivel de aceite lubricante de los motores y agregar la cantidad necesaria de aceite si fuese necesario.
  - Chequear el nivel de aceite en el gobernador actuador.
  - Inspeccionar el panel de instrumentos.
  - Inspeccionar las bombas de agua para detectar fugas.
  - Inspeccionar el motor por fugas de aceite; sellos delantero y trasero, aceite del cárter, filtros de aceite y tapaderas de válvulas.

- Inspeccionar el sistema de combustible que no presente fugas, en los accesorios de la línea de combustible y mangueras sueltas o desgastadas.
- Mantenimiento cada 100 horas de funcionamiento: para este mantenimiento se realiza únicamente el lavado de turbocompresor derecho e izquierdo del motor.
- Mantenimiento cada 250 horas de funcionamiento: incluye las operaciones de; limpieza de filtros de aire, limpieza de filtros centrífugos de aceite lubricante, limpieza de respiraderos del cárter, evaluación de refrigerante, lubricación de varilla del actuador y prueba de compuerta de parada de emergencia.
- Mantenimiento por cada 500 horas de funcionamiento: incluye todas las operaciones de mantenimiento de 250 horas y adicionalmente las operaciones de; revisión y torque de tapones de cigüeñal y medición de turbocompresores.
- Mantenimiento por cada 1 000 horas de funcionamiento: incluye todas las operaciones de mantenimiento de 500 horas y adicionalmente las operaciones de; chequeo de dámper de vibración por fugas, inspección/cambio de toberas de los turbocompresores, retorque de tornillos de múltiple de escape, revisión de motores de arranque, revisión de corona dentada del volante de inercia, lubricación de mecanismo de rotación del motor, limpieza de indicadores de restricción filtros de aire del motor, medición de presiones pico en cilindros, prueba de estanqueidad en cilindros, limpieza y *flushing* del actuador.

- Mantenimiento por cada 2 000 horas de funcionamiento: incluye todas las operaciones de mantenimiento de 1 000 horas y, adicionalmente las operaciones de; calibración de cremallera de inyector de combustible y *fuel setting*, calibración de válvulas e inyectores, inspección de rotadores de válvulas, revisión de deflexión del cigüeñal, revisión de engranajes traseros del motor por picaduras, revisión de engranajes delanteros del motor por picaduras, revisión de la sincronización árbol de levas/cigüeñal, revisión de juego axial del cigüeñal, revisión de juego axial de engranajes traseros del motor, revisión de juego axial de engranajes delanteros del motor, revisión de juego entre dientes de engranajes traseros del motor, revisión de juego entre dientes de engranajes delanteros del motor, inspección de cojinetes de bancada #9.
- Mantenimiento por cada 4 000 horas de funcionamiento: incluye todas las operaciones de mantenimiento de 2 000 horas y, adicionalmente las operaciones de; limpieza de núcleos del postenfriador, inspección de bancadas centrales del motor, limpieza de *strainer* del cárter del motor, cambio de aceite lubricante del motor, cambio total de inyectores de combustible.

Para el cumplimiento y supervisión de todas las actividades de mantenimiento programado se utiliza la lista de chequeo de mantenimiento preventivo de los motores cuyo formato se observa en la figura 12.







## **2.7. Demoras en las operaciones de mantenimiento preventivo para los motores Caterpillar 3616**

En el proceso de mantenimiento se presentan demoras en cada uno de los diferentes tipos de servicios que se le realizan a los diez motores.

Las demoras se dan tanto en el taller como en el cuarto de máquinas, en el taller las demoras son ocasionadas, principalmente por escasez de herramienta lo que trae como consecuencia la búsqueda de la misma, ocasionando pérdida de tiempo al inicio de las actividades, con menos frecuencia pero no menos importante existe la búsqueda de materiales e insumos y la falta de existencia de repuestos, lo que genera una porción más de tiempo perdido en las operaciones.

En el cuarto de máquinas existen demoras producidas por mala organización de las herramientas, equipo y materiales lo que provoca el traslado continuo del personal al taller que se encuentra a una distancia considerable del cuarto de máquinas. También existen demoras por rehidratación del personal debido a las altas temperaturas, sin embargo, estas se toman como demoras necesarias y sirven de restitución física y mental del personal de trabajo.

## **2.8. Análisis y resultados del estudio de métodos**

A continuación se exponen los resultados obtenidos del análisis del estudio de métodos, estos fueron adquiridos luego del seguimiento de todas las actividades que forman parte del mantenimiento preventivo para los motores Caterpillar 3616 ubicados en el CEE.

## **2.8.1. Propuesta de estandarización de las actividades que conforman las operaciones de mantenimiento de los motores Caterpillar 3616**

Para realizar la estandarización de las operaciones de mantenimiento preventivo de los motores, se tomó como base todas las actividades pertenecientes a los diferentes servicios establecidos por el Departamento de Mantenimiento Mecánico. Para realizar el estudio se consideraron aspectos como; descripción breve de las actividades realizadas por el personal, tiempo promedio de duración de las actividades, frecuencia de cada actividad y el cálculo de tiempo normal y estándar de las actividades.

### **2.8.1.1. Estudio de tiempos de las operaciones de mantenimiento preventivo**

Para la elaboración del estudio de tiempos se tomo como base fundamentos teóricos que se describen a continuación:

- **Número de ciclos**

Es necesario determinar cuántos ciclos se va a estudiar para llegar a un estándar. Es importante determinar el tamaño de la muestra, para lo cual existen varias formas de determinarlo como son: método estadísticos y métodos aproximados. Sin embargo, para motivos prácticos se utilizó el método aproximado que se describe brevemente a continuación:

- **Método aproximado**

Este es el método utilizado por la compañía General Electric (ver tabla V), el cual determina el número de observaciones necesarias, dependiendo de la duración del ciclo.

Este es un método mucho más práctico debido a la naturaleza del campo de estudio.

Tabla V. **Determinación de número de ciclos (General Electric)**

<b>Tiempo de ciclo en minutos</b>	<b>Número de ciclos recomendados</b>
0,10	200
0,25	100
0,50	60
0,75	40
1,00	30
2,00	20
2,00 – 5,00	15
5,00 – 10,00	10
10,00 – 20,00	8
20,00 – 40,00	5
40,00 o más	3

Fuente: Nievel Freivalds. Métodos, estándares y diseño del trabajo, p. 393.

Para el estudio de tiempos de las operaciones de mantenimiento se utilizó un estándar de muestras de trabajo  $n=10$  para la mayoría de operaciones. Y para las operaciones con tiempos de ejecución muy largos se tomó una muestra con  $n=3$ .

### **2.8.1.1.1. Ejecución del estudio de tiempos**

- Calificación de desempeño del operario

Como el tiempo real requerido para ejecutar cada elemento del estudio depende en un alto grado de la habilidad y esfuerzo del operario, es necesario ajustar hacia arriba el tiempo normal del operario experimentado y hacia abajo el del menos capacitado. Es por ello que se debe de dar una calificación justa e imparcial al desempeño en estudio. El valor de calificación se expresa como un decimal o un porcentaje y se asigna al elemento observado.

- Operario calificado

Un operario calificado se define como un operario con amplia experiencia que trabaja en las condiciones acostumbradas en la estación de trabajo, a un paso no demasiado rápido y no demasiado lento, sino representativo de uno que se puede tener a lo largo del día.

- Tiempo cronometrado

El tiempo cronometrado es aquel que se toma de la operación que se está siguiendo.

- Tiempo promedio seleccionado

Es la relación entre el total de lecturas de tiempo cronometrado y el número de ciclos o muestras. De forma simple se puede decir que es la media aritmética del tiempo que dura cada elemento de la operación. Luego al sumar

cada una de las medias aritméticas de cada elemento de la operación se encuentra el tiempo promedio de la operación.

$$TPS = \frac{\sum T}{n} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

TPS = tiempo promedio seleccionado  
n = número de lecturas seleccionadas.  
T = tiempo de cada actividad

- **Tiempo Normal**

Es el tiempo necesario por el operador normal calificado para ejecutar la operación cuando trabaja con velocidad estándar o a un ritmo normal, es decir, sin ninguna demora por razones o circunstancias inevitables.

$$TN = TPS \times C_v \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

TN = tiempo Normal  
TPS = tiempo promedio seleccionado  
C<sub>v</sub> = cociente de velocidad

- **Tiempo Estándar**

Es el tiempo asignado para la ejecución de una tarea y el cual puede ser mantenido por el operador durante una jornada de trabajo sin llegar al

cansancio. La utilización de tiempo estándar es de gran ayuda para la medición de la mano de obra directa. Se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$T_E = T_N + (T_N \times \% S) \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde:

$T_E$  = tiempo estándar

$T_N$  = tiempo Normal

$\% S$  = porcentaje de suplementos

- Métodos de calificación del operario

El operario se califica tomando en cuenta factores cualitativos y cuantitativos relacionados directamente con el área de trabajo.

- Calificación de Velocidad

La calificación de velocidad o rapidez es un método de evaluación del desempeño que sólo considera la tasa de trabajo logrado por unidad de tiempo. Con este método, se mide la efectividad del operario contra el concepto de un operario calificado que realiza el mismo trabajo, y después asigna un porcentaje para indicar la razón del desempeño observado entre el normal o estándar.

El método de calificación de velocidad, sirve para analizar si se está por arriba o por debajo de lo normal. Luego se intenta colocar el desempeño en la posición precisa de la escala de calificaciones que evalúa la diferencia numérica entre el desempeño estándar y el demostrado. Entonces el 100 por ciento se considera normal.

- Coeficiente de velocidad del operario

Es importante realizar un estudio de tiempos con trabajadores calificados, de tal forma que los tiempos obtenidos sean confiables y consistentes. El trabajador calificado es aquel que tiene las actitudes tanto físicas como de conocimiento necesarias que le dan la destreza requerida para realizar el trabajo según normas satisfactorias de calidad y seguridad. La fórmula utilizada para el cálculo de la calificación de la actuación es la siguiente:

$$C_v = 1 \pm \sum(\text{Habilidad} + \text{esfuerzo} + \text{condiciones} + \text{consistencia}) \quad (\text{Ecuación 4})$$

En donde:

$C_v$  = Coeficiente de velocidad del operario.

$\sum$  = Sumatoria de factores para la evaluación de desempeño, obtenido por medio del método de Westinghouse.

- Método Westinghouse

Uno de los métodos de calificación más antiguos y con mayor aplicación, fue desarrollado por Westinghouse Electric Corporation. Es uno de los sistemas más utilizados para la determinación de la calificación de la velocidad. Este método considera cuatro factores para evaluar el desempeño del operario; habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia.

- Habilidad o Destreza

Es la sabiduría, experiencia y habilidad que se tiene para desarrollar un trabajo o tarea con la apropiada coordinación de la mente y las manos. Se



determina por medio de aptitudes inherentes como; ritmo de trabajo y coordinación natural. Según el método *Westinghouse* existe seis grados de habilidad que son; malo, aceptable, promedio, bueno, excelente, Superior. Cada uno de los grados posee una ponderación adecuada, como se muestra en la tabla VI.

Tabla VI. **Sistema de calificación de habilidades *Westinghouse***

HABILIDAD		
Superior	A1	0,15
Superior	A2	0,13
Excelente	B1	0,11
Excelente	B2	0,08
Bueno	C1	0,06
Bueno	C2	0,03
Promedio	D	0,00
Aceptable	E1	-0,05
Aceptable	E2	-0,10
Malo	F1	-0,16

Fuente: Nievel Freivalds. Métodos, estándares y diseño del trabajo, p. 415.

- **Esfuerzo**

Es la voluntad que tiene el trabajador para realizar las tareas de manera eficiente. El esfuerzo generalmente se representa por medio de la rapidez con que se aplica la habilidad que se tiene y que puede ser controlada por el trabajador. Según el método *Westinghouse* existen seis grados de esfuerzo que son; malo, aceptable, promedio, bueno, excelente, excesivo. Cada uno de los grados posee una ponderación adecuada, como se muestra en la tabla VII.

Tabla VII. **Calificación de esfuerzo Westinghouse**

ESFUERZO		
Excesivo	A1	0,13
Excesivo	A2	0,12
Excelente	B1	0,10
Excelente	B2	0,08
Bueno	C1	0,05
Bueno	C2	0,02
Promedio	D	0,00
Aceptable	E1	-0,04
Aceptable	E2	-0,08
Malo	F1	-0,12
Malo	F2	-0,17

Fuente: Nivel Freivalds, Métodos, estándares y diseño del trabajo, p. 416

- Condiciones de trabajo

Son las condiciones que afectan al trabajador y no a la operación que se está realizando. Los factores que afectan las condiciones de trabajo son: ventilación, temperatura, ruido, iluminación, entre otras. Según el método *Westinghouse* existen seis grados de condiciones de trabajo que son; Malo, aceptable, promedio, bueno, excelente, ideal. Cada uno de los grados posee una ponderación adecuada, como se muestra en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Calificación de condiciones Westinghouse**

CONDICIONES DE TRABAJO		
Ideal	A	0,06
Excelente	B	0,04
Bueno	C	0,02
Promedio	D	0,00
Aceptable	E	-0,03
Malo	F	-0,07

Fuente: Nievel Freivalds. Métodos, estándares y diseño del trabajo. p. 416

○ Consistencia

La consistencia es el grado de repetitividad de un trabajador al efectuar una operación. Si el tiempo que se observa para realizar determinada tarea es constante, habrá una consistencia perfecta, sin embargo, esta situación rara vez ocurre. Debido al deterioro de que sufre la herramienta, equipo, desgaste físico del trabajador entre otras. Según el método *Westinghouse* existen seis grados de consistencia de trabajo que son; Mala, aceptable, promedio, buena, excelente, perfecto.

Tabla IX. **Calificación de consistencia por método Westinghouse**

CONSISTENCIA		
Perfecta	A	0.04
Excelente	B	0.03
Buena	C	0.01
Promedio	D	0
Aceptable	E	-0.02
Mala	F	-0.04

Fuente: Nievel Freivalds, Métodos, estándares y diseño del trabajo, p. 417.

- Suplementos o tolerancias de trabajo

Los suplementos son el porcentaje de tiempo que se le adiciona al tiempo normal para compensar retrasos o demoras personales debido a demoras inevitables o por fatiga. Los suplementos, generalmente se aplican en tres categorías; la primera categoría es aquella donde los suplementos se aplican al tiempo total del ciclo, la segunda se aplica únicamente al tiempo de empleo de la máquina y la tercera categoría son los suplementos que se aplican al tiempo de esfuerzo.

Los suplementos que se aplican al tiempo total del ciclo se expresan como porcentaje del tiempo del ciclo e este incluye necesidades personales, limpieza de estación de trabajo y mantenimiento de la maquinaria. Los suplementos de tiempo de maquinado incluyen tiempo para variaciones de potencia y manejo de herramienta, los suplementos por esfuerzo comprenden fatigas y demoras evitables.

En este caso se aplican los suplementos por esfuerzo en cada una de las actividades necesarias para realizar un determinado mantenimiento donde se toman en cuenta tanto fatigas como demoras inevitables. Entre los factores que influyen en la utilización de suplementos para el estudio de tiempos se pueden mencionar los siguientes:

- Factores relacionados con el individuo

Este factor toma en cuenta constitución física del individuo, ya que una persona delgada y ágil para recuperarse de la fatiga necesita un suplemento menor que de una persona obesa. Además, hay que tomar en cuenta que cada

trabajador posee su propia curva de aprendizaje, que puede condicionar la forma en que realiza las tareas.

- Factores relacionados con la naturaleza del trabajo

Cada situación de trabajo posee características propias que influyen en el grado de fatiga del trabajador o que pueden retrasar inevitablemente la ejecución de la tarea que le ha sido asignada.

- Factores relacionados con el medio ambiente

Los suplementos deben asignarse en relación a los diversos factores ambientales como lo son: humedad, temperatura, nivel de ruido, ventilación, limpieza, iluminación, entre otros.

- Suplementos constantes

- Retrasos personales

Los retrasos personales son aquellas interrupciones de las actividades laborales que no ocurren en el ciclo típico de trabajo, generalmente se realizan para el bienestar y comodidad del trabajador. Estos retrasos personales pueden estar conformados por: ir a tomar agua, ir al sanitario, ventilarse, entre otras. En los retrasos personales influyen las condiciones, la forma general del trabajo y el tipo de persona que desempeña el trabajo. Debido a estudios realizados se ha demostrado que generalmente se requiere una tolerancia de 5 por ciento por retrasos personales.

- Fatiga

La fatiga es la sensación de cansancio y disminución de la capacidad para trabajo mental y físico a nivel habitual. La fatiga puede ir desde lo puramente físico hasta lo puramente psicológico o una combinación de ambas. Se encuentra ligada a la tolerancia por retrasos personales y en ningún caso la fatiga será homogénea ya que depende de diversos factores como lo son:

- Condiciones de trabajo

Entre las condiciones de trabajo se pueden mencionar: la iluminación, temperatura, color del lugar, nivel de ruido, humedad entre otras.

- Repetitividad del trabajo

Entre las condiciones de repetitividad del trabajo se pueden mencionar; la concentración necesaria para realizar una tarea, la monotonía de los movimientos corporales semejantes, la posición que debe asumir el trabajador para ejecutar la tarea, el cansancio muscular debido a la distensión de músculos.

- Estado de salud del trabajador, físico y mental

Entre las condiciones de salud del trabajador se pueden mencionar: estatura, descanso y estabilidad emocional.

Es importante tener en cuenta que la fatiga en el trabajador se puede reducir, pero nunca puede eliminarse por completo, por lo que se vuelve una cantidad constante y se aplica para consumir la energía consumida en la

ejecución de un trabajo y para aliviar la monotonía causada por una tarea. Generalmente se fija un 4 por ciento del tiempo básico por concepto de fatiga.

- **Suplementos variables**

Los suplementos variables son los que se relacionan con los siguientes factores: posición de trabajo, uso de fuerza, iluminación, condiciones atmosféricas, atención requerida, nivel de ruido, estrés mental, monotonía y tedio.

A continuación se muestra la tabla de suplementos recomendados por la Oficina Internacional del Trabajo (OIT) donde se muestra el tipo de suplemento y su ponderación en unidades porcentuales.

Tabla X. Suplementos recomendados por la OIT

Suplementos recomendados por OIT	
Suplementos	Calificación (%)
<b>A. Suplementos constantes:</b>	
1. Suplemento personal	5
2. Suplemento por fatiga básica	4
<b>B. Suplementos variables:</b>	
1. Suplemento por estar de pie	2
2. Suplemento por posición anormal	
a. un poco incómoda	0
b. Incómoda (agachado)	2
c. muy incómoda(tendido, estirado)	7
3. Uso de fuerza o energía muscular(levantar, jalar o empujar): Peso (Lbs.)	
5	0
10	1
15	2
20	3
25	4
30	5
35	7
40	9
45	11
50	13
60	17
70	22
4. Mala iluminación:	
a. Un poco debajo de la recomendada	0
b. bastante menor que la recomendada.	2
c. Muy inadecuada	5
5. Condiciones atmosféricas (calor y humedad)-variable	0-10
6. Atención requerida:	
a. Trabajo bastante fino	0
b. trabajo fino o preciso	2
c. Trabajo muy fino y muy preciso	5
7. Nivel de ruido:	
a. continuo	0
b. Intermitente – fuerte	2
c. Intermitente- muy fuerte	5
d. de tono alto – fuerte	5
8. Estrés mental:	
a. proceso bastante complejo	1
b. atención compleja o amplia	4
c. muy compleja	8



Continuación de la tabla X.



9. Monotonía:	
a. nivel bajo	0
b. nivel medio	1
c. nivel alto	4
10. Tedio:	
a. algo tedioso	0
b. tedioso	2
c. muy tedioso	5

Fuente: Nievel Freivalds, Métodos, estándares y diseño del trabajo. p. 437.

Es por medio del método descrito con anterioridad que se procedió a evaluar las distintas actividades de mantenimiento preventivo en los motores Caterpillar 3616, para obtener los datos de tiempos cronometrados de cada uno de los elementos que forman parte de las operaciones se utilizó la hoja de observación cuyo formato se muestra en la figura 14.

En dicho formato se describe brevemente cada uno de los elementos que pertenecen a la operación, el número de observaciones por elemento, la sumatoria total y el promedio de tiempo utilizado por elemento para posteriormente calcular el tiempo promedio seleccionado (TPS) de la operación analizada.

Figura 14. Formato de hoja de observación

HOJA DE OBSERVACIÓN												
 <small>Centro de Energía Escuintla</small>				 <small>SEGURIDAD Y GASTRALIA, S.A.</small>								
Empresa : _____						Número de hoja : _____						
Operación : _____						Departamento : _____						
Turno : _____						Unidades utilizadas : _____						
Estudio realizado por : _____				Autorizado por : _____				Fecha : _____				
MUESTRAS												
Elementos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Promedio
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
Notas: _____												
_____												
_____												
_____												

Fuente: elaboración propia.

El estudio de tiempos para cada uno de los mantenimientos preventivos se describe y detalla a continuación.

### 2.8.1.1.2. Mantenimiento de 100 horas de servicio

El servicio de mantenimiento para cada 100 horas de servicio en los motores cuenta con una sola operación, denominada lavado de turbocompresores cuyos proceso y tiempo promedio seleccionado (TPS) se muestra en la tabla XI.

Tabla XI. Lavado de turbocompresores

No. Pasos	Elementos	Muestra	TPS (Minutos)
1	Abrir válvulas de lavado de turbo (verificar que no exista obstrucción) y dejar salir los gases de escape por las válvulas y cerrar válvulas.	10	2,50
2	Instalar la manguera de alimentación de agua entre la caja de control y los conectores del motor	10	2,70
3	Instalar manguera de drenaje a la válvula de drenaje de turbo que se está lavando.	10	2,20
4	Asegurarse que la válvula de control de flujo de la caja de control de lavado de turbo esté completamente cerrada	10	1,30
5	Conectar la fuente de agua a la caja de control de lavado de turbo.	10	3,70
6	Esperar que la temperatura de gases de escape de entrada al turbo se encuentre estable.	10	5,60
7	Abrir válvula de drenaje del turbo y ajustar la válvula de control de flujo.	10	1,50
8	Lavar el turbo por 25 minutos	10	25,00
9	Cerrar las válvulas de control de flujo en la caja de lavado de turbo.	10	2,60
10	Desconectar mangueras entre la caja de control y el motor.	10	3,20
11	Cerrar válvulas de drenaje del turbo y quitar manguera de drenaje.	10	2,10
12	Abrir las dos válvulas de lavado de turbo en el múltiple de escape.	10	1,40

Continuación de la tabla XI.

13	Repetir el paso 1 a 12 para el otro turbo.	10	53,80
		<b>TIEMPO TOTAL</b>	<b>107,60</b>

Fuente: elaboración propia.

Es importante aclarar que en la operación de lavado de turbocompresores se toma un turbocompresor a la vez, lo que proporciona un total de 107,6 minutos como tiempo promedio seleccionado.

Para obtener el tiempo normal de la operación es necesario calcular el coeficiente de velocidad. El coeficiente de velocidad para todas las actividades se obtiene utilizando la ecuación 4, en este caso en particular el coeficiente de velocidad es de 0,9 para todos los pasos o elementos necesarios de la operación. El tiempo normal de la operación es de 96,8 minutos y se obtiene utilizando la ecuación 2.

Para determinar los suplementos laborales, se utilizó la tabla de recomendados por la OIT (ver tabla X). El análisis de suplementos se realizó para cada paso de la operación con la finalidad de evaluar lo más objetivamente posible y tomar en cuenta la variación en las condiciones laborales dependiendo de la tarea que se realiza para completar todo el proceso. Estableciendo un tiempo estándar de 114,3 minutos y se obtiene utilizando la ecuación 3.

Sin embargo, para esta operación es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El lavado de turbo se realiza tomando una secuencia, es decir se lava un

turbocompresor y posteriormente el otro turbocompresor del motor.

- Si los turbocompresores se lavan de forma simultánea el tiempo estándar de dicha operación se reduce a la mitad establecida anteriormente. Es decir el tiempo estándar es de 57,15 minutos.
- Al realizar el lavado de turbos de forma simultánea se debe utilizar el doble de recursos como; personal, equipo para el lavado de turbos y herramienta.

### 2.8.1.1.3. Mantenimiento de 250 horas de servicio

El servicio de mantenimiento a las 250 horas de servicio de los motores, cuenta con seis operaciones las cuales se describen a continuación:

- Limpieza/cambio de filtros de admisión

El proceso y tiempo promedio seleccionado (TPS) se muestra en la tabla XII.

Tabla XII. Limpieza/cambio de filtros de admisión

No. De pasos	Elementos	Tamaño de la muestra	TPS (minutos)
1	Desmontaje de filtros de admisión.	10	4,90
2	Extracción de filtros de admisión.	10	3,70
3	Cambio de pre filtros de admisión.	10	4,50
4	Soplete de filtros y en su efecto cambio de filtros.	10	15,20
5	Colocación de filtros de admisión.	10	4,70
		TIEMPO TOTAL	<b>33,00</b>

Fuente: elaboración propia.

El tiempo normal para esta operación es de 33,8 min y el tiempo estándar de 42,5 min. Sin embargo hay que tomar en cuenta que dicha operación se realiza con dos personas.

- Cambio de filtros centrífugos de aceite lubricante

El proceso y tiempo promedio seleccionado (TPS) se muestra en la Tabla XIII.

Tabla XIII. **Cambio de filtros centrífugos de aceite lubricante**

No. De Pasos	Elementos	Tamaño de la muestra	TPS (minutos)
1	Desmontaje de filtros centrífugos de aceite lubricante	10	3,80
2	Cambio de 3 filtros centrífugos de aceite lubricante	10	6,70
3	Limpieza del área de trabajo	10	1,50
<b>TIEMPO TOTAL</b>			<b>12,00</b>

Fuente: elaboración propia

El tiempo normal para el cambio de filtros centrífugos de aceite lubricante es de 13,2 minutos y el tiempo estándar de 16,2 minutos.

Es importante aclarar que, en esta operación únicamente se toma en cuenta el tiempo utilizado para el cambio de los 3 filtros, es decir se asume que se tiene un *stock* de 3 filtros limpios y únicamente se procede a realizar el cambio respectivo. Debido a que la operación de limpieza y reacondicionamiento de los filtros pertenecen al área de mecánica de banco.

- Limpieza de respiraderos del cárter

El proceso y tiempo promedio seleccionado (TPS) se muestra en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Limpieza de respiraderos del cárter**

No. Pasos	Elementos	Tamaño de la muestra	TPS (minutos)
1	Desmontaje de los 4 respiraderos del cárter.	10	2,20
2	Limpiar superficie	10	3,30
3	Limpieza de los respiraderos del cárter	10	11,00
4	Montaje de los respiraderos del cárter	10	8,40
<b>TIEMPO TOTAL</b>			<b>24,90</b>

Fuente: elaboración propia.

El tiempo normal para la limpieza de respiraderos del cárter es de 26,4 minutos y el tiempo estándar de 32,5 minutos

- Evaluación de refrigerante

El proceso y tiempo promedio seleccionado (TPS) se muestra en la tabla XV.

Tabla XV. **Evaluación de refrigerante**

No. Pasos	Elementos	Tamaño de la muestra	TPS (minutos)
1	Preparar los recipientes para la toma de la muestra	10	1,80
2	Tomar la muestra de la mezcla del refrigerante, en la válvula de drene del visor en el tanque de expansión.	10	3,00
3	Almacenar la muestra para su posterior análisis.	10	1,40
		<b>TIEMPO TOTAL</b>	<b>6,20</b>

Fuente: elaboración propia.

El tiempo normal para la evaluación de refrigerante es de 5,7 minutos y el tiempo estándar de 6,8 minutos.

- Lubricación de varilla del actuador

El proceso y tiempo promedio seleccionado (TPS) se muestra en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Lubricación de varilla del actuador**

No. Pasos	Elementos	Tamaño de la muestra	TPS (Minutos)
1	Limpiar articulaciones del actuador	10	2,20
2	Colocar grasa en las articulaciones (cabezales) de la varilla del actuador	10	3,40
		<b>TIEMPO TOTAL</b>	<b>5,60</b>

Fuente: elaboración propia

El tiempo normal para la lubricación de varilla del actuador es de 5,8 min y el tiempo estándar de 6,9 minutos.



- Prueba de compuerta de parada de emergencia

El proceso y tiempo promedio seleccionado (TPS) se muestra en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Prueba de compuerta de parada de emergencia**

No. Pasos	Elementos	Tamaño de la muestra	TPS (minutos)
1	Activa la compuerta por medio del panel de control local del motor.	10	0,90
2	Observar si se activa la compuerta y la regresar por medio de una llave ajustable a su posición original.	10	0,70
3	Regresar el botón ubicado en el panel de control, a su posición original.	10	1,00
4	El procedimiento 2 a 3 debe de realizarse tres veces, para comprobar el perfecto estado de la compuerta	10	5,20
		<b>TIEMPO TOTAL</b>	<b>7,80</b>

Fuente: elaboración propia.

La operación completa se realiza 2 a 3 veces por lo que esta repetición se muestra en el paso 4, con un tiempo de 5.2 minutos. El tiempo normal para la prueba de compuerta de parada de emergencia es de 7,8 min y el tiempo estándar de 9,3 min.

A continuación se presenta el resumen de los tiempos estándar de las operaciones pertenecientes al servicio de mantenimiento preventivo de 250 horas de servicio.

Tabla XVIII. **Resumen de operaciones de mantenimiento de 250 horas de servicio**

<b>Operaciones necesarias para el mantenimiento preventivo de 250 horas de servicio para los motores Caterpillar 3616</b>			
<b>No.</b>	<b>Operación</b>	<b>Tiempos estándar (Min)</b>	<b>No. de personas por operación</b>
1	Limpieza/cambio de filtros de admisión	42,50	2
2	Cambio de filtros centrífugos de aceite lubricante	16,20	1
3	Limpieza de respiraderos del cárter	32,50	1
4	Evaluar refrigerante del motor - tomar muestra de refrigerante	6,80	1
5	Lubricar varilla del actuador	6,90	1
6	Probar compuerta de parada de emergencia	9,30	2

Fuente: elaboración propia.

#### **2.8.1.1.4. Mantenimiento de 500 horas de servicio**

El servicio de mantenimiento para cada 500 horas de servicio de los motores, se compone por todas las operaciones pertenecientes al servicio de 250 horas más dos operaciones las cuales se describen a continuación:

- Revisión y torque de tapones del cigüeñal

El proceso y tiempo promedio seleccionado (TPS) se muestra en la tabla XIX.

