



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

**PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA RECONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE  
COMBUSTIÓN INTERNA DE UN CAMIÓN CATERPILLAR 777D PARA MINERÍA CON  
CAPACIDAD DE 100 TONELADAS EN LOS TALLERES DE GENTRAC**

**Andres Rodolfo Monzon Guevara**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, abril de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA RECONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE  
COMBUSTIÓN INTERNA DE UN CAMIÓN CATERPILLAR 777D PARA MINERÍA CON  
CAPACIDAD DE 100 TONELADAS EN LOS TALLERES DE GENTRAC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ANDRES RODOLFO MONZON GUEVARA**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, ABRIL DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto 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 Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
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:

**PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA RECONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE  
COMBUSTIÓN INTERNA DE UN CAMIÓN CATERPILLAR 777D PARA MINERÍA CON  
CAPACIDAD DE 100 TONELADAS EN LOS TALLERES DE GENTRAC**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 28 de octubre de 2011.



**Andres Rodolfo Monzon Guevara**



Guatemala, 05 de febrero de 2013  
REF.EPS.DOC.148.01.13.

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León De de León  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León De de León.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Andres Rodolfo Monzon Guevara** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 9616863, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA RECONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE UN CAMIÓN CATERPILLAR 777D PARA MINERÍA CON CAPACIDAD DE 100 TONELADAS EN LOS TALLERES DE GENTRAC”**.

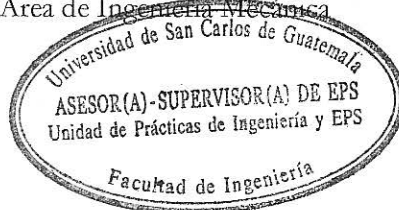
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

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



c.c. Archivo  
EESZ/ra



Guatemala, 05 de febrero de 2013  
REF.EPS.D.65.02.13

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

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA RECONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE UN CAMIÓN CATERPILLAR 777D PARA MINERÍA CON CAPACIDAD DE 100 TONELADAS EN LOS TALLERES DE GENTRAC"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Andres Rodolfo Monzón Guevara** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Sigrid Anza Calderón Monzón De León  
Directora Unidad de EPS



SACde LDdL/ra

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la Directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al Trabajo de Graduación **PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA RECONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE UN CAMIÓN CATERPILLAR 777D PARA MINERÍA CON CAPACIDAD DE 100 TONELADAS EN LOS TALLERES DE GENTRAC**, del estudiante Andres Rodolfo Monzon Guevara, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julio César Campos Paiz'.

**Ing. Julio César Campos Paiz  
DIRECTOR**



Guatemala, febrero de 2013

JCCP/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA RECONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE UN CAMIÓN CATERPILLAR 777D PARA MINERÍA CON CAPACIDAD DE 100 TONELADAS EN LOS TALLERES DE GENTRAC**, presentado por el estudiante universitario: **Andres Rodolfo Monzon Guevara**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Reinos  
Decano



Guatemala, abril de 2013

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por su infinita voluntad de permitirme culminar esta etapa tan importante de mi vida.
<b>Mi madre</b>	Mayra Guevara, por regalarme la vida y brindarme su amor y apoyo incondicional durante cada etapa de mi vida.
<b>Mi padre</b>	Danilo Monzon, por sus consejos, orientación y por trazar un ejemplo a seguir en mi vida.
<b>Mi abuela</b>	Josefina, por sus infinitas muestras de amor y sacrificio para convertirme en un hombre de bien y temeroso de Dios.
<b>Mi esposa</b>	Johanna Morán, por amarme, motivarme y apoyarme sin descanso en cada etapa de mi carrera y de mi vida.
<b>Mis hijos</b>	Pablo Andres Monzon Molina y Marcos Eduardo Monzon Morán, por ser mi más grande motivación y permitirme dejarles un ejemplo en sus vidas.

**Mis hermanos**

Lourdes Monzon Guevara, Héctor Monzon Guevara, Ariel Monzon Rivas, Hansel Monzon Rivas y Marcos Monzon Rivas, por creer en mí y apoyarme incondicionalmente. Gracias por compartir conmigo este triunfo.

**Mis tíos**

Eduardo Guevara, Mynor Monzon y Eduardo Monzon, porque con sus consejos y ejemplo han influenciado mi vida positivamente.

**Mi primo**

Juan Pablo Monzon, por haber creído en mí como persona y haberme brindado siempre su valioso apoyo.

**Mis amigos**

Juan Pablo Molina, Manlio Corado, Leonel Caravantes, Alfonso Portillo, Héctor Chicas, Néstor Aguirre, Andrés Marroquín, Uriel Gil y Jonatan Ixcot, por ser parte importante de mi vida, por estar conmigo en los momentos buenos y malos y por haberme brindado su amistad, apoyo y respeto.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por haberme brindado la oportunidad de superación y crecimiento personal y profesional en beneficio de la sociedad.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme conocimientos y experiencias profesionales que me han permitido desarrollar mi carrera.
<b>Sergio Vaides</b>	Por brindarme su amistad y apoyo durante esta etapa importante de mi carrera y por ser un ejemplo de vida.
<b>Gentrac</b>	Por haber depositado en mí su confianza, permitiéndome la oportunidad de desarrollarme personal y profesionalmente.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Edwin Sarceño, por guiarme y apoyarme durante mi ejercicio profesional supervisado.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XXVII
OBJETIVOS.....	XXXI
INTRODUCCIÓN .....	XXXIII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Historia de Corporación General de Tractores .....	1
1.2. Proyección de Corporación General de Tractores como distribuidor de equipos Caterpillar.....	2
1.2.1. Misión y visión .....	2
1.2.2. Organización interna del Departamento de Servicio.....	3
1.3. Descripción de las diferentes áreas del Departamento de Servicio.....	4
1.3.1. Taller central.....	5
1.3.2. Taller de componentes de rodaje y soldadura .....	6
1.3.3. Taller de reconstrucción de componentes .....	7
1.3.4. Laboratorio de análisis periódico de aceite.....	8
1.3.5. Área de lavado de maquinaria .....	10
1.4. Cronología de la historia de los productos Caterpillar .....	11
1.5. Clasificación de productos Caterpillar .....	19
1.5.1. Tractores de cadena.....	19
1.5.2. Cargadores de cadenas .....	24