Tabla XIX. Revisión y torque de tapones del cigüeñal

No. pasos	Elementos	Tamaño de la muestra	TPS (minutos)
1	Eliminar el paso de aire hacia el motor de arranque del motor a trabajar.	3	1,50
2	Desmontar tapaderas laterales de bancadas (8 en total)	3	19,20
3	Desacoplar <i>breaker</i>	3	1,90
4	Girar Cigüeñal por medio del <i>Barring group</i>		8,20
5	Torquear dos tapones dependiendo de la posición del cigüeñal.	3	1,10
6	Girar cigüeñal por medio del <i>Barring group</i>	3	1,10
7	Torquear dos tapones dependiendo de la posición del cigüeñal.	3	0,90
8	Girar cigüeñal por medio del <i>Barring group</i>	3	1,40
9	Torquear dos tapones dependiendo de la posición del cigüeñal.	3	1,30
10	Girar cigüeñal por medio del <i>Barring group</i>	3	1,20
11	Torquear dos tapones dependiendo de la posición del cigüeñal.	3	1,40
12	Limpiar tapaderas, colocar grasa y <i>O´rings</i> en tapaderas laterales del motor.	3	7,40
13	Colocar tapaderas y ajustar tornillos.	3	7,60
14	Limpeza del área.	3	6,40
		<b>TIEMPO TOTAL</b>	<b>60,60</b>

Fuente: elaboración propia.

El tiempo normal para revisión y torque de tapones del cigüeñal es de 65,4 min y el tiempo estándar de 84,8 min.

- Medición de turbocompresores

El proceso y tiempo promedio seleccionado (TPS) se muestra en la tabla XX.

Tabla XX. **Medición de turbocompresores**

No. Pasos	Elementos	Tamaño de la muestra	TPS (minutos)
1	Desmontaje de abrazaderas en la entrada de compresor	10	7,90
2	Desmontaje de los adaptadores de admisión de ambos turbos.	10	8,10
3	Colocación del equipo de medición (reloj comparador) y medición del juego axial y radial de los turbos.	10	10,10
4	Inspección visual de los compresores de turbos.	10	2,8
5	Montaje del adaptador de admisión en ambos turbos.	10	9,4
6	Colocación de abrazaderas y mangueras de unión en la admisión de ambos turbos.	10	5,5
7	Abrir válvula de drenaje del turbo y ajustar la válvula de control de flujo.	<b>TIEMPO TOTAL</b>	<b>43,80</b>

Fuente: elaboración propia.

El tiempo normal para realizar la medición de los turbocompresores es de 47,7 minutos y el tiempo estándar de 65,3 minutos.

A continuación se presenta el resumen de los tiempos estándar de las operaciones pertenecientes al servicio de mantenimiento preventivo de 500 horas de servicio.

Tabla XXI. **Resumen de operaciones de mantenimiento de 500 horas de servicio**

<b>Operaciones necesarias para el mantenimiento preventivo de 500 horas de servicio para los motores Caterpillar 3616</b>			
<b>No.</b>	<b>Operación</b>	<b>Tiempos estándar (Min)</b>	<b>No. De personas por operación</b>
1	Limpieza/cambio de filtros de admisión	42,50	2
2	Cambio de filtros centrífugos de aceite lubricante	16,20	1
3	Limpieza de respiraderos del cárter	32,50	1
4	Evaluar refrigerante del motor - tomar muestra de refrigerante	6,80	1
5	Lubricar varilla del actuador	6,90	1
6	Probar compuerta de parada de emergencia	9,30	2
7	Revisar/torquear tapones del cigüeñal	84,80	2
8	Medición de turbo cargadores	65,30	2

Fuente: elaboración propia.

#### **2.8.1.1.5. Mantenimiento de 1 000 horas de servicio**

El servicio de mantenimiento para cada 1 000 horas de servicio de los motores, se compone por todas las operaciones pertenecientes al servicio de 500 horas más once operaciones las cuales se mencionan a continuación:

- Chequeo de vibración del motor

El tiempo normal para realizar el chequeo de vibración del motor es de 11,8 minutos y el tiempo estándar de 14,6 minutos.

- Chequeo de dámper de vibración por fugas

El tiempo normal para realizar la el chequeo de dámper de vibración por fugas es de 26,5 minutos y el tiempo estándar de 31,1 minutos.

- Inspección/cambio de toberas de los turbocompresores

El tiempo normal para realizar la inspección/cambio de toberas de los turbocompresores es de 71,9 minutos y el tiempo estándar de 104,2 minutos.

- Retorque de tornillos de múltiple de escape

El tiempo normal para realizar el retorque de tornillos de múltiple de escape es de 41,6 minutos y el tiempo estándar de 53 minutos.

- Revisión de motores de arranque

El tiempo normal para realizar la revisión de motores de arranque es de 39,7 minutos y el tiempo estándar de 48,5 minutos.

- Revisión de corona dentada del volante de inercia

El tiempo normal para realizar la revisión de corona dentada del volante de inercia es de 20,7 minutos y el tiempo estándar de 26,1 minutos.

- Lubricación de mecanismo de rotación del motor

El tiempo normal para realizar la lubricación de mecanismo de rotación del motor es de 17 minutos y el tiempo estándar de 20,2 minutos.

- Limpieza de indicadores de restricción filtros de aire del motor

El tiempo normal para realizar la limpieza de indicadores de restricción de filtros de aire del motor es de 14,2 minutos y el tiempo estándar de 16,4 minutos.

- Medición de presiones pico en cilindros

El tiempo normal para realizar la medición de presiones pico en cilindros es de 116,4 minutos y el tiempo estándar de 150,2 minutos.

- Prueba de estanqueidad en cilindros

El tiempo normal para realizar la prueba de estanqueidad en cilindros es de 100,9 minutos y el tiempo estándar de 120 minutos.

- Limpieza y *flushing* del actuador

El tiempo normal para realizar la limpieza y *flushing* del actuador es de 18,7 minutos y el tiempo estándar de 21,5 minutos.

En la tabla XXII se presenta el resumen de los tiempos estándar de las operaciones pertenecientes al servicio de mantenimiento preventivo de 1 000 horas de servicio.

Tabla XXII. **Resumen de operaciones de mantenimiento de 1 000 horas de servicio**

<b>Operaciones necesarias para el mantenimiento preventivo de 1 000 horas de servicio para los motores Caterpillar 3616</b>			
<b>No.</b>	<b>Operación</b>	<b>Tiempos estándar (Min)</b>	<b>No. De personas por operación</b>
1	Limpieza/cambio de filtros de admisión	42,50	2
2	Cambio de filtros centrífugos de aceite lubricante	16,20	1
3	Limpieza de respiraderos del cárter	32,50	1
4	Evaluar refrigerante del motor - tomar muestra de refrigerante	6,80	1
5	Lubricar varilla del actuador	6,90	1
6	Probar compuerta de parada de emergencia	9,30	2
7	Revisar/torquear tapones del cigüeñal	84,80	2
8	Medición de turbo	65,30	2
9	Chequeo de vibración del motor	14,60	1
10	Chequeo del damper de vibración por fugas	31,10	1
11	Inspección/cambio de toberas de los turbocompresores	104,20	2
12	Re-torque de tornillos del múltiples de escape	53,00	2
13	Revisión de motores de arranque	48,50	2
14	Revisión de corona dentada del volante de inercia	26,10	1
15	Lubricación de mecanismo de rotación del motor.	20,20	1
16	Limpieza de indicadores de restricción filtros de aire del motor	16,40	1
17	Mediciones de presiones pico de los cilindros	150,20	1
18	Prueba de estanqueidad en cilindros	120	2
19	Limpieza y <i>flushing</i> del actuador	21,50	1

Fuente: elaboración propia.



#### **2.8.1.1.6. Mantenimiento de 2 000 horas de servicio**

El servicio de mantenimiento para cada 2 000 horas de servicio de los motores, se compone por todas las operaciones pertenecientes al servicio de 1 000 horas más trece operaciones las cuales se mencionan a continuación:

- Calibración de cremallera de inyector de combustible y *fuel setting*

El tiempo normal para realizar la calibración de cremallera de inyector de combustible y *fuel setting* es de 74,9 minutos y el tiempo estándar de 92,2 minutos.

- Calibración de válvulas e inyectores

El tiempo normal para realizar la calibración de válvulas e inyectores es de 153,9 min y el tiempo estándar de 190,8 min.

- Inspección de rotadores de válvulas

El tiempo normal para realizar la inspección de rotadores de válvulas es de 52,9 minutos y el tiempo estándar de 63,4 minutos.

- Revisión de deflexión del cigüeñal

El tiempo normal para realizar la revisión de deflexión del cigüeñal es de 64,7 minutos y el tiempo estándar de 77,2 minutos

- Revisión de engranajes traseros del motor por picaduras

El tiempo normal para realizar la revisión de engranajes traseros del motor por picaduras es de 70,6 minutos y el tiempo estándar de 85 minutos.

- Revisión de engranajes delanteros del motor por picaduras

El tiempo normal para realizar la revisión de engranajes delanteros del motor por picaduras es de 44,7 minutos y el tiempo estándar de 56 minutos.

- Revisión de la sincronización árbol de levas/cigüeñal

El tiempo normal para realizar la revisión de la sincronización árbol de levas/cigüeñal es de 49,5 minutos y el tiempo estándar de 59,5 minutos.

- Revisión de juego axial del cigüeñal

El tiempo normal para realizar la revisión de juego axial del cigüeñal es de 28,8 minutos y el tiempo estándar de 34,7 minutos.

- Revisión de juego axial de engranajes traseros del motor

El tiempo normal para realizar la revisión de juego axial de engranajes traseros del motor es de 36,6 minutos y el tiempo estándar de 44,4 minutos.

- Revisión de juego axial de engranajes delanteros del motor

El tiempo normal para realizar la revisión de juego axial de engranajes delanteros del motor es de 34,8 minutos y el tiempo estándar de 45 minutos.

- Revisión de juego entre dientes de engranajes traseros del motor

El tiempo normal para realizar la revisión de juego entre dientes de engranajes traseros del motor es de 49,5 minutos y el tiempo estándar de 60 minutos.

- Revisión de juego entre dientes de engranajes delanteros del motor

El tiempo normal para realizar la revisión de juego entre dientes de engranajes delanteros del motor es de 44,7 minutos y el tiempo estándar de 54,3 minutos.

- Inspección de cojinetes de bancada #9

El tiempo normal para realizar la revisión de juego entre dientes de engranajes delanteros del motor es de 319,7 minutos y el tiempo estándar de 394,1 minutos.

En la tabla XXIII se presenta el resumen de los tiempos estándar de las operaciones pertenecientes al servicio de mantenimiento preventivo de 2 000 horas de servicio.

Tabla XXIII. **Resumen de operaciones de mantenimiento de 2 000 horas de servicio**

<b>Operaciones necesarias para el mantenimiento preventivo de 2000 horas de servicio para los motores Caterpillar 3616</b>			
<b>No.</b>	<b>Operación</b>	<b>Tiempos estándar (Min)</b>	<b>No. De personas por operación</b>
1	Limpieza/cambio de filtros de admisión	42,50	2
2	Cambio de filtros centrífugos de aceite lubricante	16,20	1
3	Limpieza de respiraderos del cárter	32,50	1
4	Evaluar refrigerante del motor - Tomar muestra de refrigerante	6,80	1
5	Lubricar varilla del actuador	6,90	1
6	Probar compuerta de parada de emergencia	9,30	2
7	Revisar/torquear tapones del cigüeñal	84,80	2
8	Medición de turbocompresores	65,30	2
9	Chequeo de vibración del motor	14,60	1
10	Chequeo del damper de vibración por fugas	31,10	1
11	Inspección/cambio de toberas de los turbocompresores	104,20	2
12	Retorque tornillos del múltiples de escape	53,00	2
13	Revisión de motores de arranque	48,50	2
14	Revisión de corona dentada del volante de inercia	26,10	1
15	Lubricación de mecanismo de rotación del motor.	20,20	1
16	Limpieza de indicadores de restricción filtros de aire del motor	16,40	1
17	Mediciones de presiones pico de los cilindros	150,20	1
18	Prueba de estanqueidad en cilindros	120,00	2
19	Limpieza y <i>flushing</i> del actuador	21,50	1
20	Calibración de cremallera de inyector de combustible y fuel <i>setting</i>	92,20	2
21	Calibración de válvulas e inyectores	190,80	2
22	Inspección de rotadores de válvulas	63,40	2
23	Revisión de deflexión del cigüeñal	77,20	2
24	Revisión de engranajes traseros del motor por picaduras.	85,00	2
25	Revisión de engranajes delanteros del motor por picaduras.	56,00	2

Continuación de la tabla XXIII.

26	Revisión de la sincronización de árbol de levas/cigüeñal	59,50	2
27	Revisión del juego axial del cigüeñal	34,70	1
28	Revisión del juego axial de engranajes traseros del motor	44,40	1
29	Revisión de juego axial engranajes delanteros del motor	45,00	1
30	Revisión de juego entre dientes de engranajes traseros del motor.	60,00	1
31	Revisión de juego entre dientes de engranajes delanteros del motor	54,30	1
32	Inspección de cojinetes de bancada #9	394,10	4

Fuente: elaboración propia.

#### **2.8.1.1.7. Mantenimiento de 4 000 horas de servicio**

El servicio de mantenimiento para cada 4 000 horas de servicio de los motores, se compone por todas las operaciones pertenecientes al servicio de 2 000 horas más cinco operaciones las cuales se mencionan a continuación:

- Limpieza de núcleos del postenfriador

El tiempo normal para realizar la limpieza de núcleos del postenfriador es de 993,4 minutos y el tiempo estándar de 1 146,6 minutos.

- Inspección de bancadas centrales del motor

El tiempo normal para realizar la inspección de bancadas centrales del motor es de 1 160 min y el tiempo estándar de 1 500,9 minutos.

- Limpieza de *strainer* del cárter del motor

El tiempo normal para realizar la limpieza de *strainer* del cárter del motor es de 480,8 minutos y el tiempo estándar de 587,8 minutos.

- Cambio de aceite lubricante del motor

El tiempo normal para realizar el cambio de aceite lubricante del motor es de 95,1 minutos y el tiempo estándar de 111,3 minutos.

- Cambio total de inyectores de combustible

El tiempo normal para realizar el cambio total de inyectores de combustible es de 201,1 minutos y el tiempo estándar de 249,9 minutos.

En la tabla XXIV se presenta el resumen de los tiempos estándar de las operaciones pertenecientes al servicio de mantenimiento preventivo de 4 000 horas de servicio.

**Tabla XXIV. Resumen de operaciones de mantenimiento de 4 000 horas de servicio**

<b>Operaciones necesarias para el mantenimiento preventivo de 4000 horas de servicio para los motores Caterpillar 3616</b>			
<b>No.</b>	<b>Operación</b>	<b>Tiempos estándar (Min)</b>	<b>No. De personas por operación</b>
1	Limpieza/cambio de filtros de admisión	42,5	2
2	Cambio de filtros centrífugos de aceite lubricante	16,2	1
3	Limpieza de respiraderos del cárter	32,5	1

Continuación de la tabla XXIV.

4	Evaluar refrigerante del motor - Tomar muestra de refrigerante	6,8	1
5	Lubricar varilla del actuador	6,9	1
6	Probar compuerta de parada de emergencia	9,3	2
7	Revisar/torquear tapones del cigüeñal	84,8	2
8	Medición de turbocompresores	65,3	2
9	Chequeo de vibración del motor	14,6	1
10	Chequeo del dämpfer de vibración por fugas	31,1	1
11	Inspección/cambio de toberas de los turbocompresores	104,2	2
12	Retorquear tornillos del múltiples de escape	53	2
13	Revisión de motores de arranque	48,5	2
14	Revisión de corona dentada del volante de inercia	26,1	1
15	Lubricación de mecanismo de rotación del motor.	20,2	1
16	Limpieza de indicadores de restricción filtros de aire del motor	16,4	1
17	Mediciones de presiones pico de los cilindros	150,2	1
18	Prueba de estanqueidad en cilindros	120	2
19	Limpieza y <i>flushing</i> del actuador	21,5	1
20	Calibración de cremallera de inyector de combustible y fuel <i>setting</i>	92,2	2
21	Calibración de válvulas e inyectores	190,8	2
22	Inspección de rotadores de válvulas	63,4	2
23	Revisión de deflexión del cigüeñal	77,2	2
24	Revisión de engranajes traseros del motor por picaduras.	85	2
25	Revisión de engranajes delanteros del motor por picaduras.	56	2
26	Revisión de la sincronización de árbol de levas / cigüeñal	59,5	2
27	Revisión del juego axial del cigüeñal	34,7	1
28	Revisión del juego axial de engranajes traseros del motor	44,4	1
29	Revisión de juego axial engranajes delanteros del motor	45	1
30	Revisión de juego entre dientes de engranajes traseros del motor.	60	1
31	Revisión de juego entre dientes de engranajes delanteros del motor	54,3	1
32	Inspección de cojinetes de bancada No. 9	394,1	4

Continuación de la tabla XXIV.

33	Limpieza de núcleos de Postenfriador	1 146,6	2
34	Inspección de bancadas centrales del motor	1 500,9	8
35	Limpieza de <i>strainer</i>	587,8	2
36	Cambio de aceite lubricante del motor	111,3	2
37	Cambio total de inyectores de combustible	249,9	4

Fuente: elaboración propia.

### **2.8.2. Evaluación de los tiempos utilizados por el personal durante el desarrollo de las operaciones de mantenimiento**

Es importante evaluar el tiempo disponible en un día de trabajo, ya que es el tiempo que se utiliza propiamente para el desarrollo de las actividades de mantenimiento. Para encontrar el tiempo efectivo es importante conocer que existen demoras inevitables dentro de la jornada de trabajo y que se vuelven necesarias tanto para las operaciones como para el buen desenvolvimiento del personal, sin embargo, existen demoras evitables que como su nombre lo indica se pueden evitar mejorando la utilización principalmente de los recursos con los que cuenta el Departamento de Mantenimiento Mecánico.

#### **2.8.2.1. Jornada de trabajo**

La jornada de trabajo utilizada para realizar el seguimiento a las actividades, se calculó de la siguiente forma:

$$J_T = \frac{9 \text{ horas}}{\text{día}} * \frac{60 \text{ min}}{\text{hora}} = \frac{540 \text{ min}}{\text{día}}$$

Por lo que la jornada de trabajo se encuentra conformada por 480 minutos al día.



### **2.8.2.2. Demoras inevitables**

Según observación en el campo de estudio se detectaron inconvenientes, que a pesar de producir retrasos en las operaciones, son necesarios para poder ejecutar las tareas de mantenimiento, dentro de las cuales se pueden mencionar:

- Preparación del inicio de la jornada de trabajo

Antes de empezar cualquier tipo de mantenimiento en los motores, es necesario preparar todo el equipo y herramienta que se utiliza dependiendo del tipo de mantenimiento que se vaya a ejecutar. Se utiliza herramienta propia del personal y herramienta almacenada en bodega, lo que se requiere de un tiempo estimado para desarrollar dicha actividad.

Por otra parte, si la operación a ejecutar lo amerita es necesaria la requisición de materiales como: ropa usada para limpieza, diesel, lija, empaques, pegamento, grasa, etc., lo que también requiere de un tiempo adicional para la búsqueda y requisición de los mismos.

- Notificación sobre la ejecución del mantenimiento

Para ejecutar el mantenimiento es necesario que el supervisor mecánico de la orden al personal y designe las tareas, por lo que esta actividad requiere de tiempo necesario e importante para ejecutar las operaciones de mantenimiento de forma organizada.

Además, es importante notificar a los otros departamentos sobre los mantenimientos, tanto para la disposición de determinado equipo como para seguridad en la ejecución de las operaciones de mantenimiento.

- Requisición de repuestos

La compra de repuestos necesarios para el mantenimiento de los motores se realiza por medio de departamento de compras de SIDEGUA, estos son almacenados en la bodega central para que posteriormente se trasladen a la bodega del CEE por medio de requisiciones por escrito previamente autorizadas por el supervisor o el gerente del CEE.

La requisición de repuestos en algunas ocasiones se vuelve una limitante, desde el punto de vista de tiempo, ya que implica la aplicación de pequeños trámites administrativos, traslado de repuestos de una bodega a otra y sumado a esto la inexistencia de determinado repuesto tanto en la bodega de la planta como en bodega central.

El cálculo de las demoras inevitables para los diferentes mantenimientos preventivos de los motores Caterpillar 3616, se realizó mediante una estimación promedio del tiempo utilizado en; preparar el inicio de la jornada de trabajo, notificar el tipo de mantenimiento a realizar y la requisición de repuestos. (Ver tabla XXV).

Tabla XXV. **Demoras inevitables en las operaciones de mantenimiento**

<b>Demoras inevitables en la ejecución de los distintos tipos de mantenimiento preventivo en los motores Caterpillar 3616</b>		
<b>Demoras Inevitables</b>		<b>Tiempo (min)</b>
✓	Preparación del inicio de la jornada de trabajo	15
✓	Aviso sobre el mantenimiento a los supervisores	5
✓	Manejo de repuestos.	15
<b>Tiempo total</b>		<b>35</b>

Fuente: elaboración propia.

### **2.8.2.3. Demoras evitables**

Son aquellas actividades que producen retrasos en las operaciones y que se pueden evitar mejorando la gestión de los recursos. Sin embargo, depende en gran parte de la actitud y hábito del personal técnico perteneciente al departamento. Dentro de las demoras evitables se pueden mencionar:

- Búsqueda de herramienta y equipo

El deterioro por uso y el extravío son uno de los principales culpables de la falta de herramienta en el taller, estos son causados por el uso inapropiado y por descuido del personal.

Además, existen ocasiones que la herramienta se encuentra ocupada por los otros departamentos y provoca espera para su utilización, todo esto causado por la escasez de herramienta y equipo.

- Asuntos personales de los trabajadores

El personal posee permiso para tomar breves descansos durante la jornada, donde pueden atender asuntos personales y otros.

A continuación se muestran la estimación de las demoras evitables en los diferentes mantenimientos preventivos de los motores, tomando en cuenta principalmente, la búsqueda de herramienta y equipo, asuntos personales de los trabajadores y otros (ver tabla XXVI).

Tabla XXVI. **Demoras evitables en las operaciones de mantenimiento**

<b>Demoras evitables en la ejecución de los distintos tipos de mantenimiento preventivo en los motores Caterpillar 3616</b>		
<b>Demoras evitables</b>		<b>Tiempo (min)</b>
✓	Búsqueda de herramienta y equipo	15
✓	Asuntos personales de los trabajadores y otros	10
<b>Tiempo total</b>		<b>25</b>

Fuente: elaboración propia.

#### **2.8.2.4. Análisis de demoras**

En las operaciones se presentan demoras que aumentan el tiempo de ejecución en los distintos mantenimientos y como consecuencia reducen la disponibilidad de las unidades generadoras, por lo que es importante programarlas y tomarlas en cuenta en el tiempo estándar de las operaciones, con la finalidad de ajustar el tiempo de ejecución lo más real y acertadamente posible.

Teniendo siempre presente que el mejorar la gestión de los recursos traerá como beneficio la reducción de las demoras tanto evitables como inevitables.

Para establecer el tiempo estándar de las operaciones, las demoras se tomaron como un tiempo adicional y constante para los diferentes tipos de mantenimiento preventivo (ver tabla XXVII).

Tabla XXVII. **Demoras inevitables y evitables**

<b>Demoras inevitables y evitables para la realización de mantenimiento preventivo en los motores Caterpillar 3616</b>		
<b>Demoras inevitables</b>		<b>Tiempo (min)</b>
✓	Preparación del inicio de la jornada de trabajo	15
✓	Aviso sobre el mantenimiento a los supervisores	5
✓	Manejo de repuestos	15
<b>Demoras evitables</b>		
✓	Herramienta y equipo	15
✓	Asuntos personales de los trabajadores y otros	10
<b>Tiempo total</b>		<b>60</b>

Fuente: elaboración propia.

### 2.8.2.5. Tiempo efectivo

El cálculo del tiempo efectivo se realiza tomando en cuenta las demoras evitables e inevitables dentro de la jornada de trabajo, para lo cual se utiliza la ecuación 5.

$$T_E = J_T - (D_I + D_E) - T_C \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

$T_E$  = tiempo efectivo

$J_T$  = jornada de trabajo

$D_I$  = demoras inevitables

$D_E$  = demoras evitables

$T_C$  = tiempo de comida

Utilizando la información recabada en el campo de estudio se procede a calcular tiempo efectivo en una jornada de trabajo.

Datos:

$J_T = 480$  min

$D_I = 35$  min

$D_E = 25$  min

$T_C = 45$  min

Sustituyendo en la ecuación 5 se obtiene el siguiente resultado:

$$T_E = J_T - (D_I + D_E) - T_C =$$

$$T_E = 540 - (35 + 25) - 45 = 435 \text{ min/día}$$

Por lo que el tiempo efectivo para el desarrollo de las actividades propias de mantenimiento es de 435 minutos en una jornada de trabajo de 9 horas diarias de lunes a jueves y de 375 minutos los días viernes.

### **2.8.3. Recursos materiales, herramienta y equipo**

En las distintas actividades que forman parte de las operaciones de mantenimiento se requiere del uso de recursos materiales, herramienta y equipo adecuado para lograr la eficiencia y eficacia de las mismas. Durante el periodo de estudio se identificaron los recursos utilizados con mayor frecuencia y que son de suma importancia para dar un mantenimiento adecuado y de esta forma lograr el objetivo de mantener disponibles en todo momento los motores.

A continuación se muestra el nombre, descripción y especificaciones del equipo utilizado para el mantenimiento de los motores Caterpillar 3616. (ver tabla XXVIII)

Tabla XXVIII. Descripción de equipo

DESCRIPCIÓN DE EQUIPO UTILIZADO EN MANTENIMIENTO MECÁNICO PROGRAMADO			
# de parte	Nombre	Descripción	Especificaciones
	Equipo para lavado de turbo	Equipo utilizado para realizar el Lavado de los turbos de los motores Caterpillar 3616.	Manómetro de presión con rango de 0 - 100 psi. Medidor de flujo con rango de 0 - 10 GPM Mangueras, válvulas de paso
8T-9293	Torquimetro	Equipo utilizado para aplicar torque especificado por el fabricante a tornillos o tuercas.	Raíz 1/2" Rango de torque (40 ft-lb a 252 ft-lb) Trinquete flexible o Cabeza flexible Longitud de 56.19 cm o 22 1/8" Precisión ± 6 por ciento
	Sensor de vibración	Medir la vibración de los motores tanto en la parte frontal, posterior del motor y generador en puntos específicos, descritos en la hoja de datos de la operación.	Medición de vibración en unidades de longitud mils
4C-9940	Barreno o Taladro eléctrico con mango	Equipo utilizado generalmente para hacer girar el cigüeñal a través de la caja reductora del motor o <i>Barring device</i> .	Potencia 120 VAC, 25-60 Hz monofásico Velocidad de rotación a 500 RPM Salida de raíz 1/2 "
	Manómetro de presión	Manómetro de presión utilizado para medir presión de aire y tiempo de perdida de presión dentro de los cilindros.	Rango de 0 a 160 psi (0 a 1100 kpa) Con adaptación de válvula de paso Tubería con rosca 1 1/8" NC
	Manguera para aire comprimido	Manómetro de presión utilizado para medir presión de aire y tiempo de escape de presión dentro de los cilindros.	Manguera para aire D 1/4" x 300 psi



Continuación de la tabla XXVIII.

# de parte	Nombre	Descripción	Especificaciones
4C-6594	Equipo de calibración de inyectores de combustible y válvulas	Se utiliza para probar y ajustar con precisión el inyector y la dimensión de distribución de combustible al igual que calibrar la abertura de válvulas	Equipo compuesto por: Accesorio de montaje Reloj comparador con rango de 0 a 100, unidad más pequeña 0.01mm Pieza de ajuste Llave de ajuste, juego de válvulas Indicador de contacto Medidor de calibración de Rack
	Reloj comparador para interiores	Reloj comparador utilizado para medir la deflexión del cigüeñal	Compuesto con accesorios individuales para poder realizar la medición (juego de varillas)  Unidad más pequeña 0.02 mm, rango de 0 - 50
	Equipo de sincronización de tiempo de motor	3 pines utilizados para comprobar la sincronización del tiempo de los motores Caterpillar 3616	3 pines cilíndricos
	Reloj comparador para exteriores	Se utiliza para medir ajustes en mecanismos, generalmente el juego axial de los mismos.	Rango de $\pm 0$ a 50, Unidad más pequeña 0.001 " Con Base magnética para su ajuste
3S-6224	Bomba hidráulica	Se utiliza para accionar el equipo perno tensor.	Equipo compuesto por: manómetro cojinetes mangueras  rango de Presión de 0 a 10,000 psi (0 a 70 kpa)
4C-5850	Equipo perno-tensor	Utilizado para tensionar los pernos de culata y bancada.	Equipo compuesto por: copa de roscado (perno de bancada) Copa de roscado (cabeza de cilindro) Pedestal (cabeza de cilindro) Pedestal (perno de bancada)

Continuación de la tabla XXVIII.

# de parte	Nombre	Descripción	Especificaciones
			Espaciadores Camisa manija para girar tuerca pernos Collar retenedor Grupo de cilindros
4C-6786	Bomba neumática	Bomba de drenado de aceite contenido en el cárter de los motores	Fluido máximo de entrega 145 GPM Boquilla de entra 2" Boquilla de salida 2" Rango de presión de aire 0.7 - 8.4 Bar (10 -120 psi) Temperatura Máxima de fluido 100°C Altura máxima de levante 20'
6V-6080	Equipo multitorque o multiplicador	Equipo utilizado para multiplicar el torque para <i>Stud</i> o pernos de bancada	Entrada nominal de 1/2" Salida nominal de 1.0 " Relación de potencia 18.5 a 1 Capacidad nominal de entrada 177 ft-lb (240 N.m) Capacidad nominal de salida 3200 ft-lb (4335 N.m) peso 18 Lb (8.2 kg)
134-0932	Extractor de cojinetes de bancada y biela	Utilizado para remover e instalar cojinetes de bancada del cigüeñal	Anchura de la hoja 90 mm (3.54") Grosor de la hoja 6.35 mm (0.250") Diámetro del pin 19.48 mm (0.767")
	Lámparas de pedestal	Utilizadas para la iluminación cuando se trabaja dentro del block de los motores	Lámparas eléctricas de pedestal
	Extensión eléctrica y ventilador	equipo utilizado para proveer de ventilación en el ambiente de trabajo	

Continuación de la tabla XXVIII.

# de parte	Nombre del equipo	Descripción	Especificaciones
	Manguera para drene	Manguera para drene de "Coolant" utilizado en los motores	Diámetro de 3/4"
	Puente Grúa	Utilizado para levantamiento de cargas	
	Slingas	Equipo utilizado para facilitar el izaje y movimiento de las cargas	Soportar grandes cargas Flexibles
141-6993	Cepillo eléctrico	utilizado para limpieza o pulido de partes mecánicas	120 VAC, 25-60 HZ, monofasico/120 VDC 6.8 amperios 1000 RPM
	Montacargas	Equipo utilizado para el traslado de repuestos del cuarto de maquinas al taller de mantenimiento mecánico	
	Bomba hidráulica manual	Bomba utilizado para la prueba hidrostática en diferentes componentes mecánicos, como intercambiadores de calor o <i>aftercooler</i>	
4C-5746	Eyector o pistola de limpieza a presión	Equipo utilizado para limpieza de partes por medio de una mezcla de aire y solvente	
	Equipo para filtrado de aceite lubricante	Equipo utilizado para filtrar el aceite lubricante de los motores	
145-5190	Soporte de pistón	Utilizado para apoyar con seguridad el pistón y biela en el momento de la sustitución del cojinete de biela.	Construido de aluminio ligero para su fácil instalación Material estriado para un agarre firme
	Medidor de presiones pico, kistler tipo 2513A	Permite el análisis estadístico de presiones pico de más de 100 ciclos de combustión	Salida análoga de 0... 2.5 V 0.... 250 bar

Continuación de la tabla XXVIII.