1.5.3.	Cargadores de ruedas y portaherramientas integrales.....	26
1.5.4.	Retroexcavadoras cargadoras .....	27
1.5.5.	Excavadoras.....	28
1.5.6.	Camiones articulados.....	30
1.5.7.	Camiones de bastidor rígido.....	32
1.5.8.	Motoniveladoras .....	33
1.5.9.	Equipo de pavimentación .....	35
1.5.10.	Compactadores .....	36
1.6.	Historia de la minería .....	37
1.7.	Clasificación de la minería .....	39
1.7.1.	Minería a cielo abierto .....	39
1.7.2.	Minería subterránea .....	40
1.8.	Minería en Guatemala.....	41
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN.....	47
2.1.	Análisis de riesgo .....	47
2.1.1.	Identificación de riesgos.....	47
2.1.1.1.	Riesgos químicos .....	48
2.1.1.2.	Riesgos mecánicos .....	49
2.1.1.3.	Riesgos físicos .....	51
2.1.1.4.	Riesgos ergonómicos.....	52
2.1.1.5.	Riesgos eléctricos .....	54
2.1.2.	Evaluación de riesgos .....	55
2.1.3.	Matriz de riesgos en actividades de talleres.....	61
2.1.4.	Normas de seguridad en el taller.....	68
2.1.5.	Control de contaminación en las prácticas del taller.....	73
2.1.6.	Utilización de equipo de protección personal .....	76

3.	FASE TÉCNICO – PROFESIONAL .....	87
3.1.	Conceptos básicos .....	87
3.1.1.	Trabajo .....	87
3.1.2.	Potencia.....	89
3.1.3.	Energía .....	92
	3.1.3.1. Energía cinética .....	95
	3.1.3.2. Energía potencial.....	96
3.2.	Operación de los sistemas del motor diésel del camión 777D .....	98
3.2.1.	Motor básico .....	98
3.2.2.	Sistema de combustible.....	109
3.2.3.	Sistema de admisión y escape .....	116
3.2.4.	Sistema de lubricación.....	120
3.2.5.	Sistema de enfriamiento .....	124
3.3.	Tipos de mantenimiento para motores diésel .....	128
3.3.1.	Mantenimiento preventivo.....	130
3.3.2.	Mantenimiento correctivo.....	132
3.3.3.	Mantenimiento predictivo .....	134
3.4.	Diagnóstico del motor de diésel.....	136
3.4.1.	Medición de parámetros de funcionamiento del motor diésel .....	136
3.4.2.	Análisis periódico de aceite .....	138
3.4.3.	Consideraciones para reconstrucción de motores Caterpillar .....	152
3.5.	Evaluación de los componentes del motor diésel.....	156
3.5.1.	Componentes de remplazo.....	158
3.5.2.	Reparación de componentes del motor .....	159
3.5.3.	Componentes de reutilización.....	161
3.6.	Pruebas de desempeño del motor diésel reconstruido.....	166

3.6.1.	Realización de pruebas en dinamómetro .....	168
3.6.2.	Medición de parámetros de funcionamiento del motor reconstruido.....	172
3.6.3.	Elaboración de una rutina de mantenimiento para el motor diésel del camión 777D basada en las recomendaciones del fabricante .....	173
CONCLUSIONES.....		177
RECOMENDACIONES .....		181
BIBLIOGRAFÍA.....		185

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Taller central .....	5
2.	Taller de rodaje .....	6
3.	Taller de reconstrucción de componentes .....	8
4.	Laboratorio de análisis de aceite .....	9
5.	Área de lavado de máquinas .....	10
6.	Primera máquina cizañadora .....	12
7.	Primera cosechadora de vapor Best .....	12
8.	Primera locomotora experimental .....	14
9.	Primer tractor de cadenas Holt.....	15
10.	Primer tractor de cadenas Best.....	16
11.	Tanque de guerra Holt .....	17
12.	Tractor de cadenas Best modelo 30 .....	18
13.	Tractor Caterpillar D11R .....	20
14.	Cargador de cadenas.....	25
15.	Cargador de ruedas 994F .....	26
16.	Retroexcavadora Caterpillar 416E .....	28
17.	Excavadora Caterpillar modelo 320D.....	29
18.	Camión articulado modelo 730.....	31
19.	Camión rígido Caterpillar 797.....	33
20.	Motoniveladora Caterpillar modelo 120H .....	34
21.	Asfaltadora Caterpillar modelo AP1000E.....	36
22.	Vibro compactador Caterpillar modelo CS533E .....	37
23.	Antigua maquinaria utilizada en minería .....	39



24.	Vista aérea del proyecto Marlin en San Marcos .....	46
25.	Ilustración de riesgos químicos.....	49
26.	Ilustración de riesgos mecánicos.....	51
27.	Ilustración de riesgos físicos.....	52
28.	Ilustración de riesgos ergonómicos.....	53
29.	Ilustración de riesgos eléctricos.....	55
30.	Verificación de primeros auxilios.....	73
31.	Tolerancias en sistemas hidráulicos .....	74
32.	Contaminantes del aceite .....	75
33.	Equipo de protección visual .....	78
34.	Equipo de protección para la cabeza.....	79
35.	Equipo de protección auditiva .....	81
36.	Equipo de protección para manos .....	83
37.	Equipo de protección para el torso .....	84
38.	Equipo de protección respiratoria .....	85
39.	Calzado de protección para los pies.....	86
40.	Ilustración de energía potencial.....	97
41.	Corte a sección de un motor Caterpillar 3508B .....	99
42.	Bloque de cilindros de motor 3508B .....	101
43.	Culata de motor 3508B .....	102
44.	Cigüeñal de motor 3508B .....	103
45.	Conjunto de pistón y biela de motor 3508B .....	105
46.	Camisa de cilindro de motor 3508B.....	106
47.	Conjunto de válvulas del motor 3508B .....	107
48.	Eje de levas de motor 3508B.....	108
49.	Distribución del sistema de combustible en el motor .....	109
50.	Componentes del sistema de combustible del motor 3508B .....	110
51.	Inyector unitario en fase de preinyección.....	112
52.	Inyector unitario en fase de inyección.....	113

53.	Inyector unitario en fase final de inyección.....	114
54.	Inyector unitario en fase de llenado de combustible .....	115
55.	Turbocompresor de motor 3508B .....	117
56.	Componentes del sistema de admisión y escape .....	118
57.	Componentes del sistema de lubricación.....	121
58.	Válvula de alivio del sistema de lubricación .....	122
59.	Cantidad de calor proporcional disipado por el motor .....	125
60.	Rutina de mantenimiento preventivo .....	131
61.	Vehículo de mantenimiento dedicado a equipo de minería.....	133
62.	Rutinas de mantenimiento predictivo .....	136
63.	Motor 3508B removido del camión 777D previo a reparación.....	157
64.	Tejas de biela del motor 3508B.....	159
65.	Culatas individuales del motor 3508B .....	160
66.	Balancines de válvulas.....	161
67.	Pistón de motor 3508B con daño en la corona .....	163
68.	Falda de pistón de motor 3508B .....	163
69.	Inyectores de combustible.....	164
70.	Bielas de pistón completas.....	164
71.	Espaciadores de culatas de motor 3508B.....	165
72.	Dinamómetro del taller de componentes.....	168

## **TABLAS**

I.	Organigrama del Departamento de Servicio .....	4
II.	Modelos de tractores pequeños Caterpillar.....	21
III.	Modelos de tractores medianos Caterpillar .....	22
IV.	Modelos de tractores grandes Caterpillar.....	23
V.	Localización de minas durante la época colonial en Guatemala .....	43
VI.	Cuadro de estimación de niveles de riesgo.....	64

VII.	Matriz de identificación de riesgos del taller de componentes .....	66
VIII.	Rutas de evacuación en instalaciones de Gentrac .....	69
IX.	Ubicación de extintores en instalaciones de Gentrac .....	70
X.	Instrucciones en caso de sismos .....	72
XI.	Ilustración vectorial de trabajo .....	88
XII.	Equivalencia en Julios de otras unidades de energía .....	94
XIII.	Gráfico presión-temperatura .....	128
XIV.	Medición de parámetros de funcionamiento de motor 3508B.....	137
XV.	Resultados de análisis de aceites del motor 3508B .....	139
XVI.	Gráfica de desgaste de hierro.....	141
XVII.	Gráfica de presencia de hollín .....	142
XVIII.	Gráfica de desgaste de cobre .....	143
XIX.	Gráfica de desgaste de aluminio.....	144
XX.	Gráfica de desgaste de zinc .....	145
XXI.	Gráfica de desgaste de cromo .....	146
XXII.	Gráfica de desgaste de plomo .....	147
XXIII.	Gráfica de presencia de oxidación.....	148
XXIV.	Gráfica de presencia de sodio .....	149
XXV.	Gráfica de desgaste de molibdeno .....	150
XXVI.	Gráfica de presencia de magnesio .....	151
XXVII.	Gráfica costo de reparación-tiempo .....	154
XXVIII.	Diagrama de flujo de la reconstrucción del motor 3508B.....	166
XXIX.	Pruebas de dinamómetro en baja en vacío .....	169
XXX.	Pruebas de dinamómetro en alta en vacío .....	170
XXXI.	Pruebas de dinamómetro en alta a plena carga .....	171
XXXII.	Parámetros obtenidos de la prueba de dinamómetro .....	173
XXXIII.	Rutina de mantenimiento preventivo para motores 3508B .....	174

## GLOSARIO

<b>Acero al carbono</b>	Tipo de acero compuesto de hierro y carbono, el cual generalmente no supera el 1 % de la composición. El aumento de contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la tracción e incrementa el índice de fragilidad en frío.
<b>Acoplador rápido</b>	Tipo de acoplamiento utilizado para sujetar el implemento de trabajo en los cargadores frontales y portaherramientas, el cual permite intercambiar el mismo sin necesidad del uso de herramientas.
<b>Aditivo</b>	Es una sustancia que se añade a otra, por ejemplo, al aceite lubricante de motores, con el fin de impartirle propiedades adicionales. Ciertos productos químicos pueden ser adicionados a un lubricante para reducir su tendencia a la congelación por baja temperatura.
<b>Aire</b>	Mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre y contiene aproximadamente 79 % de nitrógeno, 20 % de oxígeno y 1 % de otros componentes.

<b>Análisis de falla</b>	Conjunto de técnicas utilizadas para analizar piezas o componentes que han presentado falla, con el fin de determinar el origen de la misma.
<b>Anillos de pistón</b>	Anillos de cierre expansibles alojados en las ranuras de un pistón para impedir fugas de gases de compresión y evitar la entrada de aceite a la cámara de combustión.
<b>Bastidor</b>	Estructura principal compuesta por largueros y travesaños que unidos forman el chasis de un automóvil o maquinaria.
<b>Biela</b>	Elemento de conexión entre el pistón y el eje cigüeñal.
<b>Bloque de cilindros</b>	Componente rígido de metal en el que se forma o coloca el cilindro o cilindros de un motor.
<b>Bomba de agua</b>	Bomba encargada de generar flujo para hacer circular el agua o refrigerante en un sistema de enfriamiento de un motor.
<b>Bomba de cebado de combustible</b>	Bomba utilizada para extraer el aire atrapado en el sistema de combustible.

<b>Bomba de desplazamiento fijo</b>	Bombas que se caracterizan por entregar la misma cantidad de flujo en cada ciclo. El volumen de salida puede ser cambiado únicamente variando la velocidad de rotación.
<b>Bomba de inyección de combustible</b>	Tiene como función inyectar la cantidad exacta de combustible a cada cilindro en el momento de la combustión interna de manera dosificada.
<b>Bomba hidráulica</b>	Componente que transforma la energía mecánica con la que es accionada, en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve.
<b>Camellón</b>	Es un surco de tierra generalmente ancho y alto cuya función es evitar el contacto de los cultivos con el agua de riego.
<b>Camión de obra</b>	Camiones tipo volquete que se utilizan para transportar material suelto en proyectos de construcción o minería, están diseñados para transitar en lugares fuera de carretera.
<b>Camisas de cilindro</b>	Revestimiento metálico tubular que se coloca entre el pistón y la pared de un cilindro para proporcionar una superficie de desgaste que pueda ser remplazada.