# de parte	Nombre del equipo	Descripción	Especificaciones
9U-5007	Torquimetro	Equipo utilizado para aplicar torque especificado por el fabricante a tornillos o tuercas.	Rango min y máx. ( 100 ft.lb - 600 ft.lb) Raíz 3/4" Rango de precisión $\pm 6\%$ Cabeza fija Longitud 109.22 cms (45")

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXIX se observa la descripción y especificaciones de los materiales e insumos utilizados con mayor frecuencia en las operaciones de mantenimiento preventivo.

Tabla XXIX. **Descripción de materiales e insumos**

<b>DESCRIPCIÓN DE MATERIAL E INSUMOS UTILIZADO EN MANTENIMIENTO MECÁNICO PROGRAMADO</b>			
<b>código</b>	<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>Especificaciones</b>
	Pre filtros (guata)	lamina gruesa de algodón, se colocan rodeando al filtro de admisión de aire de los motores.	Rollos de 1" grosor X 50m largo X 0.60m Ancho
MASC6022	Mascarilla	Utilizada para realizar trabajos donde se expone a contaminación en vías respiratorias.	mascarilla 3M
MASK0002	Masking tape	Cinta adhesiva	cinta adhesiva de 1" de ancho.
	Ropa usada	Ropa usada o "paca" utilizada como trapos para limpieza	Se encuentran en pacas de ropa usada
	Diesel	Combustible utilizado para limpieza de mecanismos y lubricación	Proporcionado por galón

Continuación de la tabla XXIX.

	Cantoncillo	Cartoncillo utilizado para reacondicionamiento de filtros de centrífugos de aceite	
ACEI7027	Aceite	Aceite lubricante para motor TARO 40 XL 40	Aceite utilizado para lubricar mecanismos pertenecientes al motor y que han sido reacondicionados o reparados.
	Bandejas gasolina	Utilizadas para evitar derrame en reparaciones Utilizado para limpieza de piezas y funcionamiento de montacargas	Proporcionado por galón
PINT7003	Pintura	Amarillo Caterpillar	Pintura por Galón
	Brocha	Utilizado para aplicación de pintura o limpieza de piezas	Medidas de 1", 2", 4" de ancho.
	Thinner	Líquido solvente utilizado para limpieza de piezas.	Proporcionado por galón
	Grasera	Instrumento utilizado para engrasar en dispositivos articulados.	
	Grasa para cojinetes	Utilizada para lubricar mecanismos, colocar oring's y uso general en mantenimientos	Grasa para cojinetes shell S2 V220-2
6I4545	Oring's tapaderas laterales de block	Utilizado para sellar la superficie entre block del motor y tapaderas laterales.	Anillo torico
7L-6443 8C-8491 2N-2766	Tornillos 3/8" para maniful de escape	Tornillos utilizados para sostener los maniful de escape de los motores	Tornillo 3/8", Arandela y rosca
136-4185	Tornillos 1/2" para manifuls de escape	Tornillos utilizados para sostener los maniful de escape de los motores	Tornillo de 1/2"
136-7730	Empaque cuadrado para Maniful de escape	Utilizado para evitar fugas de gases de escape	
134-5643	Empaque redondo para Maniful de escape	Utilizado para evitar fugas de gases de escape	

Continuación de la tabla XXIX.

2W-5023	Empaque para maniful de paso de agua	Utilizado para evitar fugas de agua	
2W0439	Empaque para campana de admisión del turno	Utilizado para evitar succión de aire no filtrado	
	Marcador permanente  Aceite SAE 90	Utilizado para realizar marcas  Utilizado para lubricar mecanismos con engranajes o cajas reductoras de velocidad.	
6V-3602	Oring's tapaderas de válvulas  Ácido DG-90	Utilizado para sellar la superficie y evitar fugas de aceite lubricante  Ácido utilizado para limpieza de inyectores	Anillo torico
	Toneles	Recipiente utilizado para almacenar líquidos del motor	
LIIA7001 LIIA7002	Lija	Utilizado para pulir piezas, como lo son bancadas Centrales y de biela, cigüeñal, entre otros	Lija goodson Grit 400 estilo cinta ó Fandely  Lija goodson Grit 320 estilo cinta ó Fandely
129-4054	Cojinetes de bancada	utilizados como material sacrificio en el desgaste sufrido entre los muñones del cigüeñal	
227-2902	Cojinetes de biela	Utilizados como material de sacrificio en el desgaste sufrido entre los muñones del cigüeñal y biela.	
	Tira o lazo	Utilizado para sostener o amarrar piezas	
MISC 7095	Asbesto laminado	Utilizado para realizar empaques de compuertas.	Lámina de asbesto 3/16"
105-9741	Filtros de admisión	Filtros utilizados para limpieza del aire de admisión de los motores	
ACID7001 ACID7002	Ácido limpiador SC-A y SC-B	Acido limpiador de núcleos de aftercooler.	Proporcionado por Caneca
SILI7001	Silicón	Utilizado generalmente para sellas dispositivos para eliminar fugas. como por ejemplo: en los aftercooler.	Silicón rojo para pistola

Continuación de la tabla XXIX.

	Esponja limpiadora (scott)	Utilizada para la limpieza de piezas	
	Reglas de madera	Utilizada para limpieza del Carter del motor	
SP-3931	Anti- seize loctite (anti agarrotamiento)	Se utiliza para evitar el agarrotamiento entre piezas	
6V-1179 8T-0568 061-9455 4W-3182	Set de Oring's para inyectores	Set de Oring's necesarios para el cambio de inyectores.	
	Desengrasante engine cleaner	Utilizado para la Limpieza de partes	proporcionado por tonel/barril
	Heavy cleaner	Utilizado para la Limpieza de partes	Proporcionado por tonel/barril
	Alkemy MC-89	Utilizado para la limpieza de partes	proporcionado por tonel/barril

Fuente: elaboración propia.

#### **2.8.4. Propuesta de mejora en las operaciones de mantenimiento**

Una vez realizado el estudio de tiempos de cada una de las operaciones de mantenimiento preventivo, de detectar las demoras evitables e inevitables, de definir el material, equipo, herramienta que se utiliza y la cantidad de personal con la que se cuenta. Es importante programar los diferentes mantenimientos, analizar las situaciones adversas y realizar los cambios o mejoras en la utilización de los diferentes recursos para lograr la máxima eficiencia.

### **2.8.4.1. Mejora en la programación de mantenimiento**

Es importante programar el mantenimiento tomando en cuenta simultáneamente todos los factores, principalmente; el factor tiempo y recurso humano disponible, de tal forma que se pueda llegar a un tiempo estándar general por cada tipo de mantenimiento y así realizar las operaciones al menor tiempo posible, con la finalidad de mantener las unidades generadoras disponibles dentro del tiempo estipulado.

#### **2.8.4.1.1. Programación del mantenimiento**

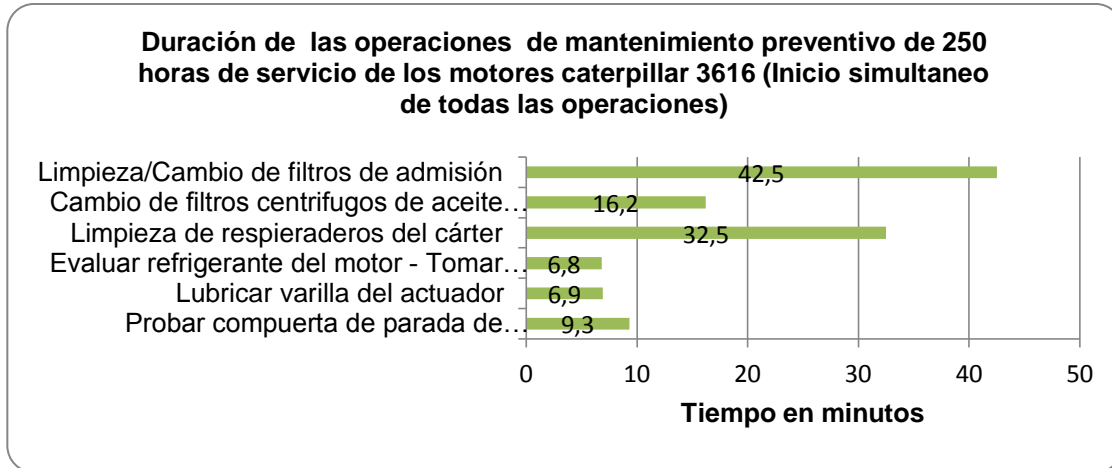
Para programar cada una de las operaciones de mantenimiento preventivo, se utilizó el diagrama de Gantt indicando las actividades que las conforman y el tiempo necesario para desarrollarlas. Posteriormente se ordenaron en función de la mano de obra requerida y la viabilidad de su ejecución y así encontrar por medio de ruta crítica el tiempo de la operación, a este tiempo se le adicionó las demoras y se estableció el tiempo estándar definitivo por cada mantenimiento.

- Programación de mantenimiento de 250 horas de servicio

Utilizar únicamente cuatro personas de tal forma que dos personas realicen en primer lugar la operación No.1 y No. 6 otra persona que realice las operaciones No.2 y No.4, la última persona que realice la actividad No.3 y No.5. (Ver figura 15).



Figura 15. **Duración de operaciones de mantenimiento de 250 horas servicio**



Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta las demoras evitables e inevitables, se ha estimado un tiempo de demoras total de 60 minutos por lo que el tiempo estándar para realizar el mantenimiento queda de la siguiente forma:

Tabla XXX. **Tiempo estándar definitivo para el mantenimiento de 250 horas de servicio**

<b>Tiempo estándar de la operación de mantenimiento de 250 horas de servicio para los motores Caterpillar 3616</b>	
<b>Operaciones</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Realizar todas las operaciones de mantenimiento	51,80
Demoras evitables e Inevitables	60,00
<b>TIEMPO ESTÁNDAR</b>	<b>111,80</b>

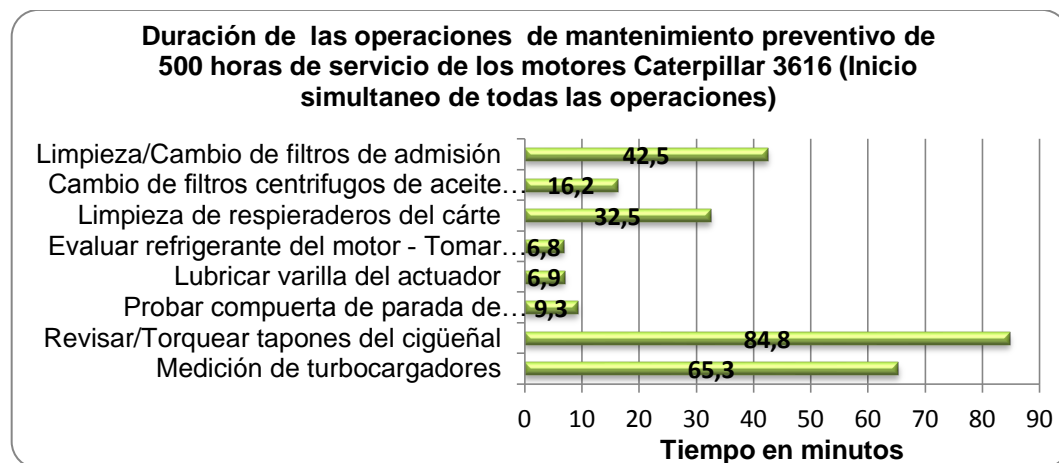
Fuente: elaboración propia.

Por lo que el tiempo estándar para realizar el mantenimiento de 250 horas de servicio en los motores Caterpillar 3616 es de 111,80 minutos o 1 hora con 51,8 minutos, tomando en cuenta que dicho mantenimiento se realiza con 4 personas.

- Programación de mantenimiento de 500 horas de servicio

Utilizar 7 personas de tal forma que dos personas realicen la operación No.1 y No.6, una persona que realice las operaciones No. 2,3,4 y 5, dos personas que realicen la operación No. 7 y dos personas que realicen la operación No. 8. (Ver figura 16).

Figura 16. **Duración de operaciones de mantenimiento de 500 horas servicio**



Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta las demoras evitables e inevitables el tiempo estándar para realizar el mantenimiento queda de la siguiente forma:

Tabla XXXI. **Tiempo estándar definitivo para el mantenimiento de 500 horas de servicio**

<b>Tiempo estándar de la operación de mantenimiento de 500 horas de servicio para Los motores Caterpillar 3616</b>	
<b>Operaciones</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Realizar todas las operaciones de mantenimiento	84,80
Demoras evitables e inevitables	60,00
<b>TIEMPO ESTÁNDAR</b>	<b>144,80</b>

Fuente: elaboración propia.

El tiempo estándar para realizar el mantenimiento de 500 horas de servicio en los motores Caterpillar 3616 es de 144,4 minutos o 2 horas con 24,4 minutos, tomando en cuenta que dicho mantenimiento es realizado con siete personas.

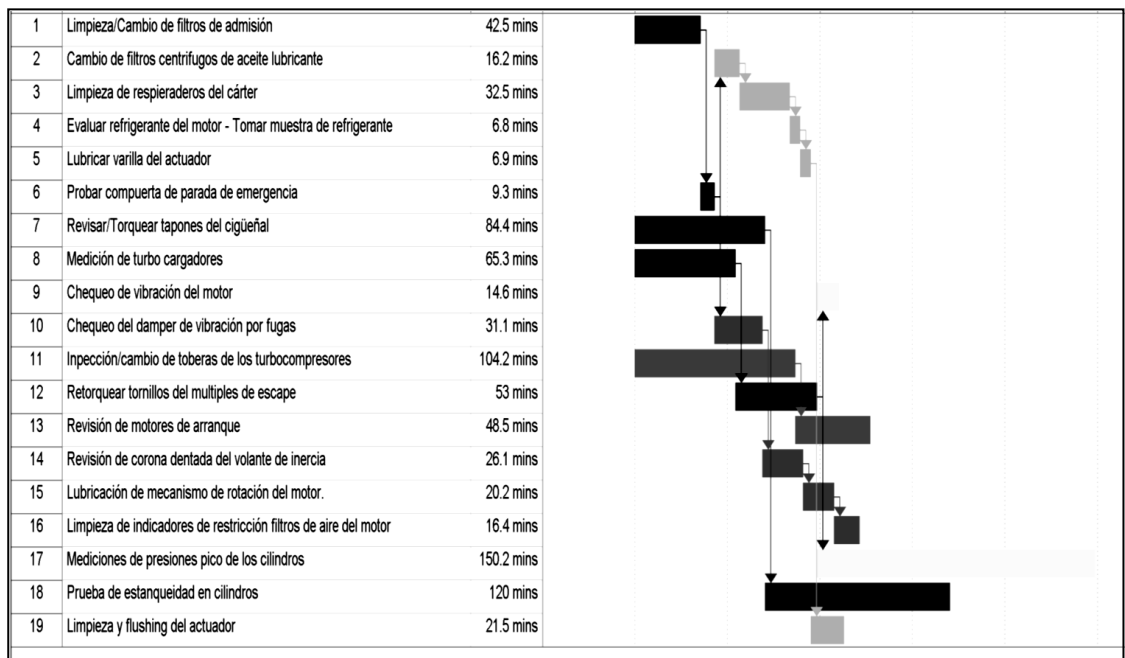
- Programación de mantenimiento de 1 000 horas de servicio

Utilizar seis personas de tal forma que dos personas realicen la operación No.1 y No.6 en conjunto, posteriormente estas dos personas trabajen de manera individual, uno de ellos las operaciones No. 2, 3, 4, 5 y 19 y la otra las operaciones No. 10, 14, 15 y 16.

La siguiente pareja inicia a trabajar la operación No.8 y 12, posteriormente estas dos personas trabajan de manera individual, la primera realiza la operación No. 9 y la segunda la operación No. 17.

La tercera pareja de trabajo debe de realizar las operaciones No. 7 y 18 y la cuarta pareja de trabajo debe de realizar las operaciones No.11 y 13. (Ver figura 17).

**Figura 17. Programación de operaciones de mantenimiento de 1 000 horas de servicio**



Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta las demoras evitables e inevitables, el tiempo estándar para realizar el mantenimiento queda de la siguiente forma. Ver tabla XXXII.

Tabla XXXII. **Tiempo estándar definitivo para el mantenimiento de 1 000 horas de servicio**

<b>Tiempo estándar de la operación de mantenimiento de 1 000 horas de servicio para los motores Caterpillar 3616</b>	
<b>Operaciones</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Realizar todas las operaciones de mantenimiento	204,80
Demoras Evitables e Inevitables	60,00
<b>TIEMPO ESTÁNDAR</b>	<b>264,80</b>

Fuente: elaboración propia

El tiempo estándar para realizar el mantenimiento de 1 000 horas de servicio en los motores Caterpillar 3616 es de 264,8 minutos o 4 horas con 24,8 minutos, tomando en cuenta que dicho mantenimiento es realizado con 8 personas.

- Programación de mantenimiento de 2 000 horas de servicio

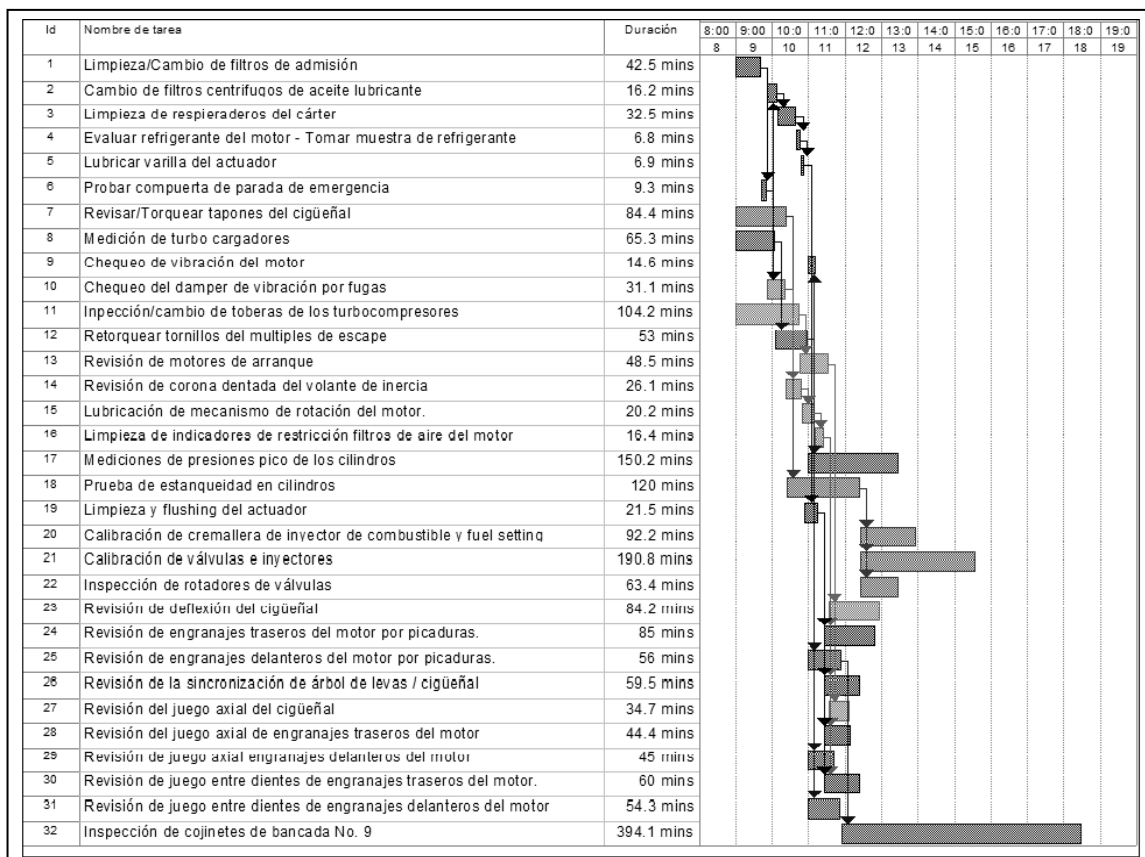
Utilizar 8 personas para el servicio de 2 000 horas de tal forma que dos personas realicen en conjunto la operación No.1 y No.6, posteriormente estas trabajen de forma individual, la primera las operaciones No. 2, 3, 4, 5 y 19 y la otra las operaciones No. 10, 14, 15 y 16, luego trabajar en conjunto las operaciones No. 24,26, 28 y 30.

La segunda pareja debe realizar la operación No.8 y 12, luego trabajar de forma individual, la primera realiza la operación No. 9 y la otra la operación No. 17. Nuevamente se vuelven a unir para trabajar las operaciones No.25, 29 y 31.

La tercera pareja debe de realizar la operación No.7 y 18 para posteriormente trabajar las operaciones 20, 21 y 22 de forma simultánea debido a que poseen algunos procedimientos en común.

La cuarta pareja debe realizar las operaciones No.11 y 13, para posteriormente trabajar las operaciones 23 y 27 de forma simultánea debido que poseen algunos procedimientos en común. Posteriormente se procede a trabajar la operación No. 32 con cuatro personas. (ver figura 18)

Figura 18. Programación de operaciones de mantenimiento de 2 000 horas de servicio



Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta las demoras evitables e inevitables, el tiempo estándar para realizar el mantenimiento queda de la siguiente forma:

Tabla XXXIII. **Tiempo estándar definitivo para el mantenimiento de 2 000 horas de servicio**

<b>Tiempo estándar de la operación de mantenimiento de 2 000 horas de servicio para los motores Caterpillar 3616</b>	
<b>Operaciones</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Realizar todas las operaciones de mantenimiento	568,80
Demoras evitables e inevitables	60,00
<b>TIEMPO ESTÁNDAR</b>	<b>628,80</b>

Fuente: elaboración propia

El tiempo estándar para realizar el mantenimiento de 2 000 horas de servicio en los motores Caterpillar 3616 es de 628,8 minutos o 10 horas con 28,8 minutos, tomando en cuenta que dicho mantenimiento es realizado con 8 personas.

- Programación de mantenimiento de 4 000 horas de servicio

Utilizar 8 personas para el servicio de tal forma que dos personas realicen en conjunto la operación No.1 y No.6, posteriormente estas dos personas trabajen de manera individual, la primera con las operaciones No. 2, 3, 4, 5 y 19 y la segunda las operaciones No. 10, 14, 15 y 16, luego realizar en conjunto las operaciones 24,26, 28, 30, 35,36 y 34.

La segunda pareja debe realizar la operación No.8 y 12, posteriormente trabajar de manera individual, la primera realiza las operaciones No. 9 y la otra

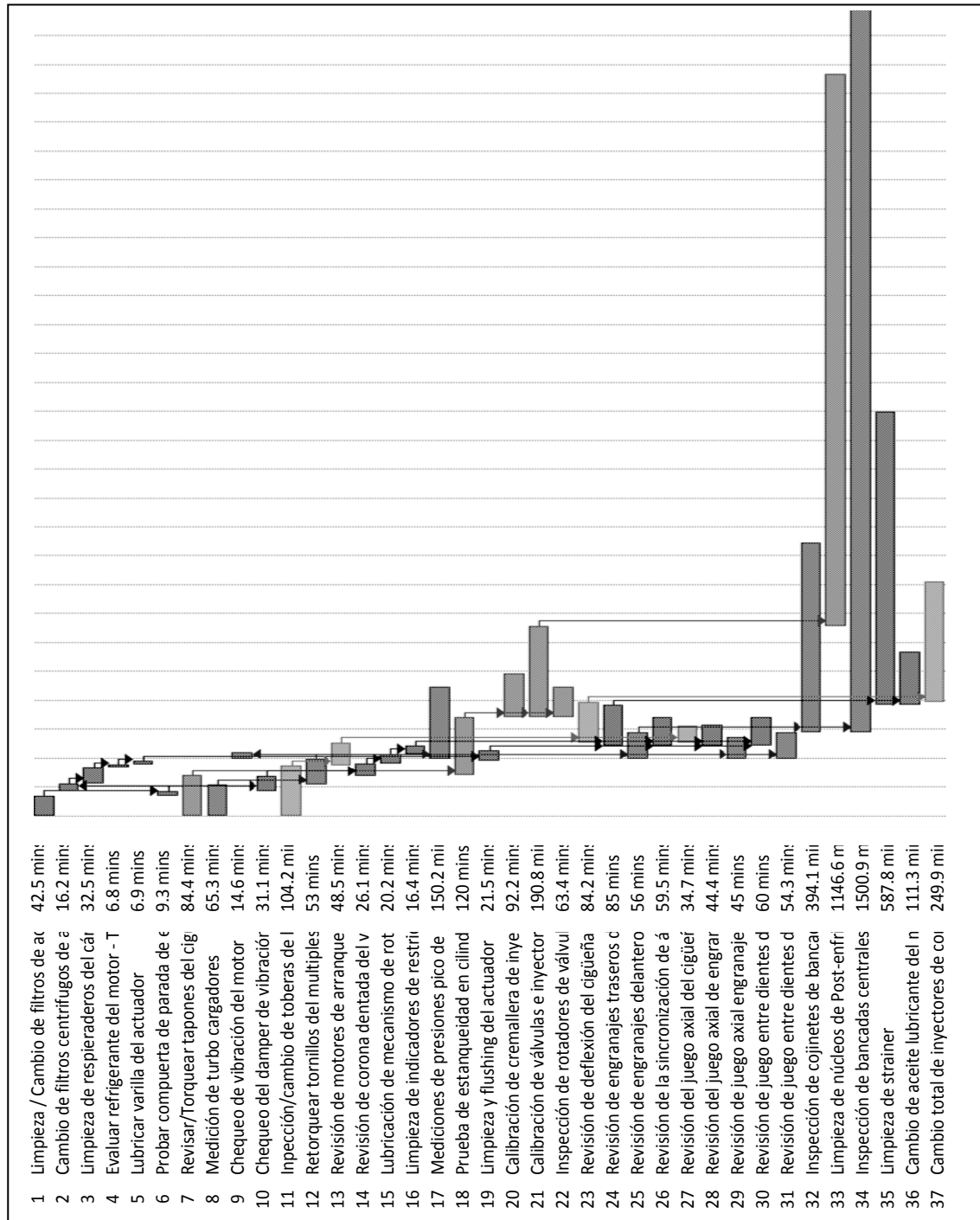
la operación No. 17. Nuevamente se vuelven a unir para trabajar las operaciones 25, 29 y 31, 32 y 34.

La tercera pareja de trabajo debe de realizar las operaciones No. 7 y 18, posteriormente trabajar las operaciones No. 20, 21 y 22 de forma simultánea debido a que poseen algunos procedimientos en común. Luego realizar las operaciones No. 33 y 34.

La cuarta pareja debe realizar las operaciones No.11 y 13, posteriormente trabajar las operaciones No. 23 y 27 de forma simultánea debido que poseen algunos procedimientos en común, luego realizar la operación No 37 y 34. (Ver figura 19).



Figura 19. Programación de operaciones de mantenimiento de 4 000 horas de servicio



Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta las demoras evitables e inevitables, el tiempo estándar para realizar el mantenimiento queda como se describe en la tabla XXXIV.

Tabla XXXIV. **Tiempo estándar definitivo para el mantenimiento de 4 000 horas de servicio**

<b>Tiempo Estándar de la operación de mantenimiento de 4 000 horas de Servicio para Los Motores Caterpillar 3616</b>	
<b>Operaciones</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Realizar todas las operaciones de mantenimiento	1 675,20
Demoras Evitables e Inevitables	60,00
<b>TIEMPO ESTÁNDAR</b>	<b>1 735,20</b>

Fuente: elaboración propia.

El tiempo estándar para realizar el mantenimiento de 4 000 horas de servicio en los motores Caterpillar 3616 es de 1 735,20 minutos o 28 horas con 55 minutos, tomando en cuenta que dicho mantenimiento es realizado con 8 personas.

#### **2.8.4.1.2. Control de horas extras**

Una vez programadas las operaciones de mantenimiento preventivo, la utilización de horas extras depende exclusivamente de la necesidad de disponibilidad de la unidad y es decisión del supervisor el otorgarlas.

Para el negocio energético no agrega valor el disminuir las horas extras de trabajo, ya que la influencia en los costos es insignificante comparado con los costos de tener una unidad indisponible fuera del periodo otorgado para su mantenimiento.

### 2.8.4.2. Mejora en la utilización de recursos

Los recursos son de suma importancia en la ejecución de las diversas operaciones de mantenimiento, ya que de estos depende en gran medida la calidad del servicio que se le da a los motores para su conservación, funcionamiento y disponibilidad.

Para mejorar la utilización de los recursos se organizó el material, herramienta y equipo por cada tipo de mantenimiento a realizar con la finalidad de contabilizar recursos y programar su utilización y como consecuencia evitar demoras injustificadas. (Ver tabla XXXV)

Tabla XXXV. **Recursos utilizados para mantenimiento preventivo**

HERRAMIENTA, EQUIPO Y MATERIALES UTILIZADOS PARA EL MANTENIMIENTO MECÁNICO PROGRAMADO EN LOS MOTORES CATERPILLAR 3616					
Tipo	#	Operación	Herramienta	Equipo	Materiales
<b>SERVICIO DE 250 HORAS</b>	1	Lavado de turbos	Llave ajustable	Caja de control para lavado de turbo	
	2	Limpieza de filtros de aire	Copa de profundidad raiz 3/4"	Manguera para aire de D 1/4" Soplete o boquilla	Prefiltros de guata filtros de admisión (en caso que se pueda) Masking tape Mascarilla 3M
	3	Limpieza de filtros centrifugos (reacondicionar)	Desarmador plano		Diesel, cartoncillo, Aceite Taro XL 40 XL
	4	Cambio de filtros centrifugos	Llave mixta 7/16"		Recipiente o bandeja Ropa usada (limpiador)

Continuación de la tabla XXXV.

<b>SERVICIO DE 250 HORAS</b>	5	Cambio de respiraderos del cárter	Desarmador plano		Ropa usada (limpiador) Recipiente o bandeja
	6	Limpieza de respiraderos del Carter (reacondicionamiento)		Manguera para aire de D 1/4" y soplete o boquilla	Solvente limpiador (gasolina) Pintura color amarillo Caterpillar Brocha 1" Thinner
	7	Lubricar varilla del actuador		Engrasadora	Grasa para cojinetes
	8	Probar compuerta parada de emergencia	Llave ajustable		
<b>SERVICIO DE 500 HORAS</b>	9	Torque de taponés de cigüeñal	Copa Allen de 14mm Extensión corta de 1/2"  Berbiquí de 1/2" Copa de 9/16"  Llave de 9/16" Taladro o barreno Copa 1 1/8" Linterna	Torquimetro de raíz 1/2" flexible	Grasa para cojinetes Ropa usada (limpiador)  Oring's tapaderas laterales de block
	10	Medición de turbos	Berbiquí de 1/2" Copa de 3/4" raíz 1/2" set extensiones de 1/2" Llave Mixta de 9/16" Llave Mixta de 3/4" Desatornillador plano grande Linterna	Reloj comparador	Hoja de registro de datos

Continuación de la tabla XXXV.