<b>Cantera</b>	Explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridas.
<b>Cárter de motor</b>	Parte del motor que encierra o envuelve al eje cigüeñal y sirve como depósito para el aceite del motor.
<b>Cilindrada</b>	Volumen de aire desalojado o desplazado por un pistón cuando se mueve desde su punto muerto inferior hasta su punto muerto superior.
<b>Cilindro hidráulico</b>	Actuadores mecánicos utilizados para ejercer una fuerza a través de un recorrido lineal. Obtienen la energía de un fluido hidráulico presurizado.
<b>Cizañadora</b>	Máquina utilizada para recoger la cizaña de los cultivos.
<b>Cojinete</b>	Pieza o conjunto de piezas sobre las que se soporta y gira el árbol transmisor de momento giratorio de una máquina.
<b>Combustión</b>	Reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de energía, en forma de calor y luz, manifestándose visualmente como fuego.

<b>Control de contaminación</b>	Conjunto de procedimientos, prácticas y controles utilizados para mantener los índices de contaminación en los niveles más bajos permisibles en los procedimientos de reparaciones de componentes y maquinaria.
<b>Cosechadora</b>	Máquina dedicada a realizar labores de recolección de productos agrícolas, tales como cereales, arroz, maíz, trigo, cebada y otros.
<b>Cucharón</b>	Herramienta o implemento utilizado en las excavadoras o cargadoras para movimiento y excavación de materiales. Está dispuesto en el extremo de un brazo móvil y soportado por una pluma, también móvil.
<b>Culata de cilindros</b>	Parte metálica atornillada a la parte superior del bloque de cilindros. Cierra el extremo superior de los cilindros y forma parte principal de la cámara de combustión.
<b>Decibel (db)</b>	Unidad relativa utilizada en acústica, electricidad, telecomunicaciones y otras especialidades para expresar la relación entre dos magnitudes.
<b>Desgaste</b>	Es la erosión de material sufrida por una superficie sólida por la acción de otra superficie.
<b>Dina</b>	Es la unidad de fuerza en el sistema inglés (CGS).



<b>Dinamómetro</b>	Equipo utilizado para medir la potencia efectiva o potencia de salida de un motor. Para medir la potencia de salida del cigüeñal se utiliza un dinamómetro de motor y para medir la fuerza de las ruedas motrices se utiliza un dinamómetro de chasis.
<b>Dureza</b>	Oposición que ofrecen los materiales a la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes y otros.
<b>Eclogita</b>	Roca metamórfica de grano grueso, de composición basáltica que tiene un especial interés en geología.
<b>Eje cigüeñal</b>	Árbol o eje principal de un motor en donde van conectadas las bielas de los pistones, para convertir el movimiento recíproco de estos en movimiento circular.
<b>Eje de balancines</b>	Eje que agrupa los balancines del motor, que a su vez, convierten el movimiento ascendente de la varilla de empuje en movimiento descendente sobre el vástago de la válvula para abrir la lumbrera de un cilindro.

<b>Eje de levas</b>	Es el componente del motor que regula el movimiento de las válvulas de admisión y escape. Es un eje dotado de movimiento rotativo sobre el cual se encuentran protuberancias llamadas levas, que al girar activan en el momento preciso las varillas de empuje que accionan los balancines del motor.
<b>Energía</b>	Capacidad que tiene un cuerpo para efectuar un trabajo.
<b>Energía cinética</b>	Capacidad que poseen los cuerpos en movimiento para efectuar un trabajo.
<b>Energía mecánica</b>	Es la forma de energía asociada a los cambios en el estado mecánico de un cuerpo o de una partícula material, a la vez, es la suma de energía cinética y energía potencial.
<b>Energía potencial</b>	Es la capacidad que tienen los cuerpos de producir un trabajo en virtud de su forma o de la posición que ocupan.
<b>Energía potencial elástica</b>	También llamada energía de deformación, es el aumento de energía interna acumulada en el interior de un sólido deformable, como resultado del trabajo realizado por las fuerzas que provocan la deformación.

<b>Energía química</b>	Es uno de los aspectos de la energía interna de un cuerpo y, aunque se encuentra siempre en la materia, sólo se nos muestra cuando se muestra una alteración íntima de esta.
<b>Enganche central</b>	Mecanismo que se utiliza para conectar la cabina con el cuerpo de un camión articulado. El nombre se debe a que está situado en la parte central del vehículo.
<b>Equipo de protección personal</b>	Cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o salud en el trabajo.
<b>Ergio</b>	Unidad fundamental de trabajo en el sistema inglés (CGS). Se define como la cantidad de trabajo que realiza la fuerza de una dina al desplazarse un centímetro.
<b>Escalar</b>	Magnitud física que puede representarse con un único número invariable en cualquier sistema de referencia.
<b>Etileno de glicol</b>	Es un líquido transparente, incoloro, ligeramente espeso como el almíbar y con ligero sabor dulce. Se fabrica a partir de la hidratación del óxido de etileno. Se utiliza como anticongelante en los circuitos de refrigeración de motores de combustión interna.

<b>Filtro de aire</b>	Dispositivo utilizado para separar partículas sólidas de una corriente de aire, como la entrada de un carburador, admisión de aire de un motor diésel o un compresor de aire.
<b>Fosa de decantación</b>	Fosa que utiliza un método mecánico de separación de mezclas heterogéneas, las cuales pueden ser formadas por un líquido y un sólido, o por dos líquidos.
<b>Gas natural</b>	Es una de las varias fuentes de energía no renovables, formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentran en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con el petróleo, o en depósitos de carbón.
<b>Gobernador de combustible</b>	Mecanismo encargado de mantener automáticamente el régimen de velocidad o revoluciones de un motor diésel de manera independiente de la carga.
<b>Hematita</b>	Mineral compuesto de óxido férrico y constituye una importante mena de hierro ya que en estado puro contiene un 70 % de este metal. Puede poseer además trazas de titanio, de aluminio, de magnesio y de agua.

<b>Hoja topadora</b>	Cuchilla horizontal colocada perpendicularmente al eje principal de los tractores, que dispone de movimiento vertical de corto recorrido. Es utilizada para realizar cortes de material sobre el terreno y a la vez, para empujar material suelto hacia un lugar determinado.
<b>Hollín</b>	Partículas sólidas de tamaño muy pequeño, en su mayoría compuestas de carbono impuro, pulverizado y generalmente de colores oscuros resultantes de la combustión incompleta de un material.
<b>Inyector unitario</b>	Es una unidad que agrupa la generación de presión con la inyección del combustible dentro de la cámara de combustión. En este tipo de sistema, cada cilindro está equipado con su propio inyector unitario.
<b>Julio (Joule)</b>	Es la unidad derivada del sistema internacional utilizada para medir energía, trabajo y calor.
<b>Mando final</b>	Mecanismo que proporciona la última reducción de velocidad y aumento de par en un tren de mando.
<b>Motoniveladora</b>	Máquina de construcción que cuenta con una hoja larga metálica, utilizada para nivelar terrenos y refinar taludes con distintas inclinaciones.

<b>Motor de combustión interna</b>	Sistema de elementos y mecanismos que transforma en movimiento la energía que se genera cuando se expanden los gases producidos por la combustión de una mezcla carburante.
<b>Motor diésel</b>	Motor de combustión interna que funciona con un principio de compresión de aire en el cilindro, el cual aumenta su temperatura por la compresión y una inyección de combustible posterior.
<b>Motor hidráulico</b>	Actuador mecánico que convierte presión hidráulica y flujo en un par de torsión y un desplazamiento angular, es decir, en una rotación o giro.
<b>Múltiple de escape</b>	Componente que interconecta las lumbreras de escape con el tubo de escape en los motores de varios cilindros, por donde escapan los gases quemados o residuos de la combustión.
<b>Newton</b>	Es la unidad de fuerza en el sistema internacional de unidades, nombrada así en reconocimiento a Isaac Newton por su trabajo y su extraordinaria aportación a la física.
<b>Par</b>	Fuerza que es capaz de ejercer un motor en cada giro.

<b>Pavimentadora</b>	Máquina que distribuye y da forma al asfalto, la combinación de agregado y un agente aglutinante que se utiliza en la pavimentación de caminos.
<b>Perfiladora</b>	Máquinas utilizadas para eliminar el pavimento desgastado o deteriorado para proporcionar una pendiente y una rasante especificadas, y dejar una superficie con una textura que permita su apertura inmediata al tránsito o el inicio de los trabajos de recubrimiento con asfalto nuevo.
<b>Pistón</b>	Pieza cilíndrica que se mueve en el interior de un cilindro y transmite la presión de un fluido contenido en este. En un motor de combustión interna, está abierto o ahuecado en uno de sus extremos, por donde se conecta mediante un pasador a la biela que transmite su movimiento al cigüeñal.
<b>Portaherramientas integral</b>	Máquinas de la industria de la construcción que están equipadas con acopladores rápidos que permiten el intercambio de herramientas de trabajo, tales como cucharones, horquillas, barredoras y otros, en tiempos verdaderamente cortos. Regularmente se utilizan en bastidores de cargadores frontales.

<b>Posenfriador de aire</b>	Componente utilizado para enfriar el aire que va hacia los cilindros para incrementar su densidad. De esta manera se puede inyectar mayor cantidad de combustible ya que hay más aire disponible para la mezcla. De esa manera se incrementa la potencia del motor y se reducen las emisiones contaminantes.
<b>Potencia</b>	Es la rapidez con se efectúa un trabajo.
<b>Potencia al freno</b>	Valor de la potencia efectiva entregada por el eje principal de un motor. Se determina por medio de un dinamómetro.
<b>Primeros auxilios</b>	Técnicas y procedimientos de carácter inmediato, limitado, temporal, profesional o de personas capacitadas o con conocimiento técnico, que es brindado a quien lo necesite, ya sea victima de un accidente o enfermedad repentina.
<b>Protección auditiva</b>	Equipo de protección individual que reduce los efectos del ruido en la audición, evitando así cualquier daño en el oído.
<b>Protección respiratoria</b>	Equipos utilizados para proteger las vías respiratorias del trabajador. La protección respiratoria puede tener distintas formas, debiendo siempre cubrir la boca y nariz, para proteger de posibles agentes tóxicos.



<b>Protección visual</b>	Equipos que tienen como función principal proteger el órgano visual contra impactos peligrosos y/o partículas en el aire, así como polvo, chispas y resplandor.
<b>Regulador de temperatura de motor</b>	Válvula que controla el flujo del refrigerante en un motor, está colocada en la salida de refrigerante en el conducto hacia el radiador. Su función es controlar el paso del refrigerante hacia el radiador en dependencia de la temperatura del motor, para mantenerlo en el rango adecuado.
<b>Relación de aire combustible</b>	Relación o razón del peso del aire al peso del combustible en una mezcla de ambos materiales.
<b>Rodillo</b>	Cilindro con un diámetro relativamente ancho y que suele girar. Los trenes de rodaje de tractores de oruga los utilizan para servir de guía y soporte al rodamiento de la cadena.
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto.
<b>Rueda motriz</b>	Rueda que pertenece al eje que recibe directamente la fuerza que proviene del motor.