<b>SERVICIO DE 1 000 HORAS</b>	11	Medición de vibración grupo generador		Sensor de vibración	Hoja de registro de datos
	12	Revisión del damper de vibración por fuga de aceite.	Rach de raíz 1/2" Copa 3/4" y raíz 1/2" Llave mixta de 3/4" Linterna		
	13	Limpiar/cambiar toberas de turbos	Llave mixta de 9/16" Copa estrillada 9/16" raíz 1/2" Maneral de raíz 1/2" Rach de raíz 1/2" Set de extensiones de 1/2"		Tobera reacondicionada Tornillos de repuesto  Empaques para maniful de escape  Ropa usada (limpiador)
			Copa de 18 mm raíz 1/2" Llave mixta de 18 mm  Copa de 3/4" y raíz 1/2" Llave 3/4" y raíz 1/2" Prybar (pata de cabro) Martillo Desarmador grande plano Linterna		EPP
	14	Revisar aisladores de vibración			
	15	Retornear tornillos del multiple de escape	Copa 3/4" raíz 1/2" Set de extensiones de 1/2"	Torquimetro de cabeza flexible	EPP
	16	Revisar motores de arranque	Llave 9/16" y raíz 1/2"  Copa 9/16" raíz 1/2" Desarmador plano grande Linterna		Ropa usada (limpiador)

Continuación de la tabla XXXV.

<b>SERVICIO DE 1 000 HORAS</b>	17	Revisión del volante /Corona dentada	Copa 1 1/8" raíz 1/2" Llave 9/16" y raíz 1/2" Copa 9/16" raíz 1/2" Linterna	Barreno ó taladro	Marcador permanente
	18	Lubricar Mecanismo de rotación del motor ( <i>barring devise</i> )	Llave ajustable		Aceite SAE 90 Ropa usada (limpiador) Recipiente o bandeja Cono o embudo
	19	Limpiar indicadores restricción filtros de aire del motor.	Llave Mixta de 1/2" Llave Mixta de 9/16"	Manguera para aire comprimido D 1/4"  Reducidor	Ropa usada (limpiador)
	20	Medir presiones pico de cilindros (Carga completa)	Copa de 5/8" Berbiquí de raíz 1/2" Llave ajustable	Medidor de presiones pico	Hoja de datos
	21	Evaluar de cilindros por fuga	Copa 9/16" raíz 1/2"  Berbiquí raíz 1/2"  Copa 5/8" raíz 1/2" Llave ajustable Copa 1 1/8" raíz 1/2"	Manómetro de presión  Manguera para aire comprimido  Acople rapido Cronometro  Barreno o taladro	Hoja de datos  Grasa para cojinete  Ropa usada (limpiador)
<b>SERVICIO DE 2,000 HORAS</b>	22	Calibrar cremalleras, inyector y fuel setting	Copa 9/16" raíz 1/2" Berbiquí raíz 1/2"  Desatornillador plano		Grasa para cojinetes ropa usada (limpiador)  Hoja de datos

Continuación de la tabla XXXV.

<b>SERVICIO DE 2,000 HORAS</b>	23	Calibrar válvulas e inyectores	Copa 9/16" raíz 1/2" Berbiquí raíz 1/2" Copa 1 1/8" raíz 1/2" Desatornillador plano Llave Allen de 5/16" Linterna	Barreno o taladro Reloj comparador Torquimetro para calibración Equipo de calibración Hoja de secuencia para calibración	Grasa para cojinetes Ropa usada (limpiador)
	24	Inspección de rotadores de válvulas del motor	Copa 9/16" raíz 1/2" Berbiquí raíz 1/2"	Linterna	Grasa para cojinetes Ropa usada (limpiador)
	25	Revisar deflexión de cigüeñal	Copa 9/16 raíz 1/2" Berbiquí raíz 1/2"	Reloj comparador para interiores Barreno o taladro	Oring's para tapaderas laterales (en ocasiones)
			Llave ajustable Copa 1 1/8" raíz 1/2"	Linterna	Hoja de Datos Grasa para cojinetes Ropa usada (limpiador)
26	Revisar engranajes traseros y delanteros por picaduras.	Llave Mixta 9/16" Copa 9/16" raíz 1/2" Rach de raíz 1/2" Set de extensiones raíz 1/2" Copa 3/4" raíz 1/2" Llave Mixta 3/4" Copa 1 1/8" raíz 1/2"	Linterna Barreno o taladro	Marcador o corrector Ropa usada (limpiador)  Grasa para cojinete	

Continuación de la tabla XXXV.

<b>SERVICIO DE 2 000 HORAS</b>	27	Revisar sincronización de árbol de levas/cigüeñal	Maneral de raíz 1/2" Rach de raíz 1/2" Set de extensiones de 1/2"  Copa de 7/8" raíz 1/2" Copa de 1" raíz 1/2" Copa 9/16" raíz 1/2" Llave allen 5/16" Copa 1 1/8" raíz 1/2"	Linterna Barreno Equipo para la revisión de tiempo (3 pines)	Ropa usada (limpiador)
	28	Revisión del juego axial del cigüeñal	Copa 9/16" raíz 1/2" Berbiqui raíz 1/2" Prybar (Pata de cabro)	Reloj comparador Linterna	Grasa para cojinetes Ropa usada (limpiador)  Hoja usada
	29	Revisión juego entre dientes engranajes trasero/frontal del motor	Llave mixta 9/16" raíz 1/2"  Copa 9/16" raíz 1/2" Rach de raíz 1/2" Set de extensiones raíz 1/2"  Copa 3/4" raíz 1/2" Llave mixta 3/4" Copa 1 1/8" raíz 1/2"	Reloj comparador Linterna	Hoja de datos Ropa usada (limpiador)  Aceite Taro 40 XL 40



Continuación de la tabla XXXV.

SERVICIO DE 2,000 HORAS	30	Inspección de cojinetes de bancada # 9	<p>Copa 9/16" raíz 1/2"</p> <p>Llave Mixta 9/16"</p> <p>Berbiquí raíz 1/2"</p> <p>Copa 1 1/8" raíz 1/2"</p> <p>Extensión de 1"</p> <p>Copa de 1"</p> <p>Pines para tuerca de bancada</p> <p>Barras de soporte</p> <p>Bandeja de soporte</p> <p>Canasta de soporte para equipo tensor</p> <p>Pin de bancada</p> <p>Palancas</p> <p>Martillo de teflón</p> <p>Adaptador de 1/2" a 3/4"</p> <p>Adaptador de 3/4" a 1"</p> <p>Desarmador plano</p>	<p>Equipo Puller</p> <p>Equipo perno-tensor</p> <p>Bomba hidráulica</p> <p>Barreno o taladro</p> <p>Bomba Neumática extractora de aceite</p> <p>Manguera para aire comprimido D 1/4"</p> <p>Equipo multitorque</p> <p>Extractor de cojinetes de bancada</p> <p>Eyector neumático</p> <p>Lámparas de pedestal</p> <p>Linterna</p> <p>Extensión eléctrica</p> <p>Ventilador</p>	<p>2 toneles vacíos</p> <p>Ropa usada (limpiador)</p> <p>Lija 320 y 400 estilo cinta</p> <p>Thinner</p> <p>Papel mayordomo</p> <p>Cojinetes de Bancada (tejas)</p> <p>Aceite Taro 40XL40</p>
	SERVICIO DE 4,000 HORAS	31	Limpiar núcleos del post-enfriador	<p>Copa 9/16" raíz 1/2"</p> <p>Llave mixta 9/16"</p> <p>Rach raíz 1/2"</p> <p>Copa 1 1/8" raíz 1/2"</p> <p>Llave ajustable</p> <p>Argollas</p> <p>Llave de 3/8" raíz 1/2"</p> <p>set de extensiones raíz 1/2"</p> <p>Maneral de raíz 1/2"</p>	<p>torquimetro de raíz 1/2"</p> <p>Manguera de D 3/4" para drene de "coolant"</p> <p>Puente grua</p> <p>Eslingas</p> <p>Cepillo eléctrico</p> <p>Linterna</p> <p>Montacargas</p> <p>Power wash</p> <p>Equipo para prueba hidrostática</p>

Continuación de la tabla XXXV.

SERVICIO DE 4,000 HORAS				Bombas de recirculación (lavado interno) Manguera para aire D 1/4" Boquilla para aire comprimido	Silicón
	32	Inspección de bancadas centrales (9 bancadas)	Copa 9/16" raíz 1/2" Llave mixta 9/16" Berbiquí raíz 1/2" Copa 1 1/8" raíz 1/2" Extensión de 1" Copa de 1" Pines para tuerca de bancada Barras de soporte	Equipo Puller Equipo perno-tensor Bomba hidráulica Barreno o taladro Bomba neumática extractora de aceite Manguera para aire comprimido D 1/4"	2 toneles vacios Ropa usada (limpiador) Lija 320 y 400 estilo cinta Thinner Papel mayordomo Cojinetes de Bancada (tejas)  Aceite Taro 40XL40
			Bandeja de soporte Canasta de soporte para equipo tensor Pin de bancada Palancas Martillo de teflón Adaptador de 1/2" a 3/4" Adaptador de 3/4" a 1" Desarmador plano	Equipo multitorque Extractor de cojinetes de bancada Eyector Neumático Lámparas de pedestal Lintera Extensión eléctrica Ventilador	
33	Limpieza de <i>strainer</i>	copa 9/16" raíz 1/2" Llave Mixta 9/16" Rach de 1/2" Berbiquí de raíz 1/2"	Bomba Neumática extractora de aceite Manguera para aire comprimido de D 1/4" Equipo para filtrado de aceite	8 toneles vacios Diesel Ropa usada (limpiador)	

Continuación de la tabla XXXV.

SERVICIO DE 4,000 HORAS	34	Cambio de aceite lubricante (limpieza del cárter)	Copa 9/16" raíz 1/2" Berbiquí raíz 1/2" Llave ajustable Espátula	Manguera para aire comprimido de D 1/4"  Eyector	Diesel o solvente Ropa Usada (limpiador)  8 toneles Grasa para cojinetes Esponja limpiadora (scotch)  Reglas de madera
	35	Cambio de inyectores	Copa 9/16" raíz 1/2" Berbiquí raíz 1/2" Copa 3/4" raíz 1/2" Copa 3/4" raíz 3/4" <i>Prybar</i> (pata de cabro)  Copa 1 1/8 raíz 1/2" Desatornillador plano Llave Allen 5/16"	Torquimetro Equipo de calibración para inyectores  Barreno o taladro  Linterna	cinta métrica Grasa para cojinetes Set de Oring's Ropa usada (limpiador)
	36	Cambio de cojinetes de biela	Copa 9/16" raíz 1/2" Berbiquí raíz 1/2" llave ajustable Llave Mixta 9/16" Copa 1 1/8" raíz 1/2" Extensión corta raíz 3/4" y 1/2"  Copa de 1" raíz 1/2" Copa de 1" raíz 3/4" Soportes para biela Martillo de teflón	Barreno o taladro Torquimetro de raíz 1/2" y 3/4"  Puente grua Eslingas  Plataformas móviles Pistola neumática de 3/4"  Manguera Eyector Lámparas móviles Extensión eléctrica Ventilador	Caneca antiarrastre (loctite) Lija 400 y 320 tipo cinta  Thinner Ropa usada (limpiador)  Aceite taro 40XL 40 Cojinetes de biela (si es necesario)

Fuente: elaboración propia

### **2.8.5. Mejora de la eficiencia en las operaciones de mantenimiento**

Mejorar la eficiencia en las operaciones de mantenimiento es de suma importancia para alcanzar la mayor disponibilidad de los grupos electrógenos y de esta forma obtener una rentabilidad aceptable del negocio, para lo cual es necesario identificar los principales factores de eficiencia dentro de la planta, planificar las operaciones de mantenimiento, estandarizar los procesos y establecer índices de calidad para una mejora continua.

#### **2.8.5.1. Factores que afectan la eficiencia**

Existen varios factores que afectan el desempeño de las operaciones de mantenimiento, estos factores fueron localizados por medio de observación directa en el área de estudio. Entre los factores de mayor trascendencia se pueden mencionar: suministro de herramienta por parte de bodega, reacondicionamiento de piezas, demoras personales, falta de herramienta, falta de materiales, falta de repuestos y programación inadecuada.

El suministro de herramienta por parte de bodega, se ve afectado debido a que la persona encargada de la bodega de la planta se ausenta de manera intermitente de la misma debido a que dicha bodega depende de la bodega central, dicha ausencia trae como consecuencias demoras por suministro de herramienta, materiales, equipos y repuestos necesarios para realizar los mantenimientos.

Muchas veces en el momento de realizar un mantenimiento programado surgen inconvenientes no previstos como el reacondicionamiento de piezas en el momento del mantenimiento. Este tipo de situación sucede a una frecuencia no muy alta o en situaciones especiales.

Las demoras personales son debido a necesidades básicas o de fuerza mayor que puede tener el personal en el momento de realizar algún tipo de mantenimiento. Sin embargo, esto incluye la cantidad de personal que se tiene para poder realizar los trabajos, ya que a menor personal el número de tareas aumenta de manera individual lo que hace más lento todo el proceso de mantenimiento.

La falta de herramienta se da por varios motivos, uno de ellos es el extravió de la misma, ya sea por el mismo departamento de mantenimiento mecánico o por los otros departamentos. Esto se da debido a un control muy bajo en el préstamo de la misma por parte de bodega.

La falta de materiales para trabajar es un problema que se da con una frecuencia muy baja, sin embargo, debido a que se depende totalmente de la bodega central los materiales que se utilizan suelen escasearse aunque los pedidos de materiales por parte de la administración de la planta ya se hayan realizado.

La falta de repuestos es un problema de gran magnitud para realizar los mantenimientos de forma efectiva, debido a que se depende totalmente de la bodega central o en otros casos depende de la autorización del supervisor para la utilización de dichos repuestos.

La programación inadecuada se da por no tener un conocimiento o un registro real de los tiempos para realizar las actividades de mantenimiento por lo que se programan con un margen de tiempo muy corto y la programación no tomaba en cuenta todos los aspectos relevantes para realizar los mantenimientos.

En la tabla XXXVI, se observa los factores que afectan la eficiencia y la frecuencia de la ejecución.

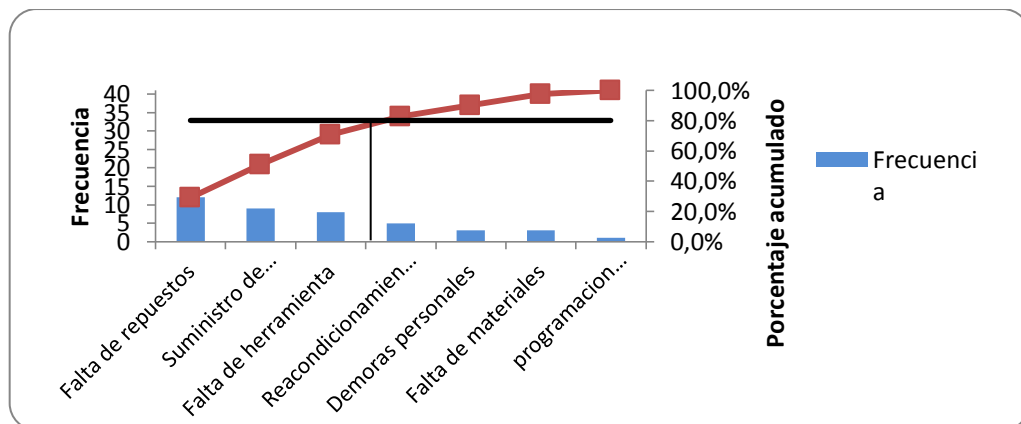
Tabla XXXVI. Factores que afectan la eficiencia en las operaciones

Factores que afectan la eficiencia en las operaciones de mantenimiento mecánico en los motores Caterpillar 3616			
No.	SITUACIÓN	Frecuencia	% Relativo
1	Falta de repuestos	12	29
2	Suministro de herramienta (bodega)	9	22
3	Falta de herramienta	8	20
4	Reacondicionamiento de piezas	5	12
5	Demoras personales	3	7
6	Falta de materiales	3	7
7	programación inadecuada	1	2

Fuente: elaboración propia.

Para identificar y enfocarse en los principales problemas se utilizó el principio de Pareto, cuyos resultados se muestran en la figura 20.

Figura 20. Principales factores que afectan la eficiencia



Fuente: elaboración propia.

La falta de repuestos y materiales con un 29 por ciento, el suministro de herramienta con un 22 por ciento y la falta de herramienta con un 20 por ciento son los principales problemas a atacar.

Para los problemas de falta de repuestos y suministro de herramienta en bodega se ha realizado un análisis estadístico de los mantenimientos tanto correctivos como preventivos en un lapso de seis meses, con la finalidad de establecer los repuestos y materiales utilizados. De tal forma que las requisiciones a bodega central sean estratégicas desde el punto de vista de stock de repuestos y materiales como desde el punto de vista funcional de la bodega de la planta (ver tabla XXXVII).

El tener un *stock* adecuado de repuestos permite realizar los mantenimientos con mayor eficiencia y mejorar el suministro de herramienta en bodega.

Tabla XXXVII. **Historial de consumo de repuestos y materiales**

<b>Historial de consumo de repuesto y materiales para mantenimientos de los motores Caterpillar 3616</b>		
<b>Dispositivos de mantenimiento</b>	<b>frecuencia de mantenimiento</b>	<b>galones</b>
Inyector reman	36	
Cambio de culatas	18	
<i>Coolant</i>	13	62
Mangueras de LO	12	
Empaquetaduras	11	
Compuertas reman	10	
Camisas de cilindro	10	
<i>Keine valve</i> reman	9	
Válvulas de lavado de turbo	6	
Juego de pre filtros de guata	6	

Continuación de la tabla XXXVII.

Juego de anillos	6	
Diesel	10	5
Compuerta de cárter o tapa de alivio	4	
O´rings tapadera de válvulas	3	
Mangueras de HFO	3	
Válvula de purga de filtros de aceite	3	
Pistones	3	
Bellow de turbo	2	
Turbo, Cartridge (JSJ110521)	2	
Válvula de prioridad	2	
Juego de filtros de aceite	2	
Cajón reman	2	
Juego de cojinetes de biela	2	
Stude	1	
Manguera ITC	1	
Niple de 1"	1	
Respiraderos del cárter	1	
Actuador Reman	1	
Base del actuador	1	
Válvula de 1/2"	1	
T de hule de respiraderos	1	


Fuente: elaboración propia.

El problema de falta de herramienta es causado por el extravío de la misma por parte del personal, se sugiere mejorar el manejo de herramienta, equipo, materiales y repuestos en bodega, por medio de hojas de control.


Se elaboró el formato para llevar el control de la herramienta y equipo prestado por el personal, además de materiales y repuestos consumidos, indicando la cantidad, fecha de salida y devolución en caso de la herramienta y equipo, código, descripción, nombre y firma de la persona responsable. (Ver figura 21).



Figura 21. **Formato para control de salida de herramienta, equipo materiales y repuestos**



CONTROL DE SALIDA DE HERRAMIENTA, EQUIPO , MATERIALES Y REPUESTOS UTILIZADOS EN BODEGA DEL CEE



Hoja No. \_\_\_\_\_ Nombre del encargado \_\_\_\_\_

Nota: Colocar un ✓ si la herramienta, equipo o insumo es devuelto en la fecha de salida por el contrario colocar la fecha de devolución en la casilla indicada. Y colocar un x si la herramienta, equipo o insumo no se devuelve el mismo día de salida.

✓ <input type="checkbox"/>	No.	Fecha de salida	Fecha de devolución	Codigo	Descripción	Cantidad	Responsable	Firma

Fuente: elaboración propia.

De igual manera se elaboró el formato para llevar el control de toda la herramienta, equipo, materiales y repuestos que entran a la bodega de la planta provenientes de la bodega central, indicando la fecha en que se realizó el pedido, fecha de entrada del mismo, código, descripción, cantidad recibida y cantidad del pedido original. (Ver figura 22)



situación existente en el momento. Con dicha información se puede mejorar la utilización de mano de obra, herramienta, equipo, materiales y tiempo de ejecución de las actividades. Una vez planificado existen ciertas desviaciones que pueden ser inevitables, pero a la medida que se le dé un seguimiento adecuado a los problemas, estos pueden disminuir paulatinamente hasta lograr la utilización óptima de los recursos.

### **2.8.5.3. Estandarización de los procedimientos para las desviaciones en la operación de los motores**

Con la finalidad de establecer procedimientos estándar sobre las desviaciones o fallas más comunes que se dan durante el funcionamiento de los motores se elaboró una serie de flujogramas que muestran los pasos lógicos y la forma de actuar durante la ocurrencia de dichas desviaciones.

Dentro de las desviaciones que se ocurren con mayor frecuencia se pueden mencionar; Alta temperatura en los cilindros, pérdida de potencia del motor, alta velocidad de rotación en los turbos, alarma en el detector de partículas y alta presión en el cárter. (Ver apéndice 1).

### **2.8.5.4. Establecimiento de índices de calidad para una mejora continua**

El principal indicador de calidad en los mantenimientos tanto preventivos como correctivos de los motores es el tiempo de disponibilidad que posee cada unidad generadora al año, ya que de este factor depende la rentabilidad de la planta.

Para determinar las horas de disponibilidad por grupo electrógeno al año se utilizó la siguiente ecuación:

$$HD = HA - (HIF + HMP) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

HD = horas de disponibilidad de las unidades al año

HA = horas pertenecientes al año

HIF = horas de indisponibilidad forzada al año

HMP = horas de mantenimiento programado al año

Utilizando la información registrada por el departamento de mantenimiento mecánico, se procede a calcular las horas de disponibilidad del motor 1 en el último año.

Datos del motor 1:

HA = (365 días \* 24 horas)  $\approx$  8 760 horas

HIF = 12 horas

HMP = 150 horas

Sustituyendo en la ecuación 6 se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{Horas de disponibilidad} = HA - (HIF + HMP)$$

$$\text{Horas de disponibilidad} = 8\,760 \text{ h} - (12 \text{ h} + 150 \text{ h})$$

$$\text{Horas de disponibilidad} = 8\,598 \text{ h}$$

Tomando en cuenta los datos de total de horas pertenecientes a un año, horas de indisponibilidad forzada al año y horas de mantenimiento programado al año y aplicando la ecuación 6 anteriormente presentada se procede a calcular las horas de disponibilidad de los diez motores, los resultados de esta operación se presentan en la tabla XXXVIII.

Tabla XXXVIII. **Horas de disponibilidad de los motores al año**

<b>Motor</b>	<b>Horas del año (Horas)</b>	<b>Horas de indisponibilidad forzada al año (Horas)</b>	<b>Horas de mantenimiento programado al año (Horas)</b>	<b>Horas de disponibilidad al año (Horas)</b>
1	8 760	12	150	8 598
2	8 760	8	135	8 617
3	8 760	28	280	8 452
4	8 760	10	800	7 950
5	8 760	22	250	8 488
6	8 760	30	320	8 410
7	8 760	23	285	8 452
8	8 760	115	235	8 410
9	8 760	185	160	8 415
10	8 760	37	335	8 388

Fuente: elaboración propia.

Una vez determinadas las horas de disponibilidad por cada motor durante el periodo de un año se establecen metas de mejora reduciendo, principalmente las horas de indisponibilidad forzada para aumentar la disponibilidad de cada unidad y como consecuencia mejorar la disponibilidad total de la planta.

Otro indicador es el porcentaje de cumplimiento de los mantenimientos preventivos respecto con el tiempo programado y planificado. Para determinar dicho porcentaje es necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de cumplimiento} = \frac{\text{CMET}}{\text{CTMP}} * 100 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

CMET = cantidad de mantenimientos que exceden del tiempo programado.

CTMP = cantidad total de mantenimientos programados.

Debido a que este es un indicador a implementar no se poseen registros para ninguna unidad motora, sin embargo, al empezar a utilizar dicho indicador se mostrará la capacidad de cumplir con los mantenimientos y el tiempo estimado y de esta forma poder realizar los ajustes necesarios tanto en la programación como en la ejecución.

El porcentaje de reducción de costos luego de aplicar medidas de mitigación de problemas al cabo de cierto periodo de tiempo es otro indicador a implementar. Este indicador se determina de una manera simple utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de reducción de costos} = 1 - \frac{\text{CMDM}}{\text{CMAM}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

CMDM = costos de mantenimiento después de mejoras

CMAM = costos de mantenimiento antes de mejoras

Por último, la reducción porcentual de mantenimientos correctivos son producto de la buena gestión de las operaciones de mantenimiento preventivo y predictivo. Para determinar dicho porcentaje es necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de reducción de manttos. correctivos} = 1 - \frac{\text{CMCDM}}{\text{CMCAM}} * 100 \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

CMCDM = cantidad de mantenimientos correctivos después de mejoras

CMCAM = cantidad de mantenimientos correctivos antes de mejoras

Los datos anteriormente expuestos se pueden medir en periodos de semanas, meses, trimestres, semestres y años, de acuerdo a las necesidades y el patrón que se desea tener luego de implementar las mejoras expuestas en el presente documento.

### **3. ANÁLISIS DE EFICIENCIA EN LOS MOTORES CATERPILLAR 3616**

#### **3.1. Principios básicos de funcionamiento**

Un motor de combustión interna es una máquina que transforma la energía calorífica en energía mecánica, donde la energía calorífica es producto de la combustión de una mezcla de aire con combustible. El proceso de combustión se da dentro de un cilindro sellado que contiene en su interior un pistón o embolo, agregado a este, se encuentra el mecanismo de biela manivela y en conjunto realizan un movimiento reciproco de arriba hacia abajo.

El movimiento del pistón produce una fuerza de presión dentro de la cámara de combustión, esta presión se trasforma en un torque capaz de mover un eje, por lo que el movimiento reciprocante del pistón se transforma en movimiento de rotación.

Los motores Caterpillar 3616 funcionan bajo el principio del ciclo diesel cuyas características principales es la utilización de combustible pesado y una relación de compresión elevada. El combustible se introduce a presión y de forma pulverizada para combinarse con el aire que se encuentra a una presión y temperatura que al reaccionar producen la combustión.



## **3.2. Definición de factores que afectan el funcionamiento**

Para analizar la eficiencia de operación de los motores es importante tomar en cuenta los principales factores que afectan su funcionamiento, estos van desde las condiciones ambientales de la planta, el combustible utilizado y la dosificación de carga a los que son expuestos.

### **3.2.1. Condiciones de trabajo**

Para el funcionamiento adecuado de los motores es necesario considerar características y cualidades tanto internas propios del sistema como las condiciones externas donde se desarrolla la operación de los mismos. Es de utilidad considerar factores como: altitud, fuentes de calor y capacidad de absorción de aire.

Los factores externos influyen de forma significativa en el funcionamiento de los motores y el conocer estas condiciones, permiten determinar puntos específicos de ajuste de los componentes del sistema, de lo contrario estos factores pueden convertirse en puntos críticos que afecten el funcionamiento de los motores.

#### **3.2.1.1. Altitud**

La altura sobre el nivel del mar afecta presión atmosférica y en consecuencia la densidad del aire, a medida de que aumenta la altura se reduce la densidad de aire lo que provoca que en los cilindros penetre menor masa de aire y esto afecta la combustión completa del combustible.

De la altitud depende el valor de presión atmosférica y temperatura, esto influye de forma directa al punto de ebullición del agua, que es el medio utilizado para el enfriamiento de los motores. Debido que la temperatura a la que hierve el agua depende de la altura de trabajo, es indispensable determinar cuánto se debe prolongar el valor de ebullición para que el agua de refrigeración funcione de forma correcta, esto se hace seleccionando el aditivo según especificaciones técnicas del mismo fabricante.

El CEE se encuentra ubicado a una altitud de 347 metros sobre el nivel del mar, esto beneficia de gran manera a los motores, ya que temperatura de ebullición del agua es de 100 grados Celsius y la densidad del aire es de aproximadamente 1,20 kilogramo sobre metro cubico ideal para una buena combustión.

### **3.2.1.2. Fuentes de calor**

El calor generado durante el funcionamiento del motor es controlado a través del sistema de enfriamiento, conformado por una torre de enfriamiento de cinco módulos que provee agua a temperatura relativamente fría a un intercambiador calor que enfría el agua del motor. (Ver figura 23)

Sin embargo, por la instalación de los motores el calor generado por cada uno de estos puede afectar el desenvolvimiento de los mismos, debido a que la densidad del aire disminuye de forma inversamente proporcional al aumento de temperatura, provocando ausencia de oxígeno elemento esencial en el proceso de combustión.

Figura 23. **Torre de enfriamiento**



Fuente: Centro de Energía Escuintla, SIDEGUA, S.A.

Todas las fuentes de calor externas deben ser controladas para evitar inconvenientes con la temperatura del motor y la eficiencia de la combustión. Al igual se debe controlar el sistema de extracción de aire caliente dentro del cuarto de máquinas.

### **3.2.2. Tipo de combustible**

El retardo del encendido en la combustión depende tanto de la relación de compresión propia de los motores, como de la clase y calidad de combustible que se utiliza.

Los motores Caterpillar 3616 están diseñados para funcionar con combustible diesel, combustible residual (HFO) y/o una mezcla de ambos.

### **3.2.2.1. Selección**

La selección del combustible utilizado en general, se toma en función de costos, debido a que este representa de un 60 a 90 por ciento costos de operación, sin embargo es necesario tomar en consideración aspectos como potencia calorífica, disponibilidad, niveles de aplicación de carga, condiciones atmosféricas de operación, revoluciones del motor, entre las más importantes.

El combustible utilizado en los motores es el bunker tipo C, que es un combustible residual de grado seis, remanente del crudo luego de la destilación.

### **3.2.2.2. Propósito del combustible**

Es importante conocer las propiedades del combustible y los efectos que estas pueden tener en el caso de incumplimiento con las especificaciones de calidad requeridas para su utilización.

El combustible debe cumplir varias funciones, como proporcionar la energía necesaria para el trabajo que realiza, cualidades de lubricación para el sistema de alimentación de combustible e inyectores.

### **3.2.2.3. Características del combustible**

- Viscosidad

La viscosidad es una medida de resistencia de líquido a fluir. Una alta viscosidad significa que el combustible es espeso y no fluye con facilidad. La viscosidad en el combustible residual es un factor sumamente importante, ya que determina la complejidad de calefacción del combustible y manejo del

sistema de inyección en los motores. Debido que el combustible residual debe de llegar a una viscosidad de entre 10 y 20 centistock en el punto de inyección y de 380 centistock a 50 grados Celsius.

La alta viscosidad en el combustible acelera el desgaste en los ejes de levas, sistema de inyección, inyectores todo esto debido al aumento de la presión de combustible. Por lo tanto el combustible se atomiza de forma deficiente y los motores tendrán más dificultad para arrancar.

- Densidad

La mayor influencia que tiene la densidad en el combustible se relaciona, principalmente en la separación del combustible. Generalmente, la máxima densidad permitida de un combustible residual es de 991 kilogramo sobre metro cubico a 15 grados Celsius.