<b>Rueda guía</b>	Elemento giratorio, dotado o no de movimiento y que está destinado a servir de guía y soporte en el mecanismo donde es utilizado. Es utilizada en los rodajes de tractores de orugas ya que proporcionan mayor superficie de contacto de la cadena con el suelo y proporciona mayor estabilidad.
<b>Silex</b>	Mineral perteneciente a las anhidas amorfas dentro del grupo de la sílice, todas ellas de la subclase de los tectosilicatos. Debido a su gran dureza fue utilizada en la edad de piedra para la elaboración de herramientas cortantes, por su capacidad de romperse en lascas.
<b>Sistema de combustible EUI</b>	Sistema de inyección unitaria controlada electrónicamente, está formado por un conjunto de inyectores bomba ubicados en la culata del motor, los que inyectan combustible a cada una de las cámaras de combustión que se encuentran en la cabeza del pistón. Son accionados por un mecanismo de balancín, impulsado por el eje de levas del motor.
<b>Solenoides</b>	Dispositivo físico capaz de crear una zona de campo magnético uniforme. Un ejemplo teórico es el de una bobina de hilo conductor y enrollado helicoidalmente, de longitud infinita. En hidráulica son utilizados para accionar válvulas de control de flujo.

<b>Solvente</b>	Sustancia que permite la dispersión de otra sustancia en esta a nivel molecular o iónico. Es el medio dispersante de la disolución. Forman parte de múltiples aplicaciones como adhesivos, componentes de pinturas, productos farmacéuticos, etc.
<b>Tacómetro</b>	Dispositivo que mide la velocidad de giro de un eje, normalmente la velocidad de giro de un motor. Se mide en revoluciones por minuto.
<b>Temperatura de ebullición</b>	Temperatura en la cual la materia cambia de estado líquido a estado gaseoso, es decir, hierve. Expresado de otra manera, en un líquido, el punto de ebullición es la temperatura a la cual la presión de vapor del líquido es igual a la presión del medio que rodea al líquido.
<b>Tractor de cadenas</b>	Tractor utilizado principalmente en construcción y minería que utiliza un conjunto de eslabones modulares que le permiten un desplazamiento estable aún en terrenos irregulares. Regularmente están equipados con una hoja topadora en la parte frontal.
<b>Transmisión hidráulica</b>	Transmisión de automóvil u otro tipo de vehículo que funciona hidráulicamente, utilizando un acoplamiento de fluido o convertidor de par y un conjunto de engranajes planetarios para proporcionar una multiplicación del par.

<b>Tren de rodaje</b>	Conjunto de componentes sobre los cuales se deslizan diferentes tipos de máquinas, tales como tractores de hoja topadora, palas cargadores, excavadoras hidráulicas, etc. Ofrecen especial versatilidad en terrenos difíciles en donde las máquinas de ruedas no son capaces de moverse.
<b>Trilladora</b>	Máquina utilizada para desmenuzar la espiga o vaina para separar de ella el grano a base de revoluciones.
<b>Turbina</b>	Nombre genérico que se le da a la mayoría de las turbo máquinas motoras. Estas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y este le entrega su energía a través de un rodete con paletas o álabes.
<b>Turbocompresor</b>	Sistema de sobrealimentación que utiliza una turbina centrífuga, para accionar mediante un eje coaxial con ella, un compresor centrífugo para comprimir gases. Este tipo de sistemas se suele utilizar en motores de combustión interna, especialmente en motores diésel.
<b>Turquesa</b>	Mineral de la clase de los fosfatos de color azul verdoso. Es un fosfato de aluminio y cobre, escaso y valioso por su calidad. Ha sido muy apreciado como piedra preciosa y ornamental durante miles de años debido a su color inigualable.

<b>Válvula de alivio</b>	Válvula diseñada para liberar un fluido cuando la presión interna de un sistema que lo contiene supere el límite establecido. Su principal función es evitar una explosión, el fallo de un equipo o tubería por exceso de presión.
<b>Válvulas de admisión y escape</b>	Válvulas cuyo objetivo es poner a los cilindros en contacto con el exterior, gracias a los orificios de admisión destinados al ingreso de la mezcla o a los orificios de escape destinados a la expulsión de los gases residuales.
<b>Vector geométrico</b>	Herramienta geométrica utilizada para representar una magnitud física definida por su módulo (o longitud), su dirección (u orientación) y su sentido.
<b>Velocidad en vacío</b>	También llamada marcha en vacío, se refiere al tiempo en que el motor está girando sin arrastrar ninguna carga ni realizar ninguna fuerza.
<b>Yacimiento</b>	Concentración significativa de materiales geológicos, tales como minerales, gases, petróleo, etc. Que en algún caso pueden ser objeto de explotación humana.
<b>Zapatas</b>	Constituyen la superficie de contacto de una máquina de cadenas con el suelo. Van atornilladas a los eslabones de la cadena.

## RESUMEN

El uso de los materiales mineros en Guatemala data desde los tiempos de la civilización maya, teniendo un amplio uso en la fabricación de herramientas, esculturas, edificación, armamento, entre otras. Durante la época colonial, la explotación de minerales de plomo, plata y oro fue bastante considerable, auge debido al interés de los españoles en la industria. Luego del término del dominio español, la industria minera quedó reducida a explotación en pequeña escala de minas existentes. A partir de la firma de la independencia de Guatemala se han desarrollado varios proyectos importantes de minería en el país.

Los camiones rígidos, comúnmente llamados volquetes o camiones fuera de carretera, son utilizados para el transporte de material suelto, tal como arena, grava o tierra, en la industria de la construcción o minería. Este tipo de camiones son utilizados estrictamente en caminos adaptados especialmente para ellos, es decir, fuera de las carreteras.

Normalmente están equipados con una cama o caja abierta operada hidráulicamente, la cual posee una articulación en la parte trasera, permitiendo que la parte frontal de dicha cama sea levantada para permitir que el contenido sea depositado en el suelo detrás del camión en el sitio de entrega.

Los camiones rígidos Caterpillar 777D son utilizados en la industria de la minería para el acarreo de material en distancias relativamente largas. Típicamente son utilizados en minas de cielo abierto. La capacidad de acarreo de este camión rígido es de 100 toneladas de material, aunque existen camiones rígidos con capacidad de carga de hasta 400 toneladas de material.

Estos camiones utilizan grandes motores de combustión interna operados con combustible diésel para poder producir la energía mecánica que, a través de una transmisión hidráulica, es conducida hacia las ruedas traseras.