- Poder calorífico

El Poder calorífico representa la cantidad de energía liberada por unidad de masa o por unidad de volumen del combustible durante la reacción química para alcanzar una combustión completa. El combustible residual posee un poder calorífico promedio de 17 900 Btu sobre libra.

- Punto de enturbiamiento

El punto de enturbiamiento es la temperatura a la que el combustible pierde transparencia (se enturbia). La causa de este efecto es debido a la caída de temperatura por debajo del punto de fusión de la parafina que contiene, generalmente los productos derivados del petróleo.

El punto de enturbiamiento debe ser a una temperatura menor que la temperatura ambiente más baja que se puede dar para evitar taponamiento en los filtros de combustible.

- Punto de fluidez

El punto de fluidez de un combustible es aquella temperatura que es 3 grados Celsius (5 grados Fahrenheit) mayor que la temperatura a la que el combustible deja de fluir o se solidifica. El punto de fluidez, también lo determina el contenido de parafina en el combustible.

- Punto de inflamación

Es la temperatura a la que se inflaman los vapores de combustible cuando se exponen a las llamas. Se determina por el tipo de combustible y proporción de aire/combustible, generalmente para el combustible residual el punto de inflamación mínimo es de 60 grados Celsius.

- Calidad de ignición

Generalmente, la calidad de ignición en el combustible residual es muy baja. La baja calidad de ignición puede causar problemas en el arranque y un bajo rendimiento de los motores, comúnmente si el motor no se precalienta lo suficiente.

La calidad de ignición de un combustible residual puede ser determinada calculando el Índice aromático del carbono (CCAI) por medio de la viscosidad y densidad del combustible. El combustible residual posee un nivel de entre 840 a 870 CCAI.

#### **3.2.2.4. Contaminantes**

Los contaminantes en el combustible son aquellos que, por la naturaleza se encuentran en el petróleo crudo o combustibles residuales y pueden ocasionar problemas en los motores. Además existen otros contaminantes externos que pueden adherirse al combustible y de la misma forma pueden ocasionar problemas en el funcionamiento y eficiencia de los mismos.

- Agua

La cantidad de agua en el combustible residual depende del ambiente en el que se transporta o almacena. Esta puede tener su origen de fuentes completamente diferentes e incluso puede poseer agua dulce o de mar.

El contenido de agua desproporcionado en el combustible ocasiona corrosión en el sistema de tratamiento de combustible y sistema de inyección además reduce el poder calorífico del combustible provocando aumento en el consumo del mismo.

- Azufre

Generalmente, el combustible residual posee un alto contenido de azufre de forma natural. El contenido de azufre en el combustible de más de 5% por unidad de peso puede disminuir la eficiencia de funcionamiento y acortar la vida del motor.

Cuando el combustible se quema dentro de la cámara de combustión del motor, se forman óxidos de azufre que reaccionan con el vapor de agua formado ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico al condensarse ataca químicamente

las superficies de metal de las guías de válvula, camisas de los cilindros, anillos, pistones e incluso cojinetes de biela.

- Vanadio

El vanadio presente en el combustible forma compuestos altamente corrosivos durante el proceso de combustión, generalmente entre 540 y 675 grados Celsius, debido a las altas temperaturas el metal se funde y este ataca superficies metálicas, especialmente los asientos de válvulas de admisión y escape.

- Sulfuro de hidrógeno

El sulfuro de hidrógeno presente en ciertos tipos de petróleo crudo puede mezclarse con el vapor de agua producto de la combustión y formar ácido sulfúrico, que es el ácido que puede provocar mayor corrosión dentro del motor, principalmente en componentes internos como los son: camisas de cilindro, válvulas y anillos de pistón.

- Cloruro de sodio (sal)

El cloruro de sodio, generalmente se introduce en el combustible durante el almacenamiento debido a la condensación de aire con partículas de sal contenida en los tanques de almacenamiento de combustible o puede estar presente de manera natural.

El cloruro de sodio al combinarse con el vanadio actúa como catalizador reaccionando químicamente para formar compuestos que se funden a temperaturas normales de operación. Dichos compuestos producen corrosión



en las válvulas de escape a altas temperaturas, depósitos en la turbina del turbocompresor y en las toberas de los inyectores.

- Sedimentos potenciales

Son todos aquellos desechos que causan variaciones en la estabilidad del combustible, estos pueden ser: incrustaciones, óxidos, escorias por soldadura y todo los tipos de desechos que se introducen a los tanques de combustible de alguna u otra forma.

Los sedimentos presentes en el combustible disminuyen la cantidad de energía aprovechable del mismo y normalmente se acepta de 0,05 por ciento a un 0,10 por ciento por unidad de peso.

- Microorganismos

En el combustible se pueden desarrollar bacterias y estas formas de vida pueden alimentarse y habitar en el combustible, además de corroer y obstruir los filtros.

### **3.2.3. Dosificación de carga**

Es necesario considerar aspectos como: procedimientos de operación, especificaciones de capacidad, intervalos de carga y parámetros de funcionamiento para proporcionar la cantidad de carga apropiada.

Es importante seguir rigurosamente el procedimiento de preparación de unidades, arranque, sincronización y toma de carga de las unidades generadoras debido a que existen diferentes equipos y componentes tanto

eléctricos, mecánicos y térmicos que son accionados o puestos en funcionamiento y una mala operación en el proceso puede provocar disparos en equipos auxiliares o un daño a la red distribución.

### **3.2.3.1. Arranque y dosificación inicial**

Es importante proteger tanto el motor de combustión como el generador, de posibles daños tanto mecánicos como eléctricos que puede producirse en el momento de arranque y operación.

Para la preparación de las unidades es importante realizar las siguientes acciones:

- Prelubricar los motores por medio de las bombas eléctricas de pre lubricación.
- Verificar la temperatura de agua de precalentamiento, mayor a 52 grados Celsius.
- Encender bombas de lubricación de cojinetes del generador.
- Abrir válvulas de entrada y retorno de aceite refrigerante de inyectores (ITC)
- Arrancar bombas de aceite refrigerante de inyectores (ITC).
- Verificar la apertura de válvulas de entrada y retorno de combustible
- Arrancar bombas de circulación de agua a una presión de 200 a 240 kilo pascales.
- Verificar que la temperatura de combustible se encuentre entre 110 y 135 grados Celsius idealmente.
- Verificar que la presión de pre lubricación sea mayor a 20 kilopascales.

Luego de preparar las unidades y equipos auxiliares se procede al arranque, donde se deben realizar las siguientes acciones:

- Arrancar el motor por medio de la abertura de la válvula de accionamiento de los motores neumáticos o motores de arranque. El motor arranca a 400 rpm mantener esta velocidad por 2 minutos.
- Verificar que la presión de aceite sea mayor a 250 kilopascales.
- Llevar el motor a una velocidad nominal de 900 RPM utilizando el panel local (LCP), mantener esta velocidad durante 2 minutos.
- Colocar el motor en posición remoto para que sea controlado posteriormente desde el cuarto de control.
- Encender los extractores de aire caliente.

Posteriormente es necesario sincronizar la o las unidades en funcionamiento desde el cuarto de control, ya sea de forma manual, semiautomática o automática.

Luego de que el generador ingresa a línea, la potencia se puede graduar de forma automática o de forma manual. Generalmente de forma automática, alcanza la carga establecida de 2 000 kilovatios y de forma manual se puede ir subiendo o bajando la carga de acuerdo a la necesidad de potencia, sin exceder los límites de acuerdo a las condiciones mecánicas de las unidades.

### **3.2.3.2. Dosificación complementaria**

Realizada la etapa inicial, la carga se aumenta según requerimientos hasta un máximo de 95 por ciento del valor disponible, es decir hasta un máximo de 3 800 kilovatios por unidad. Se mantiene un rango de 5 por ciento con el objetivo de cubrir cualquier situación riesgosa a las condiciones de funcionamiento y no trabajar al límite.

### **3.2.3.3. Verificación de parámetros**

Para el funcionamiento de las unidades motoras, además de cumplir con las etapas de dosificación, se debe de realizar la inspección por cada motor de los siguientes valores; temperatura de cada uno de los dieciséis cilindros, revoluciones de los turbocompresores, presión de aceite, temperatura de agua de AC/OC, temperatura de enfriamiento de agua de camisas de cilindro, temperatura de aceite, temperatura de aire de admisión o carga, temperatura de combustible y verificar el buen funcionamiento de equipos auxiliares como torre de enfriamiento, caldera auxiliar, calderas de recuperación, *boosters*, entre los más importantes.

El proceso de verificación de parámetros se debe realizar de forma constante durante la operación de los motores o generación de carga.

## **3.3. Estudio técnico sobre eficiencia de los motores**

Para el buen desempeño en el funcionamiento de los motores fue necesario, en primer lugar, conocer a precisión los parámetros técnicos de funcionamiento establecidos por el fabricante, ya que estos son los indicadores del desempeño de los diferentes dispositivos o sistemas que los conforman.

Posteriormente se hace énfasis en los sistemas principales necesarios para la operación y funcionamiento de los motores, ya que del funcionamiento individual y colectivo de cada uno de los sistemas depende la eficiencia técnica necesaria para que los motores presten el servicio por el cual fueron diseñados e instalados.

Dentro de los sistemas relevantes para el funcionamiento eficiente de los motores se pueden mencionar: el sistema de inyección de combustible, sistema de enfriamiento, sistema de lubricación.

### **3.3.1. Parámetros de funcionamiento**

Dentro de los parámetros de funcionamiento más importantes para los motores Caterpillar 3616 se pueden mencionar:

#### **3.3.1.1. Velocidad**

La velocidad de rotación del eje cigüeñal se establece según el número de polos del generador, por lo que los motores deben mantener una velocidad constante de 900 rpm para garantizar que la energía trifásica 13 800 voltios producida sea a una frecuencia de 60 ciclos por segundo, esto indica que la carga parcial o total no debe sufrir cambios significativos y mantenerse en un rango bajo de variación. Solo para fines de arranque y parada, los motores funcionan durante unos minutos a 400 rpm y cuando no se encuentran sincronizados a la red de distribución.

La velocidad de rotación de los turbocompresores, cuyo rango de aceptación es de 28 000 a 32 000 rpm, esto depende de la carga a la que se sometan los motores.

### **3.3.1.2. Temperatura de cilindros**

Los dieciséis cilindros de cada uno de los motores son monitoreados individualmente, sin embargo, existe variación de temperatura entre los diferentes cilindros, donde la temperatura ideal de operación se establece en 350 grados Celsius con una desviación de  $\pm 50$ , es decir los rangos de temperatura aceptable para los cilindros se encuentran entre 300 a 400 grados Celsius.

### **3.3.1.3. Presión de combustible**

La presión de combustible en el sistema debe mantenerse en el intervalo de 430 a 680 kpa en la entrada a los inyectores y la presión en el retorno debe ser inferior a 350 kpa.

### **3.3.1.4. Temperatura de combustible**

El combustible se precalienta para disminuir su viscosidad y así abastecer a los inyectores para una pulverización adecuada en la cámara de combustión. Por lo que la temperatura del combustible se debe encontrar en el intervalo de 120 a 160 grados Celsius a una viscosidad de 20 centistock.

### **3.3.1.5. Presión de aceite lubricante**

El aceite lubricante circula por conductos a lo largo de los dieciséis cilindros, culatas, eje de levas, turbocompresores y enfriadores de aceite a un rango de presión de 400 a 550 kpa.

La presión diferencial que debe existir en los filtros de aceite lubricante se encuentra en el rango de 35 a 110 kpa.

#### **3.3.1.6. Temperatura de aceite lubricante**

Los enfriadores y termostatos tienen la función de mantener la temperatura del aceite lubricante dentro del intervalo de 80 a 90 grados Celsius, ya que el aceite actúa tanto de lubricante de las piezas móviles del motor como de refrigerante del mismo.

#### **3.3.1.7. Temperatura de agua de enfriamiento**

El agua proveniente de la torre de enfriamiento debe entrar al intercambiador de calor a una temperatura comprendida en el rango de 20 a 30 grados Celsius.

La temperatura de refrigerante dentro del bloque del motor, específicamente en las camisas de los cilindros (JW) debe permanecer entre los 85 a 92 grados Celsius en la entrada y entre 85 a 98 grados Celsius en la salida. Mientras que la temperatura de agua en los postenfriadores (AC) y los enfriadores de aceite (OC) debe mantenerse en el rango de 20 a 38 grados Celsius.

#### **3.3.1.8. Presión de agua de enfriamiento**

La presión de agua dentro del bloque del motor, postenfriadores y enfriadores de aceite (AC/OC) debe permanecer en el intervalo de 150 a 300 kpa.

### **3.3.1.9. Presión en el cárter**

La presión de gases dentro del cárter del motor debe permanecer idealmente en el rango 1 a 2 pulgadas de agua y como máximo 4 pulgadas de agua.

### **3.3.1.10. Presión de aire de admisión**

La presión de aire generada en el múltiple de admisión debido a la acción de los turbocompresores debe permanecer en el rango de 200 a 230 kpa.

## **3.3.2. Rendimiento**

Los motores deben operar bajo condiciones óptimas para su buen desempeño, por lo que es necesario realizar los cuidados respectivos y aceptables para que el funcionamiento desarrollado sea el esperado. Por lo que es importante el conocimiento del nivel de aprovechamiento de los suministros empleados por los sistemas de lubricación, refrigeración, combustible e inyección.

El valor de rendimiento sirve como punto de referencia de las condiciones actuales de operación, determinación de procedimientos técnicos e identificación de las áreas con trabajo aceptable o anormal. El rendimiento es un valor porcentual que se determina para medir la operación óptima de los motores en relación a los recursos invertidos para su funcionamiento.



### 3.3.2.1. Rendimiento térmico

Este se expresa en porcentaje de calor suministrado que se convierte en trabajo o potencia, se desarrolla por todos los cilindros en conjunto tomando en cuenta las diferentes temperaturas que forman parte del proceso de un ciclo diesel.

Para realizar el análisis de eficiencia térmica de los motores se utilizo el principio del ciclo diesel ideal, considerando las variaciones pertinentes entre el valor de las variables reales e ideales.

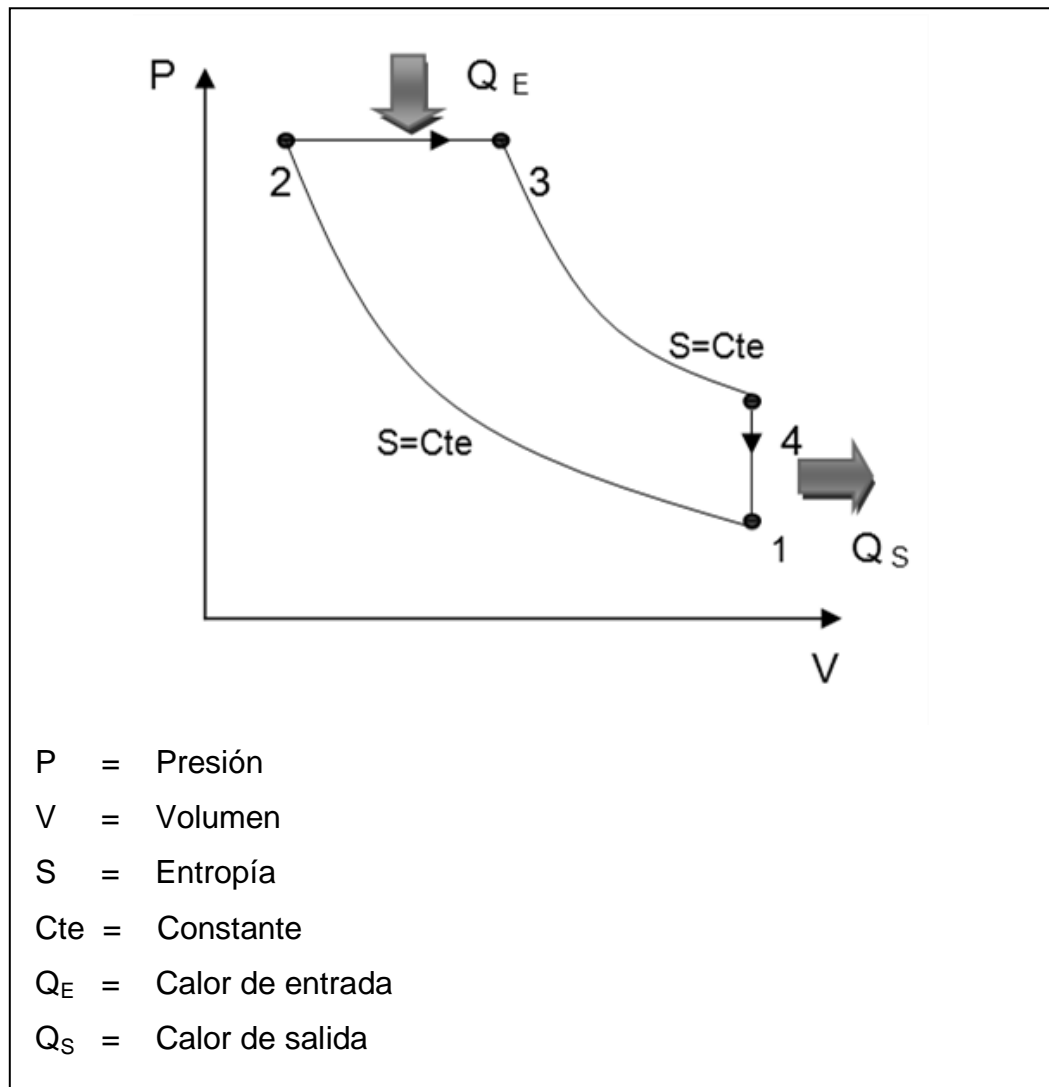
- Ciclo diesel ideal

En el ciclo diesel ideal para las máquinas reciprocantes, el aire se comprime hasta una temperatura que es superior a la temperatura de autoencendido del combustible, de tal forma que la combustión inicia al contacto, cuando el combustible se inyecta dentro del aire caliente.

El proceso de inyección de combustible en los motores diesel empieza cuando el émbolo o pistón se aproxima al punto muerto superior (PMS) y continúa durante la primera parte de la carrera de potencia. Por lo tanto, el proceso de combustión sucede durante un periodo más largo y se obtiene como un proceso de adición de calor a presión constante.

El ciclo diesel ideal se desarrolla por medio de los procesos, compresión isoentrópica, adición de calor a presión constante, expansión isoentrópica y rechazo de calor a volumen constante. (Ver figura 24).

Figura 24. **Ciclo diesel ideal**



Fuente: Yunus A. Cengel, Termodinámica, p. 506.

- **Estudio de eficiencia térmica**

El estudio se llevó a cabo para encontrar la eficiencia térmica de los diez motores Caterpillar 3616. Tomando en cuenta datos reales de funcionamiento y utilizando como base un ciclo diesel ideal.

Como datos experimentales se tomaron en cuenta las temperaturas de entrada de aire de admisión procedente de los turbocompresores, temperaturas de los gases de escape productos de la combustión, presión de aire de admisión, presión de gases de escape, diámetro de cilindros, carrera de pistón, relación de compresión.

Se utilizaron las siguientes constantes para el desarrollo del análisis:

- Aire estándar
- Los cambios de energía cinética y potencial son insignificantes
- Se toma el aire como gas ideal con calores específicos constantes
- Las propiedades del aire a temperatura ambiente de 27 grados Celsius o 300 grados Kelvin son:
  - $C_p = 1,005 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K}$
  - $C_v = 0,718 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K}$
  - $K = 1,4$
  - $R = 0,2870 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K}$

Para el desarrollo de los cálculos se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Volumen específico de aire:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

$v_1$  = volumen específico de aire en el punto 1 (admisión)

R = constante universal de gases ideales

$T_1$  = temperatura del aire de admisión

$P_1$  = presión de aire de admisión.

Masa de aire:

$$m = N_{cil} * \frac{\Delta V}{v_1} \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Donde:

m = masa de aire

$N_{cil}$  = número de cilindros

$\Delta V$  = volumen de cilindro

$v_1$  = volumen específico de aire en el punto 1 (admisión)

Volumen del cilindro:

$$\Delta V = \frac{(\pi D^2 S)}{4} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

Donde:

$\Delta V$  = volumen del cilindro

$\pi$  = constante pi

D = diámetro del cilindro

S = carrera del pistón o émbolo

Flujo másico de aire:

$$\dot{m} = \frac{m\dot{n}}{N_{rev}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

$\dot{m}$  = flujo másico de aire

$m$  = masa de aire

$\dot{n}$  = número de revoluciones normales del eje cigüeñal

$N_{rev}$  = número de revoluciones del cigüeñal por ciclo

Temperatura  $T_2$

$$T_2 = T_1 r_c^{k-1} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

$T_2$  = temperatura al final del proceso de admisión de aire

$T_1$  = temperatura de aire de admisión

$R_c$  = relación de compresión

$k$  = constante

Relación de compresión

$$R_c = \frac{V_1}{V_2} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde:

$R_c$  = relación de compresión.

$V_1$  = Volumen máximo del cilindro (PMI)

$V_2$  = Volumen mínimo del cilindro (PMS)

Temperatura  $T_4$

$$T_4 = T_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} \quad \text{(Ecuación 16)}$$

Donde:

$T_4$  = temperatura de los gases de escape

$T_3$  = temperatura máxima del ciclo (combustión)

$V_3$  = volumen al inicio de la expansión isoentrópica

$V_4$  = volumen al final de la expansión isoentrópica

$K$  = constante

Calor de entrada

$$q_{entra} = C_p(T_3 - T_2) \quad \text{(Ecuación 17)}$$

Donde:

$q_{entra}$  = calor de entrada

$C_p$  = calor específico a presión constante

$T_3$  = temperatura máxima del ciclo (combustión)

$T_2$  = temperatura al final del proceso de admisión de aire

Calor de salida

$$q_{sale} = C_v(T_4 - T_1) \quad \text{(Ecuación 18)}$$

Donde:

$q_{sale}$  = calor de salida

$C_v$  = calor específico a volumen constante

$T_4$  = temperatura de los gases de escape

$T_1$  = temperatura al final del proceso de admisión de aire

Eficiencia térmica de ciclo diesel ideal

$$n_t = 1 - \frac{q_{sale}}{q_{entra}} \quad \text{(Ecuación 19)}$$

Donde:

$n_t$  = eficiencia térmica

$q_{sale}$  = calor de salida

$q_{entra}$  = calor de entrada

Cálculo de eficiencia térmica para motor No.1

Datos:

$P_1 = 213 \text{ kPa}$

$T_1 = 56^\circ\text{C} = 329.15^\circ\text{K}$

$P_4 = 179.26 \text{ kPa}$

$T_4 = 354^\circ\text{C} = 627.15^\circ\text{K}$

$D = 0,28 \text{ m}$

$R_c = 12,4:1$

$$S = 0,30 \text{ m}$$

$$N_{\text{rev}} = 900 \text{ RPM}$$

$$C_p = 1,005 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}$$

$$C_v = 0,718 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}$$

$$K = 1.4$$

$$R = 0,2870 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 10 se determina el volumen específico de aire:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{(0,2870 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K}) * (329,15^\circ\text{K})}{213 \text{ Kpa}} = 0,443 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Una vez encontrado el volumen específico del aire en el estado 1, se calcula la masa de aire en el mismo punto, utilizando la ecuación 11 y 12.

$$m = N_{\text{cil}} * \frac{\Delta V}{v_1} = N_{\text{cil}} * \frac{\pi D^2 S / 4}{v_1} = 16 * \frac{(\pi * 0,28\text{m}^2 * 0,30\text{m}) / 4}{0,443 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0,667\text{kg}$$

Al tener el valor de masa de aire en kg se calcula el flujo másico de aire sustituyendo los valores en la ecuación 13 obteniendo el siguiente resultado

$$\dot{m} = \frac{m \dot{n}}{N_{\text{rev}}} = \frac{(0,667 \text{ kg}) * \left( \frac{900 \text{ rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right)}{2 \text{ rev/ciclo}} = 5,002 \text{ kg/s}$$

Proceso 1-2; compresión isoentrópica:



Tomando los datos experimentales de  $T_1$  y  $P_1$ , se procede a encontrar la temperatura  $T_2$ , sustituyendo los valores en la ecuación 14.

$$T_2 = T_1 r_c^{k-1} = (329,15^\circ\text{K})(12,4)^{1,4-1} = 901,078^\circ\text{K}$$

El volumen máximo confinado dentro del cilindro es igual al volumen en el estado 1 y este se encuentra sustituyendo los valores en la ecuación 12.

$$V_1 = \frac{\pi D^2 S}{4} = \frac{\pi(0,28\text{ m})^2(0,30\text{ m})}{4} = 0,0184\text{ m}^3$$

Utilizando el valor de volumen  $V_1$  y la ecuación 15, se despeja para obtener el valor del volumen de aire  $V_2$ .

$$V_2 = \frac{V_1}{R_c} = \frac{0,0184\text{ m}^3}{12,4} = 1,483 * 10^{-3}\text{ m}^3$$

Según diagrama ciclo diesel ideal (figura 24) el  $V_1 = V_4$ , por lo tanto:

$$V_4 = 0,0184\text{ m}^3$$

Proceso de 2-3; adición de calor a presión constante:

El proceso de adición de calor se realiza a presión constante, por lo que la presión en el estado 2 es igual a la presión en el estado 3, donde surge la ecuación 20.

$$\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_2}{T_2} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Despejando  $T_3$  de la ecuación 12, se tiene

$$T_3 = \frac{T_4}{\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}}$$

Igualando  $T_3$  en ecuación 16 y despejando  $V_3$ , se obtiene

$$V_3 = \frac{V_2}{T_2} * T_3$$
$$V_3 = \left(\frac{V_2}{T_2} * T_4 * V_4^{k-1}\right)^{1/k} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Sustituyendo valores en la ecuación 17 se obtiene el volumen  $V_3$ .

$$V_3 = \left(\frac{(1,483 * 10^{-3} m^3)}{901,078 \text{ } ^\circ K} * (627,15 \text{ } ^\circ K) * (0,0184)^{1,4-1}\right)^{1/1,4}$$

$$V_3 = 2,350 * 10^{-3} m^3$$

Despejando  $T_3$  de la ecuación 20 se obtiene

$$T_3 = \frac{V_3}{V_2} * T_2 \quad (\text{Ecuación 22})$$

Sustituyendo valores en la ecuación 22 se obtiene la temperatura  $T_3$ .

$$T_3 = \frac{(2,350 * 10^{-3} m^3)}{(1,483 * 10^{-3} m^3)} * 901,078 \text{ } ^\circ K = 1,427.87 \text{ } ^\circ K$$

Proceso de 3-4; expansión isoentrópica:

Para el proceso de rechazo de calor se toma la temperatura  $T_4$  y  $P_4$  obtenidas de forma experimental.

Eficiencia térmica:

La eficiencia térmica es el aprovechamiento de energía térmica relacionando el calor de entrada y calor de salida.

Sustituyendo valores en la ecuación 17 se obtiene el calor de entrada:

$$q_{entra} = C_p (T_3 - T_2) = (1,005 \text{ kJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K})(1\,427,87^\circ\text{K} - 901,078^\circ\text{K})$$

$$q_{entra} = 529,420 \text{ kJ/kg}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 18 se obtiene el calor de salida:

$$q_{sale} = C_v (T_4 - T_1) = (0,718 \text{ kJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K})(627,15^\circ\text{K} - 329,15^\circ\text{K})$$

$$q_{sale} = 213,964 \text{ kJ/kg}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 19 se obtiene la eficiencia térmica del motor 1:

$$n_t = 1 - \frac{q_{sale}}{q_{entra}} = 1 - \frac{213,964 \text{ kJ/kg}}{529,420 \text{ kJ/kg}}$$

$$n_{termica} = 0,5958 \approx 59,60\%$$

Para el motor No.1 se determina una eficiencia térmica de 59,58 por ciento, lo que significa que del calor entregado por medio de la combustión un 40,42 por ciento se pierde por transferencia de calor a piezas debido al rozamiento y radiación al medio ambiente.

Tomando los datos de temperatura y presión tanto en la admisión de aire como en el escape de gases productos de la combustión. El resultado de los cálculos realizados para la obtención de eficiencia térmica de los diez motores de combustión interna ubicados en el cuarto de máquinas se presentan en la tabla XXXIX.

Tabla XXXIX. **Eficiencia térmica motores Caterpillar 3616**

No. Motor	Datos experimentales				Eficiencia térmica (%)
	Temperatura (°K)		Presión (kpa)		
	T1 (Admisión)	T4 (Escape)	P1 (Admisión)	P4 (Escape)	
1	329,15	627,15	213,00	179,26	59,60
2	273,15	628,28	213,00	179,26	59,57
3	328,15	628,27	210,00	179,26	59,57
4	327,15	644,71	200,00	172,37	59,37
5	329,15	654,15	190,00	153,13	59,31
6	330,15	639,96	210,00	187,88	59,48
7	324,15	641,34	209,00	180,99	59,34
8	326,15	641,96	212,00	167,20	59,38
9	333,15	645,78	209,00	172,37	59,48
10	327,15	634,84	212,00	174,09	59,48

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.3. Sistema de inyección de combustible

Es el encargado de que la combustión se realice de la forma más favorable para conseguir el máximo rendimiento del motor, es decir, que el combustible sea quemado en su totalidad. El combustible debe inyectarse en

condiciones precisas tanto en tiempo como en cantidad dosificada.

### 3.3.3.1. Elementos

Dentro de los elementos principales de ajuste en el sistema de inyección de los motores Caterpillar 3616 se pueden mencionar los siguientes:

- Inyectores unitarios

Los inyectores son dispositivos encargados de dosificar la cantidad de combustible que se inyecta en la cámara de combustión durante un tiempo determinado que depende del movimiento del pistón dentro del cilindro. Los motores poseen un inyector por cilindro encargado de suministrar el combustible a alta presión, por lo que los inyectores aparte de suministrar combustible funcionan como bombas de presurización del mismo. (Ver figura 25)

Figura 25. **Inyector de combustible unitario motores Caterpillar 3616**



Fuente: Centro de Energía Escuintla, SIDEGUA, S.A.

- Actuador electrónico-mecánico

Es el dispositivo encargado de regular el suministro de combustible para ambas bancadas del motor, es decir, en los dieciséis cilindros dependiendo de la carga de potencia a la que se someta el mismo.

El actuador recibe una señal electrónica del gobernador ubicado en cuarto de control dependiendo de la frecuencia y la variación de carga, este realiza el control de suministro de combustible por medio del movimiento mecánico de una serie de varillas que accionan en la alimentación hacia los inyectores. (Ver figura 26)

Figura 26. **Actuador electrónico-mecánico motores Caterpillar 3616**



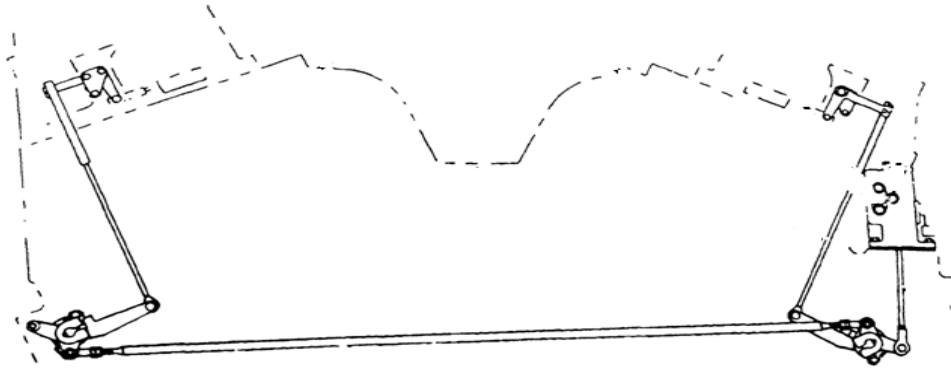
Fuente: Centro de Energía Escuintla, SIDEGUA, S.A.

- Varillaje de control

Las varillas de control son otro elemento mecánico de importancia en el sistema de inyección, ya que es por medio de estas que el actuador realiza el

control sobre los inyectores.

Figura 27. **Varillaje de control de inyección motores Caterpillar 3616**



Fuente: Caterpillar, Manual de operación y mantenimiento SSNR3593-02.p.56

### **3.3.3.2. Funcionamiento**

El funcionamiento básico del sistema de inyección consiste en la dosificación de combustible por medio del actuador electrónico-mecánico, este recibe señales análogas del gobernador que se encuentra sincronizado a las unidades generadoras comparando valores de frecuencia y potencia de carga. Al haber una variación de carga el gobernador manda una señal análoga al actuador y este realiza un movimiento mecánico en las varillas que controlan el suministro de combustible adicional en los inyectores.

Independientemente al combustible adicional, que por medio del actuador se envía a los inyectores, estos entregan combustible a los cilindros para que el motor funcione a baja carga. Los inyectores pulverizan y entregan el combustible en el momento preciso debido a la sincronización que poseen con el eje de levas del motor.

### 3.3.3.3. Calibración del sistema de inyección

Una de las formas de mejorar la eficiencia de los motores es por medio de la calibración del sistema de combustible. El sistema de combustible tiene diversos puntos de calibración como lo son; los inyectores de combustible y el mecanismo de control de combustible.

Los inyectores de combustible son reacondicionados en el laboratorio donde son descarbonatados, calibrados y probados para poder ser utilizados nuevamente en los motores.

Cada inyector posee una cremallera encargada de controlar la cantidad de combustible adicional inyectada en el cilindro para la regulación de carga por parte del actuador. Es por medio de esta que se regula la el aumento excesivo de temperatura en los cilindros, ya que la temperatura es proporcional a la cantidad de combustible suministrada.

- Ajuste de inyección por cilindro

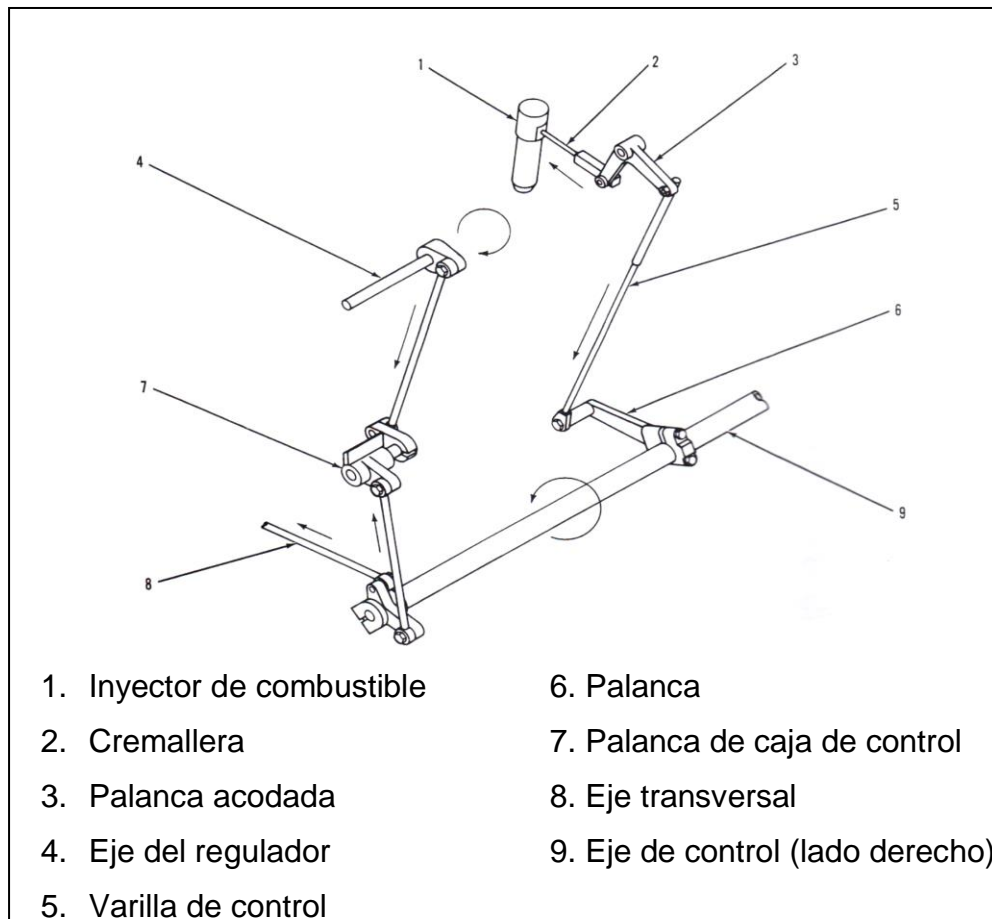
El ajuste de inyección por cilindro se realiza girando la varilla de control (*fuel rack*) identificada con el número 5 en la figura 28. Girar a favor de las agujas del reloj tiene como consecuencia un corte o disminución en la entrega de combustible y girar en contra de las agujas del reloj tiene como consecuencia un aumento en la entrega de combustible.

Considerando que la temperatura por cilindro debe permanecer dentro del rango de 300 a 400 grados Celsius es importante no llegar a los límites para no tener problemas en el funcionamiento. Se considera que una vuelta completa



del tornillo de la varilla de control reduce o aumenta la temperatura del cilindro en aproximadamente 10 grados Celsius.

Figura 28. **Varillaje del sistema de inyección**



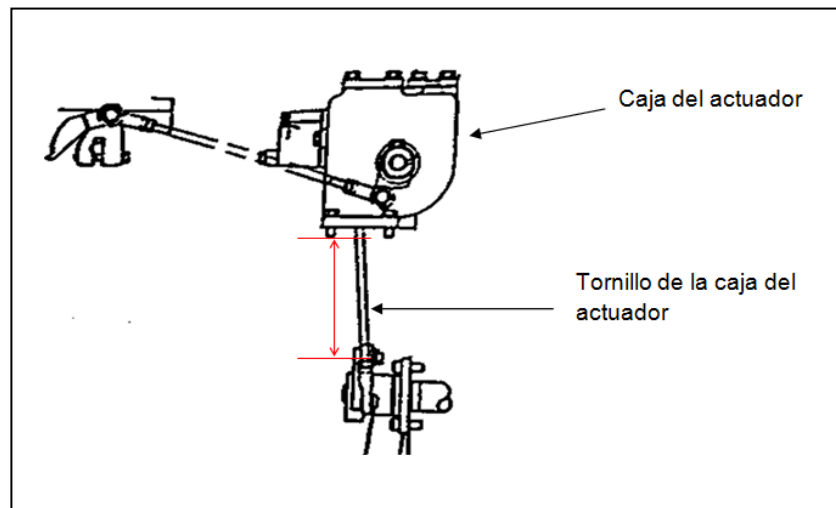
Fuente: Caterpillar, Manual de operación y mantenimiento SSNR3593-02.p.57

- Ajuste de inyección en ambas bancadas

Para poder realizar este ajuste, se debe dejar el tornillo de la varilla de control (*fuel rack*) a la mitad de su carrera en los dieciséis cilindros, posteriormente se realiza el ajuste en el tornillo de la caja del actuador. Una

vuelta del tornillo del actuador en sentido de las agujas del reloj aumentará la temperatura 10 Celsius, aproximadamente todos los cilindros (aumenta la cantidad de combustible inyectado por cilindro) y girar el tornillo del actuador en contra de las agujas del reloj disminuirá la temperatura 10°C en todos los cilindros (disminuyendo la cantidad de combustible inyectado por cilindro). Ver figura 29.

Figura 29. **Caja del actuador**



Fuente: Caterpillar, Manual de operación y mantenimiento SSNR3593-02.p.59

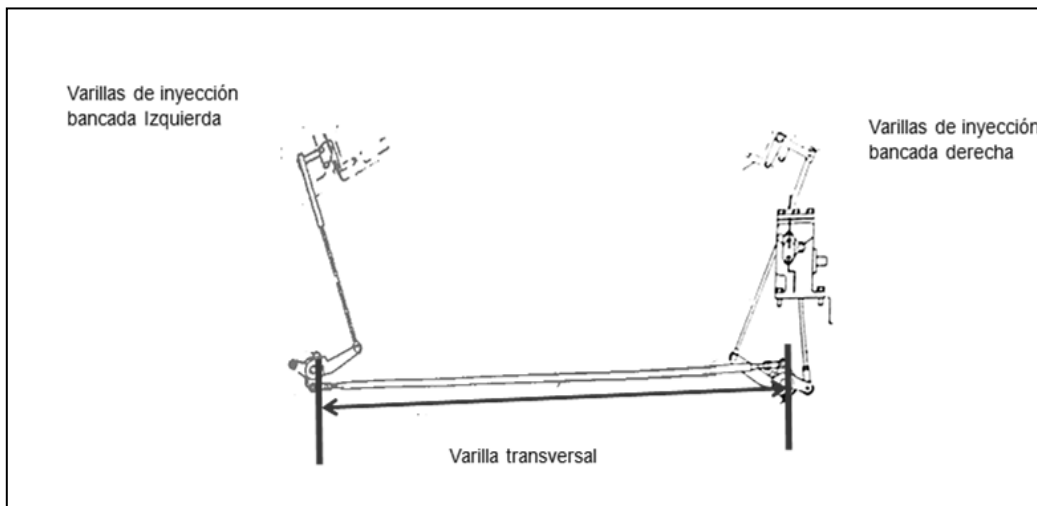
- **Ajuste de inyección por bancada**

Este tipo de ajuste se realiza cuando se tiene un promedio entre bancadas muy desigual por lo que se procede a ajustar la bancada cuyos valores de temperatura se encuentren fuera de la media operacional en relación a la otra bancada.

Para poder realizar este ajuste en las bancadas de manera individual, se debe dejar el tornillo de la varilla de control (*fuel rack*) a la mitad de su carrera

en todos los cilindros, posteriormente, se debe colocar el calibrador en la cremallera del inyector del cilindro No. 16 del motor y se debe ajustar la longitud de la varilla transversal que conecta tanto el cabezal de la bancada derecha como el cabezal de la bancada izquierda del motor, la longitud de la varilla será la correcta hasta que el calibrador logre ajustarse en la cremallera del inyector. (Ver figura 30)

Figura 30. **Ajuste de inyección por bancada**



Fuente: Caterpillar, Manual de operación y mantenimiento SSNR3593-02.p.56

#### **3.3.3.4. Análisis de calidad de combustible**

El combustible requerido por los motores debe cumplir una serie de especificaciones dadas por el mismo fabricante (ver tabla XL). Sin embargo, el búnker utilizado en el CEE, posee diversos orígenes debido a la existencia de diversos proveedores. Por lo que no se puede tener una especificación concreta del combustible utilizado, ya que se mezclan en el momento de su almacenamiento.

La única forma de conocer las especificaciones del combustible utilizado es por medio de un análisis de combustible para comparar parámetros importantes como: poder calorífico, viscosidad cinemática, densidad, punto de inflamación, punto de fluidez, residuo de carbón, ceniza, cantidad de agua, azufre, vanadio, aluminio, silicio entre los más importantes.

Tabla XL. **Especificación de combustible pesado para motores Caterpillar 3616**

<b>Limites de Combustible Pesado (HFO)</b>			
<b>Características</b>	<b>Limite</b>		<b>Prueba ASTM</b>
	<b>1000</b>	<b>750</b>	
<b>Velocidad del motor (rpm)</b>			
Viscosidad, (cSt a 50°C)	380 Max	700 Max.	
Densidad, (kg/m <sup>3</sup> a 15°C) (lb/gal a 59°F)	1010 * Max (8.43)	1010* Max (8.43)	D445 D287
Azufre, (% peso)	5 % Max	5 % Max	D2788 o D3605
Vanadio (ppm)	300 ppm Max	600 ppm Max	D2788 o D3605
Residuos de carbón 10 % fondo (% peso)	18% Max.	22% Max.	D524 o D189
Asfáltenos, (% peso)	12% Max.	15% Max.	D1319
Agua y sedimentos (% peso)	0.5 % Max.	0.5% Max.	D1796
Cenizas sulfatadas (% peso)	0.15 % Max.	0.20 % Max.	D482
Punto de inflamación, °C (°F)	60°C Min (140°F)	60°C Min (140°F)	D93
Aluminio (ppm)	3 ppm Max	3 ppm Max	D2788 o D3605
Silicio, (ppm)	3 ppm Max	3 ppm Max	D2788 o D3605

Fuente: Caterpillar, Manual de operación y mantenimiento SSB06966-03.p.88

Una vez obtenidos los análisis de combustible es importante realizar una serie de medidas que ayudan a corregir los problemas que se pueden dar por el uso de combustible contaminado o de mala calidad. Para esto se realizó una matriz de características, contaminantes, residuos y sus efectos sobre el motor y la forma de corregirlos. (Ver tabla XLI)

Tabla XLI. **Matriz de mitigación de problemas relacionados con el Combustible**

MATRIZ DE CARACTERÍSTICAS, CONTAMINANTES Y RESIDUOS DEL COMBUSTIBLE, SUS EFECTOS EN EL MOTOR Y LA FORMA DE CORREGIRLOS						
	Características	Nivel	Nivel	Causas	Efectos sobre el motor	Formas de corregir el problema
		Alto	Bajo			
Características de HFO	Viscosidad	✓		Alta presión de combustible	Dificultad en el arranque. Desgaste en eje de levas Desgaste en sistema de inyección Desgaste en inyectores	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Aumentar la temperatura del combustible</li> <li>●Centrifugación y filtración de combustible</li> <li>●Realizar mezcla (blending) de HFO con Diesel</li> </ul>
	Punto de Enturbamiento	✓		Perdida de fluidez en el combustible	Taponamientos en el filtro de combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Tempera ambiente más alta a la temperatura de enturbamiento</li> <li>●Realizar mezcla (blending) de HFO con Diesel</li> <li>●Añadir aditivos al combustible para mejorar el flujo</li> </ul>
	Calidad de Ignición		✓	Sobrepresiones que aumentan el trabajo mecánico del motor  Depósitos producidos por la combustión	Daños en anillos, pistones y cojinetes  Daños en las aspas de la turbinas del turbo compresor  Disminución de eficiencia y aumento de carga térmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Precalentar lo suficientemente el motor antes del arranque.</li> <li>●Mantener un funcionamiento apropiado del sistema de refrigeración del inyector</li> <li>●Funcionamiento apropiado del sistema de inyección</li> <li>●Mantener en buenas condiciones los inyectores (tobera del inyector)</li> </ul>
	<b>Tipos de Contaminantes del HFO</b>	<b>Nivel Alto</b>	<b>Nivel Bajo</b>	<b>Causas</b>	<b>Efecto sobre el motor</b>	<b>Formas y/o medidas de contrarrestar los efectos del contaminante</b>
Contaminantes de HFO	Contenido de agua de mar	✓		Corrosión en el sistema de tratamiento de combustible  Depósitos en los inyectores y anillos de pistón	Combustible contaminado y formación de depósitos  Alta frecuencia de cambio de inyectores	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar mantenimientos programados a los tanques de almacenamiento del combustible y utilizar combustible de mejor calidad</li> <li>●Separadoras de HFO en buenas condiciones</li> <li>●Realizar mantenimiento a separadoras de HFO de manera más frecuente y dependiendo de la calidad del combustible realizar mantenimientos con periodos más cortos q los recomendados por el fabricante.</li> </ul>
	Contenido de agua dulce	✓		Perdida de energía contenida en el combustible	Aumento en el consumo de combustible Formación de gran cantidad de fango en las separadoras de HFO	
	Contenido de azufre	✓		Formación de ácido sulfúrico	Ataque químico a superficies de metal en guías de válvulas, camisas de cilindro, anillos, pistones, cojinetes de biela Excesivo consumo de aceite lubricante más de lo normal Aumento de presión en el cárter del motor Aumento de gases de escape En general una reconstrucción prematura del motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Conocimiento del contenido de azufre del combustible y/o realizar análisis de combustible.</li> <li>●Mantener el sistema de enfriamiento a la temperatura normal de operación es decir por encima de 80°C.</li> <li>●Utilizar aceite lubricante con un TBN 20 mayor al contenido de azufre en el combustible</li> <li>●Realizar el análisis de aceite lubricante (S.O.S) como recomienda CATERPILLAR (cada 250 de servicio)</li> <li>●Realizar cambios de aceite lubricante con intervalos recomendados por CATERPILLAR o extendiendo la vida útil del aceite a un máximo de 4000 horas de servicio.</li> <li>●Realizar servicios a respiraderos del cárter para impedir la condensación del aceite.</li> </ul>
	Contenido de vanadio	✓		Corrosión durante la combustión	Ataque corrosivo en asientos de válvulas. (Dificultando el enfriamiento y fugas de compresión)  Daño en boquilla de inyectores de combustible Daño en los alabes de la turbina del turbocompresor	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Controlar la temperatura en las válvulas de escape (por medio de temperaturas de cilindros)</li> <li>●Reducir la carga o potencia del motor, de esta forma bajar la temperatura de cilindros. Mezclar combustible HFO con combustible destilado (Diesel)</li> <li>●Rotación de válvulas de escape.</li> </ul>
	Contenido de Sulfuro de Hidrogeno	✓		Formación de ácido sulfúrico	Corrosión en camisas de pistón, válvulas, y anillos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Mantener la temperatura del refrigerante en rango de operación. (88°C como min a la salida del motor)</li> </ul>
	Cloruro de Sodio (Sal)	✓		Formación de corrosión a altas temperaturas	Depósitos en turbina del turbocompresor y toberas del inyector	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar Mezcla (blending) de combustibles HFO con Diesel</li> </ul>
	Sedimentos potenciales	✓		Incrustaciones, óxidos, escorias de soldadura y otros desechos.	Disminución de la cantidad de energía aprovechable del combustible.	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar limpieza o drenado de sedimentos que generalmente se depositan en la parte inferior de los tanques de almacenamiento.</li> </ul>
	Asfáltenos	✓		Formación de depósitos en la cámara de combustión y sistema de escape.	Daño en válvulas. Daño en turbo compresores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Lavado de turbos</li> <li>●Realizar mezclas (blending) de combustible HFO y destilado.</li> </ul>
	Microorganismos en el combustible	✓		Desarrollo de bacterias	Corrosión y obstrucción de filtros	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Reducir al mínimo el contacto del combustible con el agua</li> <li>●Realizar mantenimiento a tanques de combustible</li> </ul>
	<b>Tipo de residuos</b>	<b>Nivel Alto</b>	<b>Nivel Bajo</b>	<b>Causas</b>	<b>Efectos de los residuos sobre el motor</b>	<b>Medidas para impedir la formación de residuos</b>
Residuos en la cámara de combustión.	Residuo de carbón	✓		Formación de depósitos en la cámara de combustión y sistema de escape.	Daño en el turbo compresor Daño en las boquillas de los inyectores de combustible Daño abrasivo en camisas de pistón y cilindro. Atranche de anillos Aumento de carga térmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar un control de calidad estricto del combustible utilizado</li> <li>●Realizar lavado de turbo compresores</li> <li>●Realizar cambios frecuentes en inyectores</li> </ul>
	Alto contenido de ceniza	✓		Residuos de metal que no pueden quemarse en el motor.	Formación de depósitos en válvulas Formación de depósitos en sistema escape y turbo cargador.	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar un control de calidad estricto del combustible utilizado</li> <li>●Realizar limpieza en post enfriadores y filtros de aire</li> <li>●Realizar lavado de turbos</li> <li>●Realizar separación eficaz de combustible</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

- Criterio para la corrección de problemas

La calidad del combustible es un factor muy importante para el rendimiento de los motores, ya que si esta es muy baja o no cumple los parámetros mínimos establecido por el fabricante, se tendrán problemas tanto en los mismos motores como en el sistema de tratamiento de combustible.

Estos daños pueden ir desde un taponamiento en filtros de combustible, mayor consumo de combustible, aumento en la frecuencia de cambio de inyectores, aumento en la presión en el cárter hasta problemas más graves como daños en válvulas, lo que conlleva a cambio de cabezas de cilindros (culata), averías en turbinas del turbocompresor, averías en pistones, camisas de pistón y anillos.

Las averías de mayor impacto ocasionan elevar el costo del mantenimiento, tener al motor como indisponible para la generación de energía eléctrica e incurrir en salidas forzadas del motor si este se encuentra generando en el momento de la avería.

Es por ello que se presentaron a la administración una serie de propuestas para contrarrestar los efectos de mala calidad en el combustible, estas se muestran a continuación:

- Realización de mezcla (*blending*) de bunker tipo C con diesel

:

Para conocer el porcentaje óptimo de diesel a utilizar en la mezcla con búnker se tomó como base la ecuación 23.

$$\% \text{ bunker en } = \frac{100}{1 + \left( \frac{A-B}{B-C} \cdot \frac{d_a}{d_c} \right)} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde:

% = porcentaje de búnker

A = proporción de impurezas de combustible búnker

B = nivel objetivo de impurezas de la mezcla (partes por millón o porcentaje)

C = proporción de impurezas en el diesel (partes por millón o porcentaje)

da = densidad del búnker

dc = densidad del combustible diesel

Para los cálculos se asume lo siguiente:

- Generalmente el contenido de impurezas en el búnker es de 18 %.
- Según Caterpillar, el porcentaje aceptable de impurezas en la mezcla es de 12% como máximo.
- El porcentaje de impurezas en el diesel es de 1 %
- La densidad del búnker es de 0,97 Kg/m<sup>3</sup> asumiendo que el búnker utilizado posee un 4 % de azufre y un poder calorífico de 17900 Btu/lb.
- La densidad del diesel es de 0,85 Kg/m<sup>3</sup>.

Utilizando los datos mencionados se tiene:

A= 18% de impurezas

B= 12% impurezas como máximo

C = 0% impurezas

da= 0,97 Kg/m<sup>3</sup>

dc= 0,85 Kg/m<sup>3</sup>

Sustituyendo dichos valores en la ecuación 23 se obtiene lo siguiente:

$$\% \text{ búnker en } = \frac{100}{1 + \left( \frac{18 - 12}{12 - 0} * \frac{0.97}{0.85} \right)} = 63,69\% \text{ de búnker}$$

Se requiere mezclar un 63,69% de bunker con un 36,31por ciento de diesel para mejorar las características del combustible. Esto equivale a que el tanque diario tiene una capacidad de 72 000 galones, de estos 26 143 galones de diesel deben ser mezclados con 45 857 galones de Bunker.



Generalmente, en el CEE no se tiene programado el mezclado de combustibles debido a los altos costos que esto incurre, sin embargo, es importante tener presente los indicios de fallas por mala calidad del combustible. En caso de no realizar el análisis de combustible recomendado, es importante tener el conocimiento de los indicios más comunes de fallas que se pueden dar en los motores debido a la mala calidad del combustible. (Ver tabla XLII).

Es necesario realizar un seguimiento en las fallas de inyectores y la frecuencia de estas en los diez motores. Si los inyectores fallan en periodos muy cortos de tiempo entre un motor y otro en número considerable, hay que realizar la mezcla de ambos combustibles.

Para realizar una mezcla de combustible es importante llevar un registro de las fallas y la frecuencia de las mismas en los motores debido a que es la única forma de determinar el momento en que se debe de realizar un *blending* (mezcla de combustible diesel con búnker).



Tabla XLII. **Fallas debido a mala calidad del combustible**

Atascamiento de inyectores	cambios frecuentes de inyectores
Atascamiento en válvulas, válvulas quemadas.	
Daño en cabezas de cilindro (culata) exceso de hollín o carbón, insertos de válvula dañados, guías de válvula dañado	
Daño en pistones, anillos, camisas de pistones.	

Fuente: elaboración propia.

Un indicio muy marcado de la mala calidad del combustible es la tendencia del fallo de culatas de manera inesperada en diferentes motores con un periodo o lapso de tiempo entre un motor y otro motor muy corto. Esto implica realizar un reacondicionamiento de la culata dañada. Además, la calidad del combustible aunque, compartido con la calidad del aceite lubricante, provoca arrastre de pistones y daño en camisas de pistones.

El realizar un *blending* implica un aumento en los costos de operación debido al precio que se cotiza el diesel en relación con el bunker, es por ello que se realizó una estimación del aumento de costos de operación cuando se realiza un *blending*.

Tabla XLIII. **Costos estimados para realización de *blending***

<b>Costos por mezcla de combustibles (blending)</b>				
<b>Capacidad del tanque diario</b>		<b>Porcentajes de mezcla</b>		
72 000 galones		63,69 % de bunker y 36,31 % diesel		
<b>Cantidad del bunker (gal)</b>	<b>Costo por galón bunker (quetzales)</b>	<b>Cantidad de diesel (gal)</b>	<b>Costo por galón diesel (quetzales)</b>	<b>Costo total(quetzales) (blending)</b>
45 857	Q. 23,76	26 143	Q. 27,18	Q. 1 800 129,06
<b>Cantidad de bunker (Gal)</b>	<b>Costo por galón bunker (quetzales)</b>			<b>Costo sin blending</b>
72 000	Q. 23,76			Q.1 710 720,00
				<b>Incremento del costo</b>
				<b>Q. 89 409,06</b>

Fuente: elaboración propia.

Los costos más bajos del bunker lo hacen parecer más económico. Sin embargo, el precio del combustible debe compararse con los contaminantes, los efectos, la reducción de vida útil de los componentes del motor y los costos más altos de mantenimiento correctivo. Se torna de suma importancia realizar la mezcla de los combustibles para alargar la vida del motor y controlar los costos de mantenimiento correctivo.

- Mantener el sistema de enfriamiento a la temperatura normal de operación

Es de suma importancia mantener dentro de los parámetros la temperatura del sistema de enfriamiento, es decir entre los 80 y 88 grados Celsius.

Por lo que es necesario realizar lo siguiente:

- Mantenimiento programado de los intercambiadores de calor (agua-refrigerante para motor), para el sistema de refrigeración.
  - Controlar y monitorear el funcionamiento de los termostatos del motor.
  - Mantener en funcionamiento apropiado el sistema de refrigeración de inyectores (ITC).
  - Realizar un mantenimiento programado de los núcleos de los postenfriadores, no únicamente mantenimiento correctivo sino preventivo.
- Realizar mantenimientos programados en los tanques de almacenamiento y sistema de tratamiento de combustible
    - Realizar limpieza o drenado de sedimentos que generalmente se depositan en la parte inferior de los tanques de combustible.
    - Realizar mantenimiento frecuente a los calentadores y a las separadoras de combustible.

- Realizar mantenimiento efectivo en filtros de combustible.
- Utilizar aceite lubricante de motor en buenas condiciones para evitar daños por formación de ácido sulfúrico.
  - Realizar el análisis de aceite lubricante (S.O.S) como recomienda Caterpillar (cada 250 horas de servicio como mínimo).
  - Llevar el control del nivel de TBN del aceite lubricante, que no se reduzca más del 50 % del TBN original del aceite lubricante.
  - Realizar cambios de aceite lubricante con intervalos recomendados por Caterpillar o extendiendo la vida útil del aceite a un máximo de 4 000 horas de servicio.

#### **3.3.4. Sistema de enfriamiento**

El sistema de enfriamiento es el encargado de mantener el motor en los parámetros de temperatura adecuados para un rendimiento térmico óptimo. Debido a la combustión se produce un excedente de calor dentro del motor que puede alcanzar temperaturas críticas de hasta 1 925 grados Celsius dentro de la cámara de combustión, es por ello la importancia del buen funcionamiento del sistema.

### 3.3.4.1. Elementos

Dentro de los elementos más importantes del sistema de enfriamiento de los motores Caterpillar 3616 ubicados en el CEE, por el tipo de instalación se pueden mencionar los siguientes:

- Intercambiador de calor

Dispositivo encargado de transferir el calor por convección del agua de enfriamiento del bloque del motor y núcleo de los postenfriadores al agua de enfriamiento proveniente de la torre de enfriamiento. Cuenta con una capacidad de eliminación de calor de entre 8 a 10 por ciento, por lo que debe entregar el agua de enfriamiento (refrigerante) al motor a una temperatura promedio entre 50 y 65 grados Celsius.

Figura 31. **Intercambiador de calor y tanque de expansión**



Fuente: Centro de Energía Escuintla, SIDEQUA, S.A.

- Postenfriador y enfriador de aceite (AC/OC)

El postenfriador es un intercambiador de calor por convección encargado de enfriar el aire de admisión para aumentar la densidad del mismo con el objetivo de aumentar el rendimiento de la combustión. En este circula agua de enfriamiento a una temperatura no mayor a 38°C.

El enfriador de aceite es un intercambiador de calor por convección encargado de disminuir la temperatura del aceite lubricante luego de realizar su recorrido por todos los dispositivos mecánicos en el interior del motor. Al igual que los postenfriadores el agua de enfriamiento debe permanecer a una temperatura entre los 20 a 38 grados Celsius.