Caterpillar diseña y construye gran variedad de motores diésel de cuatro tiempos para satisfacer las exigencias de las máquinas de construcción y minería, así como una amplia variedad de equipos de otros fabricantes alrededor de todo el mundo. Uno de ellos es el motor 3508B EUI, utilizado por el camión de minería 777D, el cual es el objeto de nuestro estudio.

Para poder realizar de forma eficaz el diagnóstico, evaluación, reparación y mantenimiento del motor 3508B es necesario tener un conocimiento completo de los principios de operación de los diferentes sistemas que lo componen y de la construcción de los motores diésel. El motor 3508B es un motor diésel de cuatro tiempos para servicio pesado con un diseño de ocho cilindros en V que utiliza carreras de potencia largas y efectivas para obtener una combustión más completa y una mayor eficiencia.

Las condiciones severas de operación de los motores diésel pueden acelerar el desgaste de sus componentes internos, por tal razón, los motores que operan bajo condiciones severas pueden requerir intervalos de mantenimiento más frecuentes para poder alcanzar la vida útil para la que fue diseñado y obtener el máximo rendimiento. Es por esta razón que se hace estrictamente necesario establecer rutinas de mantenimiento para los equipos y motores diésel, basándose en las recomendaciones del fabricante pero sin dejar por un lado las condiciones a las que es sometido durante su operación de rutina.

Las condiciones anteriores influirán en la decisión correcta acerca del momento oportuno en el que se debe realizar la reconstrucción de un motor, ya que la operación extendida en ambientes severos puede ocasionar daños prematuros en algunos componentes.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar un estudio completo acerca del funcionamiento de los componentes y de los diferentes sistemas que conforman un motor de combustión interna de un camión Caterpillar 777D.

### **Específicos**

1. Proveer las herramientas necesarias para poder realizar análisis de riesgo en las diferentes actividades que componen una reconstrucción de un motor diésel, a través de la elaboración de una matriz de riesgos.
2. Conocer y poner en práctica las normas de seguridad industrial requeridas para las actividades de un taller de reconstrucción de componentes de maquinaria y equipo de construcción y el uso correcto del equipo de protección personal requerido.
3. Estudiar y comprender los diferentes tipos de mantenimiento existentes para motores diésel y la importancia de cada uno de ellos en la disponibilidad y tiempo de vida de los motores.
4. Proveer los criterios de evaluación necesarios para poder determinar el momento correcto, para realizar una reparación mayor en un motor diésel, considerando los diferentes aspectos y condiciones de operación de los motores.

5. Determinar el alcance y los pasos a seguir para la reconstrucción del motor diésel de un camión de aplicación minera, así como los criterios que deben considerarse al momento de realizar una reconstrucción.
6. Analizar los beneficios de realizar una reconstrucción del motor diésel de una forma programada antes de la falla y las desventajas de realizar reparaciones prolongadas hasta que ocurra una falla.
7. Estudiar los procedimientos y criterios involucrados en la evaluación, reparación y remplazo de los diferentes componentes de un motor diésel.
8. Comprobar el funcionamiento del motor diésel reconstruido utilizando pruebas de desempeño con un dinamómetro.
9. Realizar medición de los principales parámetros de funcionamiento del motor diésel del camión 777D, antes y después de la reconstrucción.
10. Elaborar una rutina de mantenimiento preventivo para un motor diésel del camión 777D a través de intervalos establecidos de tiempos en horas de servicio.
11. Instruir a los técnicos de servicio sobre los pasos para la reconstrucción de dicho motor.

## INTRODUCCIÓN

El principal producto que entrega cualquier organización de mantenimiento de equipos de minería son las horas de equipo disponibles que el Departamento de Operaciones puede utilizar para cumplir sus metas de producción.

Comúnmente, el desempeño en estas áreas es reportado en términos de esa disponibilidad de horas de los equipos, ya que la disponibilidad es una medición clave a través de la cual los gerentes de minas cuantifican el desempeño de su flota de maquinaria, a la vez que provee las bases para poder identificar necesidades de adquisición de nuevos equipos.

Existen tres factores críticos que afectan la disponibilidad de los motores y equipos de minería: el diseño del producto, la aplicación u operación en la cual es utilizado y el mantenimiento que este recibe durante su vida de servicio. De los tres anteriores, el último es el que ofrece la mayor oportunidad de mejora, ya que puede ser directamente influenciado por los equipos de mantenimiento de las organizaciones mineras.

Por lo anterior y tomando en cuenta que uno de los principios fundamentales que determina la vida de un equipo son las buenas prácticas de mantenimiento, es necesario un estricto cumplimiento de las rutinas y pasos de mantenimiento recomendados por el fabricante y establecidos por cada organización individual. Además de las rutinas de mantenimiento preventivas, las organizaciones de mantenimiento de minas exitosas, también incorporan

procedimientos predictivos y correctivos para lograr ser completamente efectivos.

El mantenimiento preventivo de motores para aplicaciones de minería está compuesto por diferentes grupos de rutinas que se programan en intervalos predefinidos de horas de operación, para garantizar su buen funcionamiento y confiabilidad.

Estas rutinas incluyen inspecciones de seguridad, y de funcionamiento; cambio y selección de lubricante apropiado, filtros, ajustes, calibraciones, limpieza y remplazo de algunos componentes debido a desgaste normal o tiempo de uso. El objetivo primordial es prevenir fallas inesperadas y desgastes acelerados en los componentes de los motores, así como detectar fallas en su etapa inicial y poder realizar reparaciones programadas que no interfieran en las operaciones productivas de la mina.

Tomando en cuenta lo anterior es recomendable realizar mediciones comparativas de desempeño en los procesos de mantenimiento, para poder identificar las buenas prácticas y poder monitorear el progreso hacia un conjunto de objetivos específicos. El proceso de mediciones comparativas ayuda a identificar áreas con debilidades, prácticas deficientes y oportunidades de mejora, ya que es un proceso de mejora continua, sistemático y sobre la marcha, que requiere un compromiso a largo plazo por parte de los involucrados.

# **1. GENERALIDADES**

## **1.1. Historia de Corporación General de Tractores**

Gentrac es el distribuidor exclusivo de la marca Caterpillar para Guatemala. Está ubicada en la ciudad de Guatemala, al final de la Calzada Aguilar Batres, zona 12. Cuenta además, con una sucursal en el departamento de Quetzaltenango.