- Tanque de expansión

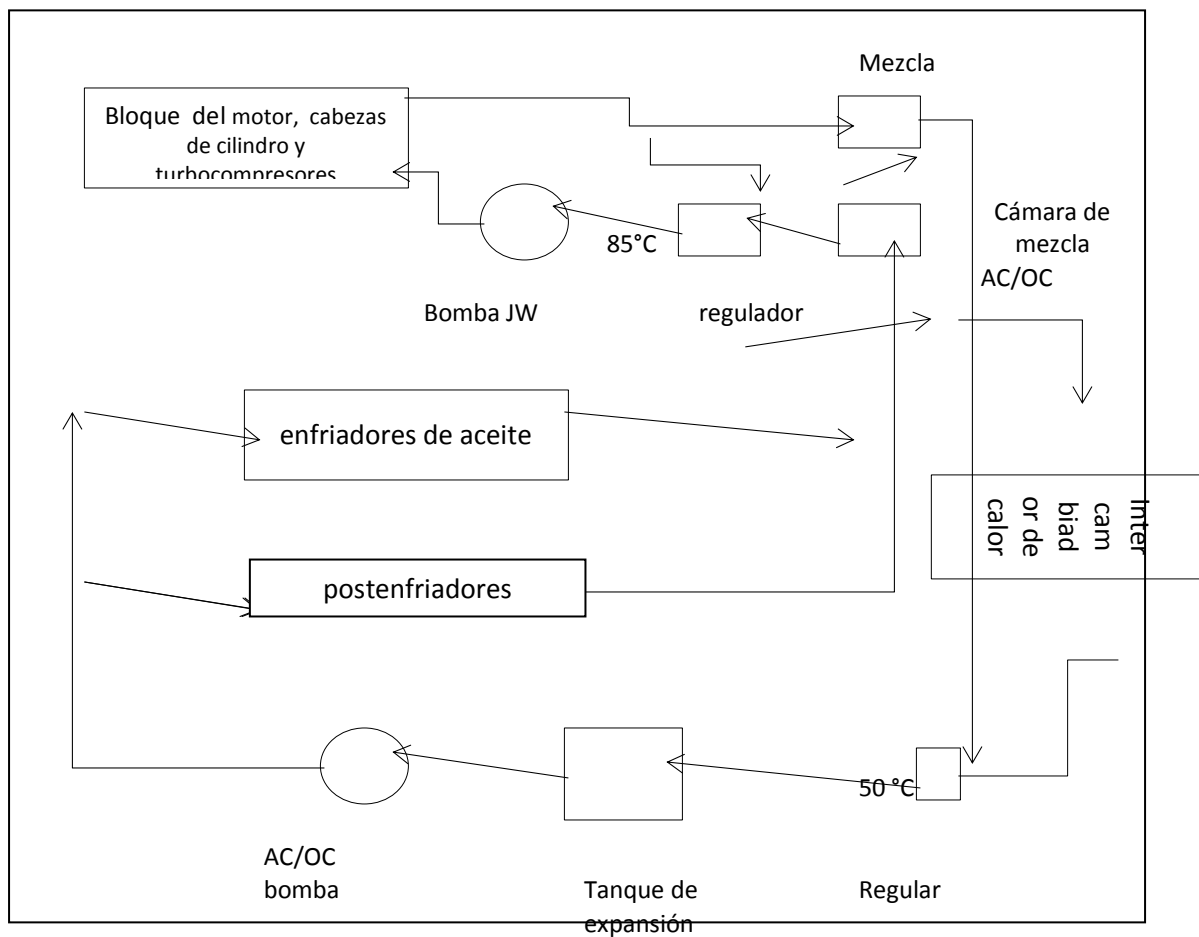
Es el tanque donde se almacena el agua de enfriamiento y toma el nombre de tanque de expansión debido a que se usa como reserva debido a la expansión que sufre el agua de enfriamiento al mezclarse con el aditivo refrigerante, este posee una capacidad en volumen de 80 gal. (ver figura 31)

#### **3.3.4.2. Funcionamiento**

El caudal de agua de enfriamiento dentro del motor es producido por dos bombas, una de ellas es la encargada de distribuir presión y caudal de agua de enfriamiento al circuito de postenfriadores y enfriadores de aceite a una presión entre 150 a 300 kilo pascales y la otra bomba tiene la función de distribuir el caudal de agua de enfriamiento al bloque del motor, cabezas de cilindro, camisas de cilindro y turbocompresores a una presión mayor de 350 kilo pascales.

Ambas bombas toman el agua enfriamiento del tanque de expansión luego que ha pasado por el intercambiador de calor para donar parte del calor extraído del motor, posteriormente el caudal es enviado a todos los dispositivos que lo requieren, tomando en cuenta que existen diversos termostatos encargados de regular la temperatura en todo el circuito.

Figura 32. Diagrama de sistema de enfriamiento



Fuente: Caterpillar, Guía de instalación y aplicación.p. 21.

### 3.3.4.3. Refrigerantes y aditivos

El refrigerante es una mezcla de agua con un aditivo refrigerante suplementario y glicol.

- Contenido de agua

El agua es el agente de transferencia de calor más eficiente, accesible y económico. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que cada fuente de agua posee diferentes niveles de contaminantes que debido a las altas temperaturas de operación forman ácidos o incrustaciones que reducen la vida útil del sistema de enfriamiento y del motor en sí.

Se recomienda que el agua cumpla los siguientes requisitos:

Tabla XLIV. **Características mínimas del agua de enfriamiento**

<b>Características mínimas del agua aceptable para uso en sistemas de enfriamiento de los motores caterpillar 3616</b>		
<b>Características</b>	<b>Límites</b>	<b>Métodos de prueba, ASTM</b>
Cloruro (Cl), gr/gal (ppm)	2.4 (40) máx.	D512b, D512d, D4327
Sulfato (SO <sub>4</sub> ), gr/gal (ppm)	5.9 (100) máx.	D516b, D516d, D4327
Dureza Total, gr/gal (ppm)	10 (170) máx.	D1126b
Sólidos Totales, gr/gal (ppm)	20 (340) máx.	D1888a
pH	5.5 - 9.0	D1293

Fuente: Caterpillar, Manual de operación y mantenimiento.p. 93.



- Contenido de aditivo refrigerante suplementario

Es necesario utilizar un aditivo refrigerante suplementario, ya que impide la formación de escamilla, herrumbre y depósitos minerales, además protege todos los metales, aleaciones, empaquetaduras y mangueras encontradas en el motor.

Se debe utilizar en concentraciones adecuadas, ya que una dosis demasiado alta causa que los inhibidores salgan de solución. Provocando reducción en la transferencia de calor, fugas, formación de sustancias gelatinosas, obstrucción de núcleos de post enfriador e intercambiador de calor.

- Contenido de glicol

El contenido de glicol en el refrigerante es muy importante, ya que ayuda a proteger el motor de la cavitación en las bombas de agua y camisas, además evita que el refrigerante llegue a su punto de ebullición y congelación. Se recomienda una mezcla 1:1 de agua y glicol para obtener un rendimiento óptimo del sistema de enfriamiento.

- Recomendaciones sobre el uso de refrigerante

Existen varios tipos de refrigerantes que recomienda el fabricante sin embargo cada uno posee características similares y las diferencia consiste en el tiempo de vida útil. En la tabla XLV se observan los refrigerantes recomendados.

Tabla XLV. Tipos de refrigerantes

Duración del refrigerante	
Tipo de refrigerante	Duración (años)
ELC Caterpillar	6
DEAC Caterpillar	3
Refrigerante/Anticongelante comercial de servicio pesado que cumple ASTM D5345	2
Refrigerante/Anticongelante comercial de servicio pesado que cumple ASTM D4985	1
SCA Caterpillar y Agua	2
SCA Comercial y agua	1

Fuente: Caterpillar, Manual de operación y mantenimiento.p. 95.

El tipo de refrigerante utilizado en el CEE es la combinación de SCA Caterpillar con agua. Se realizó una serie de cálculos para obtener la dosificación ideal, tanto en el llenado inicial cuando se ha extraído todo el contenido de refrigerante por motivo de mantenimiento del sistema de enfriamiento, como para el mantenimiento preventivo programado.

- Adición de SCA al agua durante el llenado inicial

El llenado inicial se realiza cuando existe un cambio total de refrigerante en el sistema de enfriamiento, generalmente el cambio se da cuando el aditivo a llegado al final de su vida útil.

La cantidad de aditivo (SCA) depende de la capacidad del sistema de enfriamiento, por lo que el volumen de aditivo se calcula utilizando la ecuación 24.

$$X = V * 0.07 \quad \text{(Ecuación 24)}$$

Donde:

V = es el volumen total de sistema

X = es la cantidad necesaria de aditivo SCA

Sustituyendo el valor de capacidad volumétrica del sistema en la ecuación 20, se obtuvo:

$$445 \text{ gal} * 0,07 = 31 \text{ gal}$$

Para el llenado inicial, el volumen de aditivo (SCA) a mezclar con el agua de enfriamiento es de 31 galones.

Adición de SCA al agua para el mantenimiento

Es importante mantener los niveles apropiados de aditivo en el agua de enfriamiento, para determinar dicha cantidad se utilizó la ecuación 25.

$$X = V * 0.0023 \quad \text{(Ecuación 25)}$$

Donde:

V= es el volumen total del sistema

X= cantidad necesaria de aditivo (SCA) para mantenimiento

Sustituyendo el valor de capacidad volumétrica del sistema en la ecuación 21, se obtuvo:

$$445 \text{ gal} * 0.023 = 10.5 \text{ galones}$$

El volumen de aditivo (SCA) a mezclar en el sistema es de 10,5 galones. Se sugiere agregar esta cantidad de aditivo cada 250 horas de servicio.

Sin embargo, se recomienda comprobar el nivel de aditivo (SCA) en el refrigerante y realizar la dosificación recomendada, esto se hace midiendo el nivel del mismo en partes por millón (ppm) por medio de la prueba 8T-5296, cuyos parámetros se encuentran en la tabla XLVI.


Tabla XLVI. **Parámetros de concentración de aditivo**

<b>Lectura (ppm)</b>	<b>Acción</b>	<b>Dosificación de SCA (gal)</b>
200	Dosificación completa	31
500	3/4 de dosificación completa	23
1200	1/2 de dosificación completa	15
2000	Ideal	
4000	Drene el 50% de la mezcla y complete 50% agua	

Fuente: Caterpillar, prueba 8T-5296

Durante el Ejercicio Profesional Supervisado se realizó el seguimiento sobre la adición de aditivo refrigerante (SCA) en los diez motores para el cual se utilizó el formato que se muestra en la figura 33.

Figura 33. **Formato de seguimiento de adición de aditivo (SCA)**

	<b>MANTENIMIENTO MECÁNICO</b>		Página
	Análisis de aditivo refrigerante suplementario SCA en los motores CAT 3616		1
	Elaboró	Revisó	Fecha:
	Nombre	Edgar Lionel Alonzo Rosales	Aprobó

1. Se sacó una muestra de agua mezclada con aditivo refrigerante utilizada para el enfriamiento del motor. La muestra se tomo de los diez motores CAT 3616.
2. Con el kit Caterpillar No. 4C9301 para realizar el test.
3. Luego se procedió a realizar el test según el procedimiento establecido.
4. A continuación las lecturas del test, comparando con la lectura de ppm del kit 4C9301.

No. Motor	Resultado de la prueba (lectura en ppm)	Conclusión y acciones
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Fuente: elaboración propia.

#### **3.3.4.4. Preservación del sistema de enfriamiento**

Al realizar el estudio se descubrieron varias formas de preservar el sistema de enfriamiento con el objetivo de evitar daños o fallas mayores que puedan incurrir en el rendimiento de los motores, las cuales se mencionan a continuación:

- Análisis de agua

Es importante realizar el análisis de agua para evitar problemas de recalentamiento, fugas en las bombas de agua, obstrucción en el intercambiador de calor y picaduras en las camisas de cilindros.

Es conveniente utilizar agua destilada o desionizada y evitar el uso de agua dura o agua suavizada con sal y combinar el agua con el aditivo refrigerante ya que evita la formación de corrosión.

- Análisis de contenido de SCA en el agua

Se debe realizar para preservar el aditivo y evitar corrosión, herrumbre, depósitos minerales y cavitación a lo largo de todo el sistema. Este análisis se debe de realizar cada 250 horas de servicio y la dosificación se debe efectuar según la tabla XLV.

- Limpieza de núcleos de postenfriador

La limpieza de los postenfriadores se debe realizar luego de 4 000 horas de servicio del motor o en su efecto cuando la presión diferencial en la entrada de aire sea mayor a 2 kpa.

- Limpieza el sistema de enfriamiento

La limpieza del sistema de enfriamiento debe de realizarse cada 2 años ó cada 2 000 horas de servicio, siguiendo los pasos que se describen a continuación:

- Drenar el sistema de enfriamiento y lavar con agua limpia para eliminar los residuos.
- Llenar el sistema de enfriamiento con una mezcla de agua y limpiador rápido de sistemas de enfriamiento.
- Arrancar el motor y dejar que opere durante 30 minutos con la temperatura del refrigerante de al menos 82 °C.
- Detener el motor y dejar que este enfríe. Drenar el sistema de enfriamiento.
- Introducir agua en el sistema de enfriamiento hasta que esta salga totalmente limpia. Posteriormente hacer el llenado inicial combinando refrigerante (SCA) y agua tratada dosificando de la siguiente forma; 414 galones de agua tratada y 31 galones de aditivo de refrigerante suplementario (SCA).

### **3.3.5. Sistema de lubricación**

El sistema de lubricación tiene como función el proveer de aceite lubricante a todas las piezas internas que se encuentran en constante movimiento relativo durante la operación del motor. Tomando en cuenta que el aceite lubricante tiene el objetivo de evitar el rozamiento directo entre piezas y así disminuir el desgaste de las mismas.

#### **3.3.5.1. Elementos**

Los elementos principales del sistema de lubricación en los motores Caterpillar 3616 se describen a continuación:

- Cárter o depósito de aceite lubricante

Dispositivo encargado de almacenar el aceite lubricante, para que este sea bombeado por medio de conductos a todos los dispositivos mecánicos como; turbocompresores, cabezas de cilindro, cilindros, ejes de levas, etc., la capacidad volumétrica del cárter es de 443 galones.

- Bomba de lubricación y pre lubricación

La bomba de lubricación es accionada por el cigüeñal del motor a través de la sincronización de engranajes que existe entre ambos. Esta tiene la función de enviar el aceite lubricante por el sistema a una presión mayor de 400 kilopascales.

La bomba de prelubricación es accionada por un motor eléctrico y su función es circular aceite lubricante por el motor momentos antes de poner en funcionamiento el mismo, con el objetivo de evitar desgaste por lubricación insuficiente en el momento del arranque.

- Válvula de prioridad

Es un conjunto de válvulas que accionan por presión y la regulan a lo largo de todo el sistema. Envía el aceite hacia los cilindros a una presión de 120 kilopascales y regula la presión total del sistema cuando esta es mayor de 1 000 kilopascales por medio de válvulas de desfogue.



- Elementos filtrantes

El sistema posee una serie de filtros a lo largo de todo el sistema cuyo objetivo principal es atrapar las impurezas que ocasionan abrasión en las piezas internas del motor.

Posee un filtro en el fondo del cárter para realizar el primer atrapamiento de impurezas en el circuito, posteriormente posee tres filtros centrífugos que se accionan cuando la presión de aceite alcanza los 100 kilopascales y por último, los filtros principales de aceite que se encuentran en dos módulos ubicados en serie.

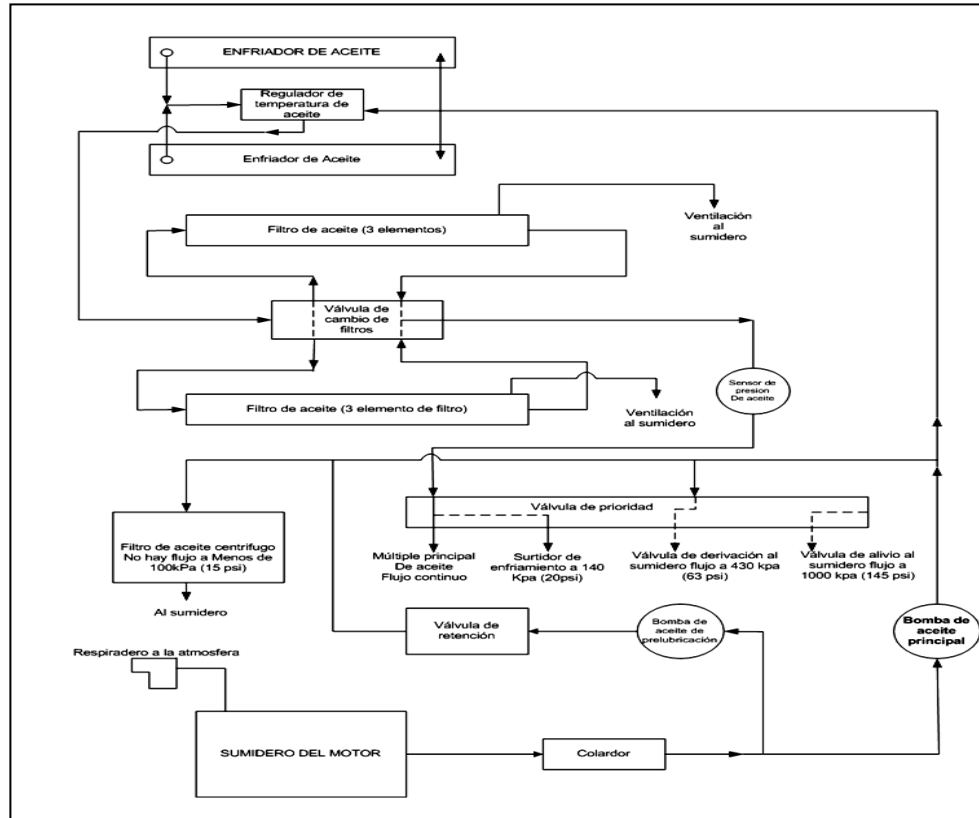
### **3.3.5.2. Funcionamiento**

La bomba de lubricación es la encargada de succionar el aceite lubricante del cárter para luego enviarlo a una presión de entre 400 a 550 kilopascales a los enfriadores de aceite, una vez reducida la temperatura del aceite en aproximadamente 80 a 90 grados Celsius, este se envía a los módulos de filtración. Ya filtrado el aceite, el flujo del mismo es regulado por la válvula de prioridad encargada de enviar presión de aceite al bloque del motor, cilindros y cabezas de cilindros. (ver figura 34)

### **3.3.5.3. Tipo de lubricante**

Es toda sustancia líquida, semisólida o sólida de origen vegetal, mineral o sintética que se utiliza para disminuir el rozamiento entre piezas en movimiento. El lubricante para motores está compuesto por la base y los aditivos utilizados para mejorar las características del aceite lubricante y proteger el motor.

Figura 34. Diagrama esquemático del sistema de lubricación



Fuente: Caterpillar, Manual de sistemas pruebas y ajustes.p. 16.

La base de origen mineral se obtiene por destilación de petróleo compuesta generalmente por carbono, hidrogeno, azufre, nitrógeno y en menor proporción oxígeno. Mientras la base sintética se obtiene mediante la transformación por síntesis química de materias primas como siliconas, poliéteres, alifáticos, aromáticos y ésteres.

El lubricante que se utiliza en los motores, es el Taro 40 XL 40, recomendado para lubricación en motores estacionarios de generación de velocidad media, turbo alimentados y que utilizan combustibles con niveles variados de azufre y con aditivos necesarios para proteger las piezas contra

herrumbre y corrosión. En la tabla XLVII se muestran la especificación del aceite lubricante.

Tabla XLVII. **Especificaciones de aceite lubricante**

<b>Especificaciones de aceite lubricante Taro 40 XL 40</b>	
<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Apariencia	Rojo oscuro
Gravedad, API	23,90
Inflamación, °C	237
Punto de fluidez, °C	-15
Viscosidad	
cSt a 40°C	139
cSt a 100°C	14,0
Índice de viscosidad	97
No. Total base (TBN)	40
Cenizas Sulfatadas, peso %	5,2

Fuente: Texaco, *Taro engine oil.p. 2.*

#### **3.3.5.4. Análisis de calidad de aceite lubricante**

El aceite lubricante con varias horas de servicio acumulado contiene productos químicos que se producen debido a la exposición a altas temperaturas y presiones dentro del motor. Contiene pequeñas partes de diferentes metales debido al desgaste de piezas, partículas de hollín, azufre y ácidos que se producen debido a la combustión del bunker.

En el CEE se tomaban muestras de aceite lubricante para cada motor, estas muestras eran enviadas para análisis en los laboratorios del proveedor y los resultados indicaban en términos muy generales que este se encontraba en buenas condiciones, sin embargo, los problemas debido a la mala lubricación

según generados mantenimientos correctivos que tenían implicaciones tanto en costos como en disponibilidad de las unidades.

Por lo que se realizó un estudio sobre los parámetros que ayudan a determinar las condiciones del aceite lubricante en función de la calidad requerida y aceptable para el buen funcionamiento de los motores.

#### **3.3.5.4.1. Parámetros**

Dentro de los principales parámetros a tomar en cuenta en el análisis de aceite lubricante se mencionan los siguientes:

- Nivel de azufre en el combustible

El bunker C generalmente, posee un contenido de azufre entre 3 a 4 por ciento por unidad de masa.

- Viscosidad

El aumento de la viscosidad del aceite lubricante usado en relación a la viscosidad original, significa que ha habido oxidación en el aceite y provoca formación de lodos y barnices, batido del aceite en cojinetes y baja bombeabilidad en el arranque. El aumento permisible de la viscosidad se considera como máximo un 10 por ciento mayor que el original.

La dilución del combustible en el aceite lubricante tiene como consecuencia la disminución de la viscosidad del aceite provocando un aumento en el desgaste del motor. La disminución permisible de la viscosidad se considera como máximo un 10 por ciento menor que el original. La dilución

máxima aceptada de combustible en el aceite es de un 3 por ciento del volumen.

- Número total base (TBN)

Los aditivos detergentes proporcionan al aceite lubricante una ligera alcalinidad o basicidad, a la que se llama, generalmente, reserva alcalina y es la que neutraliza a los ácidos formados en el proceso de combustión.

El nivel mínimo de TBN en el aceite lubricante debe ser 20 veces el nivel de azufre que posee el combustible. La reducción de TBN en un 50 por ciento del valor original indica que el aceite lubricante debe sustituirse.

- Humedad

La contaminación de aceite del motor por humedad tiene como resultado mala lubricación y formación de sedimentos. Una lectura normal deberá tener como resultado un 0,5 por ciento de contenido de agua en el aceite lubricante.

El agua actúa como catalizador para promover oxidación en la presencia de metales como hierro, cobre y plomo. Cuando existe agua libre en el cárter pueden crearse micro-organismos que literalmente se comen el aceite, formando ácido que causan oxidación y obstruyen los filtros.

El agua reduce la película lubricante e interfiere la lubricación dejando susceptibles al desgaste abrasivo, adhesivo y fatiga. Por la alta presión, las gotas de agua colapsan causando cavitación. Esta cavitación se ve como corrosión o picadura de las superficies donde hay diferentes presiones.

- Materiales de desgaste

El aceite lubricante contiene partículas de diversos materiales productos del desgaste que sufren las piezas internas del motor. A pesar del desgaste normal, existen niveles máximos aceptables de partículas metálicas o no metálicas. Dentro los materiales que se encuentran mezclados en el aceite lubricante se pueden mencionar:

- Hierro

El hierro es el principal metal de desgaste. Los parámetros que se manejan son: contenido normal de 50 a 250 partes por millón, contenido anormal de 250 a 350 partes por millón y contenido en exceso 350 partes por millón o más.

Las fuentes de hierro en el aceite provienen por desgaste anillos y cilindros, bomba de aceite, eje de levas, cigüeñal, válvulas pasadores de biela, seguidores de biela, camisas de cilindros y engranajes.

- Aluminio

El contenido de aluminio en el aceite lubricante se basa en los parámetros siguientes: contenido normal de 5 a 25 partes por millón, contenido anormal 30 partes por millón y contenido excesivo mayor de 40 partes por millón.

Las partículas de desgaste de aluminio provienen de los cojinetes de biela, cojinetes de eje de levas, pistones, arandelas de empuje y turbocompresores.

- Cobre

El contenido de cobre en el aceite lubricante se basa en los parámetros siguientes: contenido normal de 5 a 25 partes por millón, contenido anormal 100 partes por millón, contenido excesivo mayor de 300 partes por millón.

El cobre proviene de cojinetes, bujes, enfriador de aceite, bujes de biela, turbocompresor, bomba de aceite, bombas de agua.

- Estaño

El contenido de estaño en el aceite lubricante se basa en los parámetros siguientes: contenido normal de 0 a 1 partes por millón, contenido anormal de 5 a 10 partes por millón y contenido excesivo mayor de 15 partes por millón. El estaño se puede originar en recubrimiento de pistones y cojinetes.

- Cromo

El contenido de cromo en el aceite lubricante se basa en los parámetros siguientes: contenido normal de 5 a 25 partes por millón, contenido anormal de 30 partes por millón y contenido excesivo mayor de 40 partes por millón.

- Silicio

Un alto contenido de silicio requiere una revisión completa del sistema de aire de admisión. Debido que la cantidad de silicio entra únicamente por el polvo aspirado por el motor o contaminación que se puede producir mediante el mantenimiento.

El contenido de silicio se basa en los parámetros siguientes: contenido normal de 5 a 25 partes por millón, contenido anormal de 30 partes por millón y contenido excesivo de 40 partes por millón.

- Plomo

Se puede encontrar en revestimiento de cojinetes de bancada y biela, revestimiento en cojinetes de árbol de levas y cojinetes del turbocompresor. El contenido de plomo se basa en los parámetros siguientes: contenido normal de 0 a 10 partes por millón, contenido anormal de 10 a 20 partes por millón y contenido excesivo mayor a 20 partes por millón.

- Sodio

El sodio puede penetrar debido a la humedad del aire que succiona el motor, pero generalmente es un residuo de agua contenida en el combustible o en mismo sistema de refrigeración.

- Níquel

El contenido de plomo en el aceite lubricante se basa en los parámetros siguientes: contenido normal de 0 a 10 partes por millón, contenido anormal de 10 a 20 partes por millón y contenido en exceso mayor de 20 partes por millón.

- Calcio

El nivel mínimo de calcio permitido en el aceite lubricante es de 12 000 partes por millón.



La tabla XLVIII contiene los parámetros de viscosidad, humedad, TBN y materiales de desgaste para el aceite Taro 40 XL 40 utilizado en los motores Caterpillar 3616 ubicados en el Centro de Energía Escuintla.

### 3.3.5.4.2. Degradación del aceite lubricante

El aceite lubricante se oxida al contacto con el oxígeno, por lo que luego de muchos meses de servicio este se torna de color oscuro, este nivel de oxidación afecta la apariencia del aceite, pero no afecta el resto de sus características.

Sin embargo, entre más partículas de desgaste metálicas existan, mayor degradación de aditivos sufrirá el aceite lubricante. Las partículas metálicas como cobre, hierro y plomo aumentan la velocidad de oxidación del aceite; y quitan al mismo sus aditivos polares, incluyendo los anti desgaste, inhibidores de herrumbre y dispersantes.

Tabla XLVIII. **Parámetros de aceite lubricante Taro 40 XL 40**

Parámetro	Valor normal	Valores límites	Valor excesivo
TBN	40 mg/KOH	20 - 40 mg/KOH	< 20 mg/KOH
Viscosidad a 40°C	139 (aceite nuevo)	125-153 (+/- 10%)	118-160(+/- 15%)
Viscosidad a 100°C	14.0 (aceite nuevo)	12 -16 (+/-10%)	11-17 (+/- 15%)
Índice de viscosidad	97 (aceite nuevo)	88-106 (+/-10%)	82-112 (+/- 15%)
Humedad	0.50%	0.5 - 2%	> 2%
Hollin de carga	Sin referencia	Sin referencia	sin referencia
Calcio	> 12,000 ppm	< 12,000 ppm	<< 12,000 ppm
Zinc	Sin referencia	sin referencia	sin referencia
Fósforo	Sin referencia	Sin referencia	sin referencia
Boro	Sin referencia	Sin referencia	sin referencia
Hierro	50 a 250 ppm	250 a 350 ppm	> 350 ppm
Cobre	5 a 25 ppm	30 a 100 ppm	> 300 ppm
Plomo	0 a 10 ppm	10 a 20 ppm	> 20 ppm

Continuación de la tabla XLVIII.

Cromo	5 a 25 ppm	30 ppm	> 40 ppm
Aluminio	5 a 25 ppm	30 ppm	> 40 ppm
Estaño	0 a 1 ppm	5 a 10 ppm	> 15 ppm
Niquel	0 a 10 ppm	10 a 20 ppm	> 20 ppm
Vanadio	Sin referencia	Sin referencia	sin referencia
Silicio	5 a 25 ppm	30 ppm	> 40 ppm

Fuente: Norma ASTM D2422, ASTM D5185.

Una vez establecidos los parámetros se procedió a analizar los resultados del análisis en los diez motores tomando como parámetros críticos el nivel de viscosidad, TBN y humedad.

Los primeros resultados de laboratorio analizados arrojaron que los motores 7, 8, 9 y 10 poseían valores fuera de rango en relación a la viscosidad del aceite. Dichos motores contaban con una viscosidad demasiado alta y con tendencia a aumentar.

Teniendo en cuenta que el aumento de la viscosidad en el aceite lubricante provoca lodos y barnices que causan problemas de arrastre o agarrotamiento de superficies como juntas, cojinetes, camisas de pistón, válvulas y desgaste excesivo del cigüeñal. El aceite lubricante de estos cuatro motores fue centrifugado una hora durante cinco días consecutivos con el objetivo de disminuir la viscosidad, posteriormente se tomaron muestras de aceite y fueron enviadas al laboratorio para darle seguimiento al problema.

Contando con los resultados del segundo análisis se procedió a hacer una comparación de parámetros sobre el antes y el después de la centrifugación de aceite lubricante, cuyos resultados se muestran en la tabla XLIX.

Tabla XLIX. **Resultados de centrifugación aceite lubricante**

	<b>Motor 7</b>			<b>Motor 8</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Apariencia	Marrón oscuro	Marrón oscuro	Igual	Marrón oscuro	Marrón oscuro	Igual
TBN	34,43	34,21	0,22	34,39	33,79	0,6
Viscosidad a 40°C	164,1 cSt	163,2 cSt	0,9 cSt	165,4 cSt	165,3 cSt	0,1 cSt
% humedad	0,22%	0,20%	0,02%	0,22 %	0,21 %	0,01 %
% de Hollín	0,37%	0,37%	-----	0,37 %	0,39 %	-----
	<b>Motor 9</b>			<b>Motor 10</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Apariencia	Marrón oscuro	Marrón oscuro	Igual	Marrón oscuro	Marrón oscuro	Igual
TBN	35,63	35,67	0,04	36,08	35,82	0,26
Viscosidad a 40°C	163,3 cSt	162 cSt	1,3 cSt	161,6 cSt	160,2 cSt	1,4 cSt
% humedad	0,22 %	0,21 %	0,01 %	0,21%	0,21 %	-----
% de hollín	0,39 %	0,39 %	-----	0,39%	0,39%	-----

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en los cuatro motores, el valor del TBN tiene una tendencia a seguir bajando aun luego de la centrifugación, esto da la pauta de que el TBN por ser una propiedad química y no física del aceite lubricante no se puede mejorar a través de la centrifugación del aceite lubricante.

La viscosidad del aceite lubricante en los cuatro motores bajo de una manera insignificante, siendo el motor 10 el que tuvo el valor máximo de caída de viscosidad con una diferencia de 1,4 centistock. Por lo que los valores de viscosidad aun se encuentran fuera del rango de (125 centistock – 153 centistock)

El nivel de humedad o cantidad de agua en el aceite lubricante de los motores disminuyó en cantidades muy pequeñas, tomando como referencia el motor 7 que tiene la cantidad máxima de caída de humedad de 0,02 por ciento.

Por lo que el porcentaje de humedad se encuentra alto tanto antes como después del proceso de centrifugación del aceite lubricante.

#### **3.3.5.4.3. Recomendaciones**

Luego de analizar los resultados y ver las condiciones en las que se encuentra el aceite lubricante se estableció una serie de recomendaciones para atenuar los problemas de lubricación.

- **Cambio total de aceite lubricante**

Para realizar esta acción es necesario cumplir con varias acciones para evitar que el aceite lubricante nuevo no pierda las características que garantizan el buen funcionamiento de los motores. Dentro de los requisitos se mencionan:

- Garantizar que no existan fugas de combustible hacia el cárter del motor

Esto se evita realizando el cambio total de inyectores o el cambio de los sellos externos de los mismos, en el momento del cambio total de aceite lubricante.

- Garantizar que los calentadores de las separadoras de aceite lubricante se encuentren en condiciones ideales de funcionamiento

Esto se logra evitando fugas en los calentadores que provocan el paso de vapor de agua hacia el aceite lubricante, ya sea en el momento de la recirculación o en la centrifugación del aceite.

Establecer un programa de mantenimiento a intervalos más cortos para los calentadores de cada una de las 5 separadores para prevenir contaminación del aceite lubricante.

- Garantizar que las separadoras de aceite lubricante se encuentren en condiciones ideales de funcionamiento

El garantizar que las separadoras se encuentran en condiciones ideales de funcionamiento ayuda a evitar pérdidas en grandes cantidades de aceite lubricante en el momento de la separación de lodos.

El fabricante recomienda un cambio total de aceite lubricante para los motores cada 3 000 horas de servicio sin, embargo, tomando en cuenta que el mismo fabricante recomienda un cambio de inyectores, cojinetes de biela y limpieza de filtro del cárter cada 4 000 horas de servicio.

Se recomienda extender el cambio total de aceite lubricante cada 4 000 horas de servicio. Con el propósito de garantizar que todos los factores que pueden llegar a afectar la vida útil del aceite lubricante se encuentren corregidos y de esta forma obtener un mejor rendimiento del aceite lubricante y como consecuencia un mejor rendimiento de los motores.

- Cambio parcial del aceite lubricante

Esta acción consta en extraer una porción del aceite contenido en el cárter y sustituirlo por aceite nuevo, donde dicha porción puede ser la mitad o la tercera parte del volumen total, es decir entre 218 a 145 galones. Se recomienda realizar esta acción como mínimo cada 3 000 horas de servicio.

Teniendo en cuenta que la mezcla de aceite nuevo con aceite lubricante usado, que contiene contaminación de azufre y partículas de material desgastado. Ocasiona que la porción de aceite nuevo absorba la contaminación del aceite usado, disminuyendo el tiempo vida útil del lubricante nuevo.

Además es importante garantizar que no existan fugas de combustible hacia el aceite lubricante, que los calentadores y separadoras de aceite lubricante se encuentren en condiciones ideales de funcionamiento.



## **4. CAPACITACIÓN**

### **4.1. Diagnóstico de necesidades de capacitación**



El objetivo de esta fase es brindar capacitación que contribuya al fortalecimiento de los conocimientos adquiridos en la práctica por el personal del Departamento Mecánico del Centro de Energía Escuintla. Se busca aportar crecimiento laboral, a través de información técnica que enriquezca las actividades del personal y, a la vez se le estimula para mejorar sus actividades de forma continua.

El diagnóstico se desarrolló tomando en cuenta la situación ideal en términos de conocimientos, actitudes y habilidades que el personal debería y desea tener, de acuerdo a las funciones laborales. Dando valor a todos aquellos conocimientos, actitudes y habilidades que el personal posee. Para así coincidir con temas de interés que ayudan a mejorar las prácticas y procedimientos técnicos del personal.

Para tener un diagnóstico adecuado sobre las necesidades de capacitación, se recurrió a realizar una encuesta al personal que permitió evaluar los temas de interés general y de trascendencia para el desarrollo de las actividades de trabajo. El formato de dicha encuesta se muestra en la figura 35.



Figura 35. **Formato de encuesta sobre necesidades de capacitación**

**Detección de las necesidades de capacitación**  
**Detección individual**

Observaciones: Se recomienda que este formulario sea respondido por cada uno de los colaboradores del área de mantenimiento Mecánico.

1. De acuerdo a los Funciones que desempeña, describa o indique brevemente en cuales temas cree que necesita capacitación y que aporte un gran beneficio en el adecuado y óptimo desempeño en su puesto de trabajo. (Ej: Salud ocupacional, Técnica, Seguridad industrial, entre otros)

a)	
b)	
c)	
d)	

2. Señale algunas Destrezas, Actitudes, Habilidades y Conocimientos que, si las adquiriera o las profundizará, le ayudaría a mejorar el desempeño en su cargo y/opuesto de trabajo.

Califique el estado actual teniendo en cuenta que 1 es lo peor y 10 es lo mejor.

	TEMA	PROFUNDIDAD
	Descripción	Profundidad
Para tarea a)		1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10
Para tarea b)		1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10
Para tarea c)		1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10
Para tarea d)		1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10

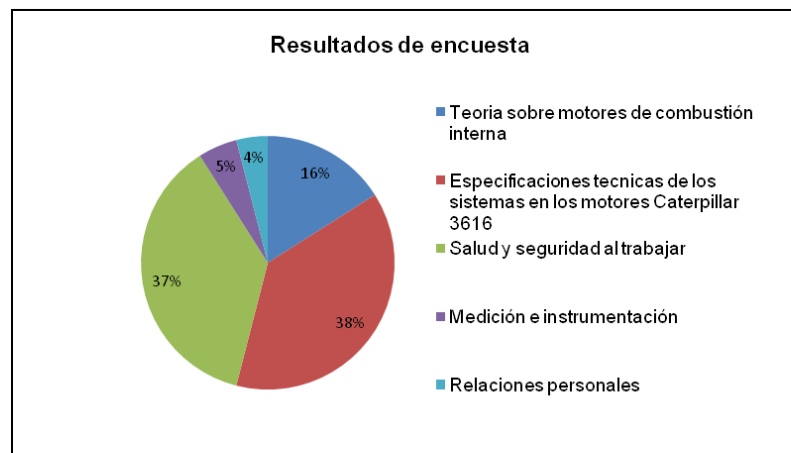
Señale en qué temas usted considera que se debe fortalecer la capacitación al interior de su ÁREA. Mencione sólo temas o contenidos de capacitación, no mencione cargos, ni nombres de personas

En el espacio siguiente, por favor indique todo otro comentario que estime oportuno dejar expresado respecto DEBILIDADES en cuanto a su parte personal y que redundarían en el adecuado desempeño de sus funciones.

Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenida la información se analizaron los principales temas de interés por parte del personal, los cuales fueron valorados en nivel de importancia para las actividades que se desarrollan. En la figura 36 se muestra la el porcentaje de interés de los temas propuestos.

Figura 36. **Resultados de encuesta sobre necesidades de capacitación**



Fuente: elaboración propia.

Luego de realizar la evaluación se identificó que las principales necesidades del personal se enfocan en primer lugar en conocer datos teóricos sobre los diversos sistemas de los que están compuestos los motores Caterpillar 3616, con el fin de mejorar prácticas de reparación e instalación, identificación y solución de problemas de funcionamiento. El segundo tema de interés y necesario para el personal se centra en la salud y seguridad ocupacional. Además se requiere de conocimiento teórico sobre funcionamiento de los motores de combustión interna con la finalidad de ampliar sus conocimientos.

Una vez identificadas las necesidades primordiales y luego de la aprobación por parte de Gerencia y Supervisión de Mantenimiento Mecánico se

procedió a planificar y empaparse de la información para ser transmitida posteriormente al personal.

#### **4.2. Planificación de capacitaciones**

Para desarrollar las capacitaciones fue necesario investigar minuciosamente los aspectos técnicos y de funcionamiento de los motores Caterpillar 3616, para luego ser transmitidos de la forma más clara posible.

En relación a los principios de funcionamiento de los motores de combustión interna se decidió conjuntamente con la supervisión del departamento, presentar el tema desde el punto de vista mecánico y térmico, para transmitir el tema a nivel general y abarcar los distintos campos de aplicación. Tomando en cuenta esto se explicaron los principios y fundamentos básicos de la termodinámica y transformación de energía.

El tema de salud y seguridad en el trabajo su enfoque fue el aislamiento de energía peligrosa para desarrollar los trabajos de mantenimiento en los motores.

En los tres temas se preparó material audiovisual y documentos de apoyo que fueron entregados a todo el personal que recibió dichas capacitaciones. Todo esto con la finalidad de lograr que las actividades sean realizadas bajo una base teórica y técnica conjugada con la experiencia a nivel práctico que el personal posee.

### **4.3. Programas de capacitación del proyecto**

Como parte del programa de capacitación del proyecto se realizaron cuatro, capacitaciones para abarcar los tres temas expuestos en las necesidades, todos estos fueron dirigidos al personal de mantenimiento mecánico.

Leyes de la Termodinámica y conceptos básicos, motores de combustión interna, motores Caterpillar 3616 y aislamiento de energía peligrosa fueron las cuatro capacitaciones que formaron parte del programa de capacitación.

#### **4.3.1. Leyes de la Termodinámica y conceptos básicos**

Esta capacitación se llevó a cabo dentro de las instalaciones del Centro de Energía Escuintla en el comedor ubicado a un costado del taller de mantenimiento mecánico. Se contó con el apoyo de Gerencia y Supervisión de Mantenimiento para la organización de la actividad. En esta actividad participó todo el personal de mantenimiento mecánico y el supervisor.

La actividad, por ser un tema extenso se realizó durante cuatro días hábiles con una duración total de cuatro horas. Debido a disposición del supervisor solo se contó con una hora por día. En dicha actividad se expuso información general sobre los conceptos básicos de termodinámica; concepto de materia, calor y energía, tipo de sistemas, estados de equilibrio, leyes de termodinámica y sus aplicaciones. Se expusieron ejemplos prácticos y sencillos, además se hizo la relación respectiva entre un proceso térmico y las máquinas, especialmente los motores de combustión interna.

Se brindó material ilustrativo con información general sobre la termodinámica y su relación con la naturaleza, las máquinas y el ser humano. Durante el transcurso de la actividad y, al finalizar se dio un espacio para que el personal presentara sus dudas y expusiera ejemplos sencillos sobre termodinámica y así interactuar sobre el tema.

#### **4.3.2. Motores de combustión interna**

Esta capacitación se llevó a cabo dentro de las instalaciones del Centro de Energía Escuintla en el comedor ubicado a un costado del taller de mantenimiento mecánico. Se contó con el apoyo de gerencia y supervisión de mantenimiento para la organización de la actividad. En esta actividad participó todo el personal de mantenimiento mecánico y el supervisor.

La actividad tuvo una duración de hora y media, en la cual se expuso información general sobre motores de combustión interna; motores vistos desde el punto de vista térmico, clasificación de máquinas reciprocantes, eficiencia de los motores gasolina y diesel, materiales para su fabricación, turbocompresores fallas comunes y sus causas. Se relacionaron las causas de falla en los turbocompresores de los motores de la planta, y se expusieron posibles soluciones en relación a los mantenimientos.

Se brindó material con información sobre los indicios de fallas que se pueden dar en los turbocompresores, además de sus posibles causas, durante el transcurso de la actividad y al finalizar la misma se dio un espacio para que el personal presentara sus dudas y experiencias y así interactuar sobre el tema.

#### **4.3.3. Motores Caterpillar 3616**

Esta capacitación se llevo a cabo dentro de las instalaciones del Centro de Energía Escuintla en el comedor ubicado a un costado del taller de mantenimiento mecánico. Se conto con el apoyo de gerencia y supervisión de mantenimiento para la organización de la actividad. En esta actividad participo todo el personal de mantenimiento mecánico y el supervisor.

La actividad tuvo una duración de hora y media, en la cual se expuso información específica de los motores Caterpillar 3616; desde especificaciones generales, parámetros de funcionamiento, importancia de la lubricación y descripción del sistema, descripción del sistema de enfriamiento y sus características, diagramas de los distintos sistemas, especificaciones del aditivo refrigerante y aceite lubricante, además de las distintas formas de ajuste del sistema de inyección de combustible. Se expusieron fallas que se pueden dar a lo largo del motor en los principales sistemas y la forma de corregirlas según el fabricante.

Se brindó material con información sobre parámetros reales y óptimos de funcionamiento de los diferentes sistemas del motor y formas de ajuste del sistema de inyección principalmente. Durante el transcurso de la actividad y al finalizar la misma se dio un espacio para que el personal presentara sus dudas, experiencias y propuestas sobre el mejoramiento de los mantenimientos.

#### **4.3.4. Aislamiento de energía peligrosa**

Esta capacitación se llevo a cabo dentro de las instalaciones del Centro de Energía Escuintla en el comedor ubicado a un costado del taller de mantenimiento mecánico. Se conto con el apoyo de gerencia y supervisión de

mantenimiento para la organización de la actividad. En esta actividad participo todo el personal de mantenimiento mecánico y el supervisor.

La actividad se realizó durante tres días hábiles con una duración total de tres horas. Debido a disposición del supervisor, solo se contó con una hora por día. En dicha actividad se expuso información importante sobre las forma y procedimientos necesarios para el aislamiento y bloqueo de energía peligrosa en el momento de realizar trabajos de mantenimiento; se expusieron las principales fuentes de energía peligrosa para el ser humano, los conceptos de aislamiento, bloqueo e identificación de energía, la importancia de la aplicación de las medidas de seguridad, el procedimiento básico para el aislamiento, bloqueo y etiquetado de equipos que poseen fuentes de energía peligrosa y la importancia del trabajo en equipo para evitar accidentes.

Adicional al entrenamiento teórico, se elaboró material audio visual donde se muestra el procedimiento para aislar e identificar todas las fuentes de energía peligrosa relacionadas con los distintos tipos de mantenimiento realizados en los motores. En el material se describe paso a paso los procedimientos de; aislamiento de combustible (HFO), aislamiento de aceite lubricante de inyectores (ITC), aislamiento eléctrico y aislamiento de energía neumática o aire comprimido.

El personal logró identificar los procedimientos de aislar equipos a los que comúnmente no tienen acceso, situación importante para eventos de emergencia o cuando el personal autorizado no se encuentra disponible.

Además del material audiovisual se brindó información sobre el tema y las distintas medidas a tomar antes y después de realizar cualquier mantenimiento. Durante el transcurso de la actividad y al finalizar la misma se dio un espacio

para que el personal presentara sus dudas, experiencias y propuestas acerca del tema.

Con el objetivo de que todo el personal asistiera a las capacitaciones se elaboró el formato de asistencia a las mismas, el cual se muestra en la figura 37.

Figura 37. **Formato de asistencia al programa de capacitación**

 		Registro de Asistencia al programa de capacitación y Desarrollo			
		Fecha	Día	Mes	Año
Evento de capacitación: _____		Número de horas _____			
Realizado por: _____		Lugar: _____			
No.	Nombre y apellido	Cargo	Área o Dependencia	Firma	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

Fuente: elaboración propia.



:

## CONCLUSIONES

1. Realización de un estudio de tiempos, calculando el tiempo estándar para cada una de las operaciones pertenecientes a los mantenimientos de; 100, 250, 500, 1 000, 2 000 y 4 000 horas de servicio para los motores Caterpillar 3616. Con la finalidad de mejorar la eficiencia de las operaciones y evitar retrasos que causen la indisponibilidad no programada de las unidades generadoras.
2. Planteamiento de propuestas en la programación de todas las actividades que involucran los distintos tipos de mantenimiento, tomando en cuenta las demoras evitables e inevitables, los tiempos estándar de las diversas operaciones y la utilización óptima del recurso humano.
3. Identificación de la herramienta, materiales y equipo necesario para realizar las operaciones programadas de mantenimiento, asimismo, problemas de manejo de estos y se propusieron soluciones metódicas y prácticas. Estableciéndose indicadores como; mejoramiento de disponibilidad de las unidades generadoras, porcentaje de cumplimiento de los mantenimientos preventivos respecto con el tiempo programado y planificado que permiten medir el mejoramiento en el desempeño de las operaciones de mantenimiento.
4. Calculó de la eficiencia térmica de los diez motores Caterpillar ubicados en la planta. Se determinó que trabajan entre un 59 a 60 por ciento de eficiencia térmica, la cual se puede mejorar realizando los ajustes técnicos y operativos recomendados.

5. Estudio de los sistemas de inyección de combustible, enfriamiento y lubricación de los motores, determinando puntos de ajuste, tipos de mantenimiento, las causas de fallas y sus consecuencias, con la finalidad de que estos se encuentren en óptimas condiciones para el servicio que prestan.
6. Con base en las fallas frecuentes que se dan por problemas de calidad del combustible, se calculó la cantidad de diesel óptimo para realizar la mezcla o *blending* a un 36,31 por ciento de la totalidad del tanque diario, con un aproximado de 26 143 galones de diesel y los costos estimados de dicha medida. Se logró implementar el sistema de cambio de aceite lubricante de los motores con bases teóricas sobre los parámetros de los análisis realizados.
7. Programación de capacitaciones técnicas sobre las leyes de la termodinámica y los conceptos básicos, motores de combustión interna, motores Caterpillar 3616 y asilamiento de energía peligrosa aplicada a los mantenimientos. Donde el personal expuso sus dudas y observaciones sobre dichos temas que enriquecieron los conocimientos en ambas direcciones.

## RECOMENDACIONES

1. Los tiempos de las operaciones de mantenimiento preventivo son estándar en condiciones ideales de mantenimiento, por lo que estos tiempos no aplican en condiciones de fallos repentinos en varias unidades simultáneamente, debido a que la mano de obra es restringida y generalmente, para la ejecución de los mantenimientos se utiliza a todo el personal disponible.
2. Incentivar al personal a elaborar los procedimientos de calibración, medición, ajuste y reparación de forma estándar, para poder tener indicativos reales para el mejoramiento continuo en las operaciones de mantenimiento.
3. Dar el seguimiento adecuado a la gestión de la herramienta, equipo, materiales y repuestos, ya que sin estos las operaciones de mantenimiento no se pueden ejecutar según lo programado.
4. La eficiencia de los motores se mejora realizando los mantenimientos tanto preventivos como correctivos de la forma más apegada a las indicaciones del fabricante, además de llevar un registro estadístico de fallas para realizar mantenimientos predictivos. Un buen plan de mantenimiento se refleja en la disminución de fallas, mayor disponibilidad de las unidades generadoras y disminución en costos de operación.

5. Realizar *blending* de combustible cuando existan los leves indicios de falla por motivo de calidad de combustible, ya que postergarlo demasiado incurre en elevar los costos de los mantenimientos correctivos. Realizar los cambios o refrescamientos de aceite lubricante, ya que de la lubricación depende en gran medida la extensión de la vida útil de los motores.
  
7. Brindar capacitaciones técnicas al personal interesado en enriquecer sus conocimientos y puestos, planificar las capacitaciones con base en las necesidades de los puestos desempeñados tomando en cuenta las sugerencias del personal de posibles temas que puedan mejorar su desempeño.

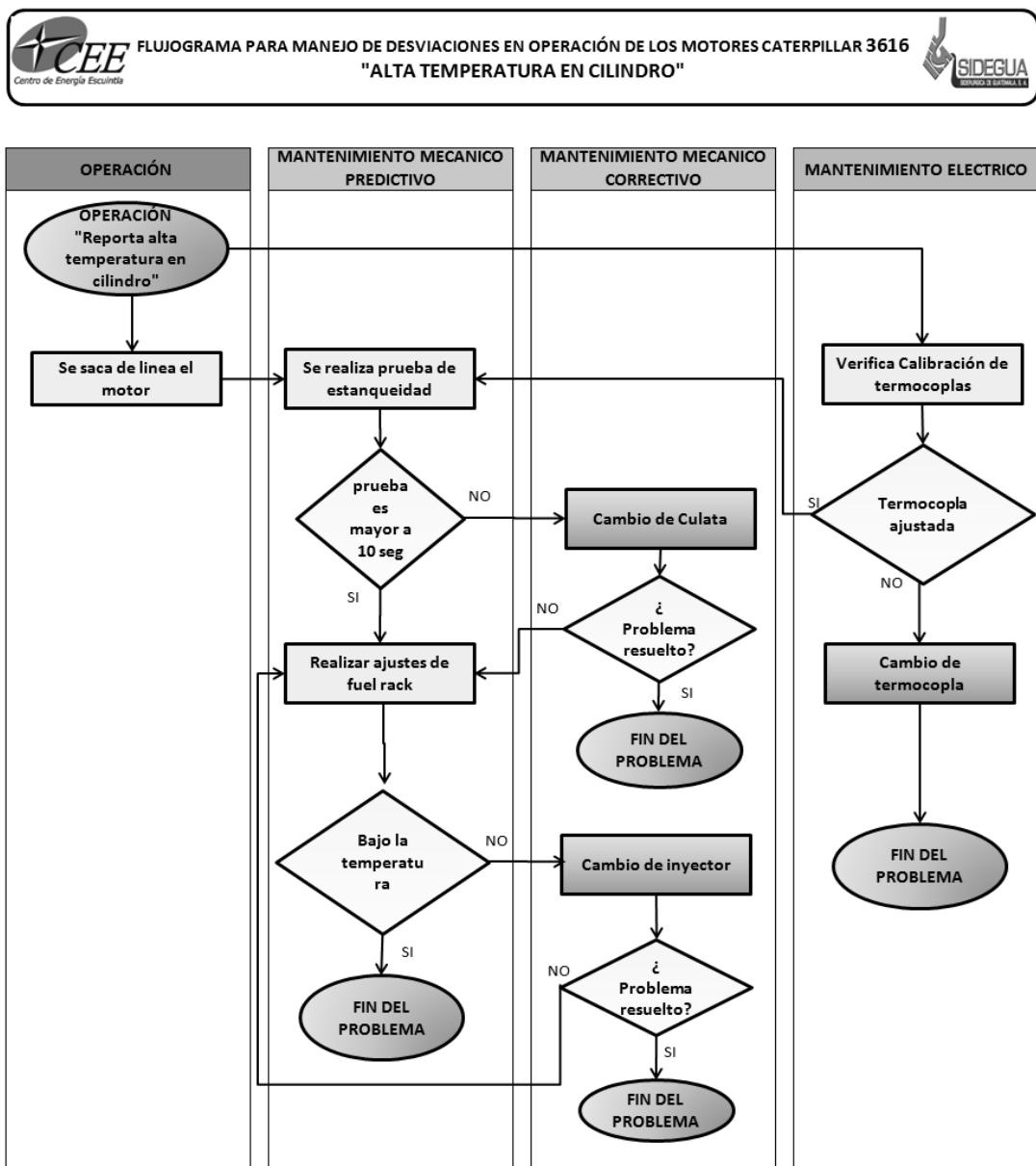
## BIBLIOGRAFÍA

1. ESTRADA Y ESTRADA, Marvin Estuardo. *Diseño e implementación de un programa de mantenimiento preventivo para vehículos y maquinaria pesada para la empresa Semavesa ubicada en el municipio de Tecún Umán, San Marcos*. Trabajo de graduación de Ing. Mécanica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 247 p.
2. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo, medición del trabajo*. México: MacGraw-Hill. 1998. 218 p.
3. NIEBEL, Benjamin W. *Ingeniería Industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*, 11a ed. México: Alfaomega, 2004. 747 p.
4. PALACIOS LÓPEZ, Gilmer David. *Análisis de eficiencia de un motor de combustión interna utilizado para el funcionamiento de una planta eléctrica de potencia de 1MW*. Trabajo de graduación Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2007. 121 p.
5. RENGIFO, Víctor. *Optimización de las operaciones de mantenimiento de los motores Detroit diesel de las unidades múltiples de la empresa INC gerencia canal del Orinoco*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Guayana, Universidad Nacional Experimental Politécnica, Antonio José de Sucre, Departamento de Ingeniería Industrial, 2007.129 p.



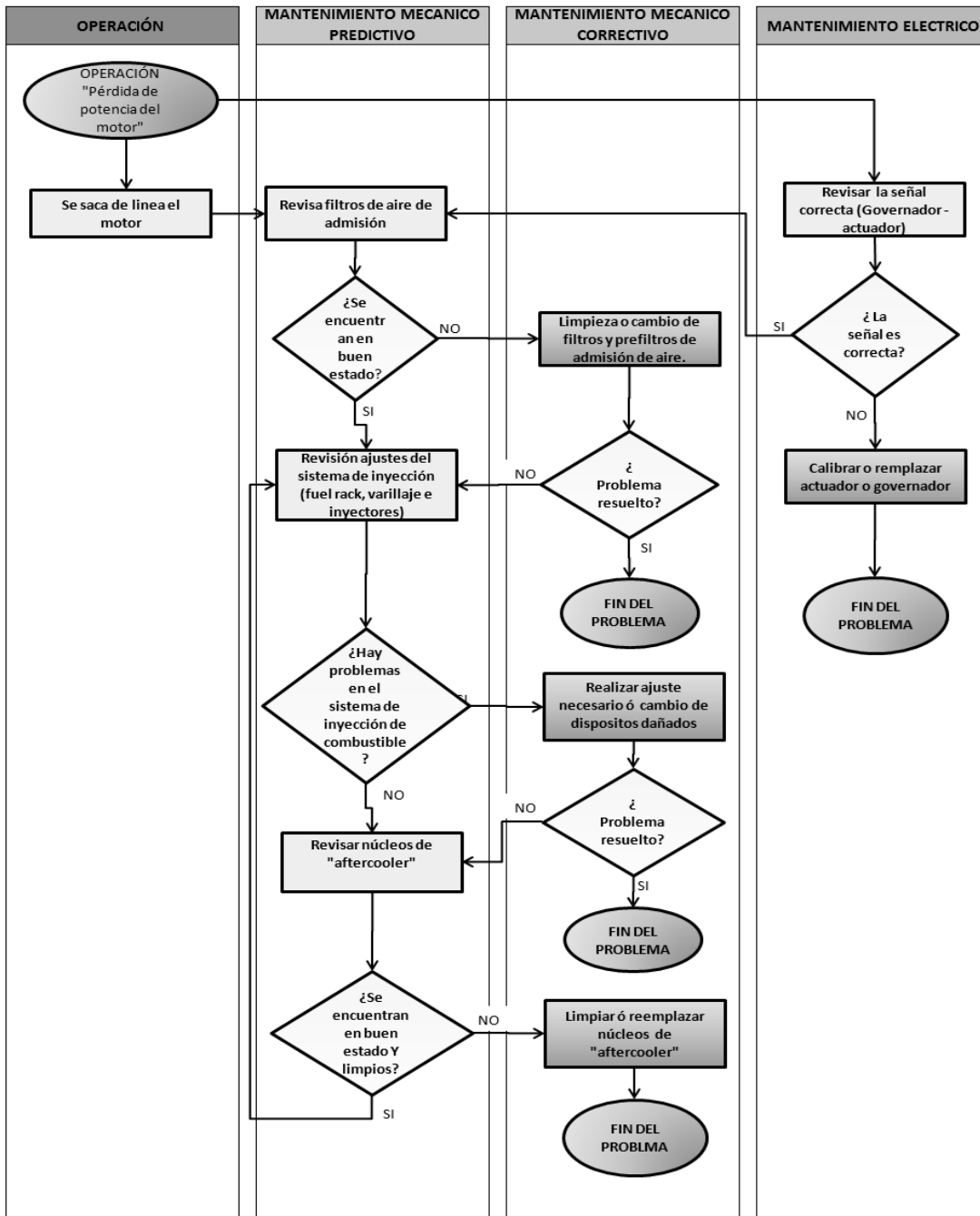
# APÉNDICE

**Apéndice 1. Flujogramas para el manejo de desviaciones en la operación de los motores Caterpillar 3616**



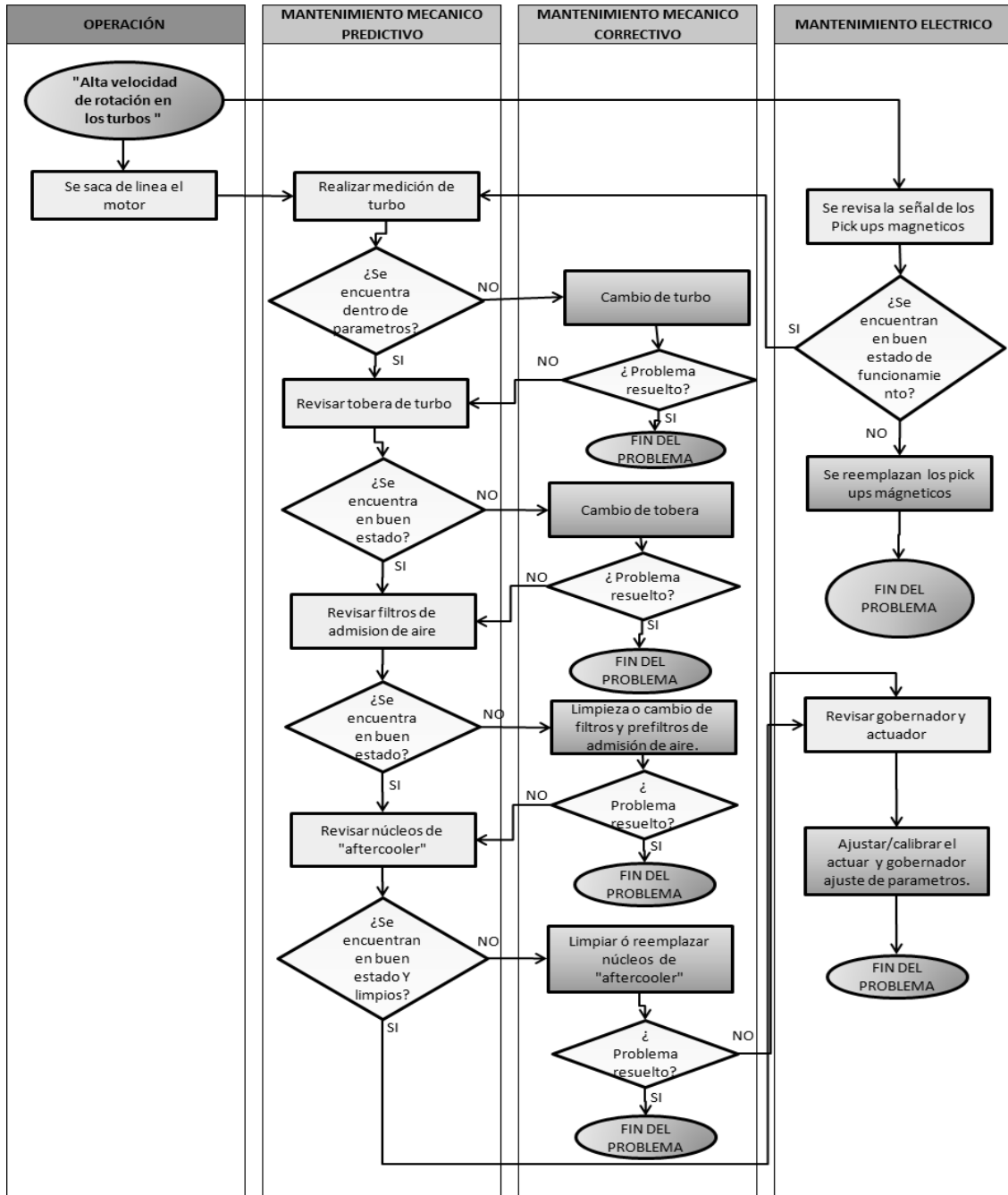


Continuación del apéndice 1.



Continuación del apéndice 1.


**FLUJOGRAMA PARA MANEJO DE DESVIACIONES EN OPERACIÓN DE LOS MOTORES CATERPILLAR 3616**  
**"ALTA VELOCIDAD DE ROTACIÓN EN LOS TURBOS"**

Continuación del apéndice 1.