El 15 de agosto de 1964, Mayatrac, empresa antecesora de Gentrac toma la representación de la marca Caterpillar en Guatemala. Esta representación es mantenida hasta el 28 de febrero de 1998, cuando Compañía General de Equipos, S. A. (COGESA) de El Salvador, con 70 años de ser distribuidor exclusivo de los productos Caterpillar compra toda la operación a Mayatrac y así se constituye Gentrac en Guatemala y Gentrac en Belice.

El 01 de marzo del 1998, Gentrac inicia operaciones en la ciudad de Guatemala, dirigida por un grupo dinámico de hombres de negocios, con el objetivo principal de contribuir con el desarrollo de Guatemala.

El 01 de enero del 2010, Gentrac Guatemala, Gentrac Belice y COGESA se convierten en subsidiarias de Ferreyros, empresa líder en el Perú en importaciones de bienes de capital, con 87 años de reputación de alta calidad, integridad y compromiso con sus clientes. Esta decisión da una fortaleza financiera a Gentrac Guatemala, ya que Ferreyros es una empresa que actualmente cuenta con ingresos superiores a los US\$ 1 000 000 000,00 anuales.

## **1.2. Proyección de Corporación General de Tractores como distribuidor de equipos Caterpillar**

Como distribuidor exclusivo de Caterpillar, Gentrac es una empresa altamente calificada para satisfacer las necesidades de sus clientes y ayudarlos en el éxito de sus negocios.

Está dedicada a la venta y arrendamiento de maquinaria pesada y liviana para la construcción de carreteras, movimientos de tierra, desarrollos inmobiliarios, etc., así como la más completa línea de plantas eléctricas, motores marinos, motores industriales, motores vehiculares y montacargas.

Además de lo anterior, Gentrac ofrece un respaldo completo en repuestos y servicios para todos los productos Caterpillar que ofrecen a sus clientes. Proveen los productos de la más alta calidad y brindan un excelente servicio al cliente, lo que les ha dado una historia llena de éxitos y crecimiento continuo.

Gentrac forma parte de un grupo de empresas que son los distribuidores exclusivos de Caterpillar para Guatemala, El Salvador y Belice. La cobertura y soporte que le brinda a sus clientes debido a su presencia en estos 3 países, constituye una de sus más grandes fortalezas.

### **1.2.1. Misión y visión**

- Misión

“Ser la mejor solución en equipos, respaldo al producto y opciones financieras, trabajando en conjunto con nuestros clientes.”

- Visión

“Ser los mejores en proporcionar soluciones a nuestros clientes y satisfacción a nuestros empleados, con solidez financiera.”

- Valores

Los valores institucionales de Gentrac se describen a continuación:

- El cliente es primero
- Integridad y honradez
- Respeto por otros y el ambiente
- Profesionalismo
- Trabajo en equipo
- Innovación y creatividad

### **1.2.2. Organización interna del Departamento de Servicio**

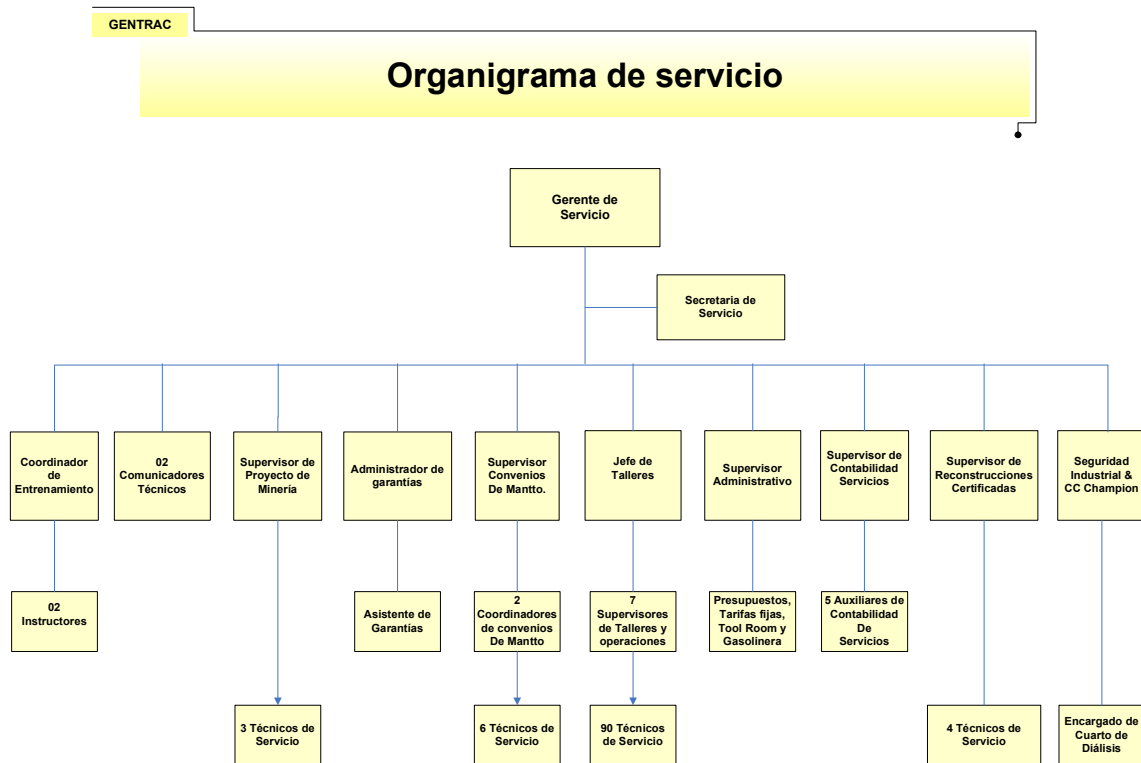
El Departamento de Servicio de Gentrac es una de las áreas más importantes del distribuidor, ya que ayuda a fortalecer las actividades de soporte a los productos que Gentrac proporciona a sus clientes, brindando servicios de mantenimiento: preventivos, correctivos y predictivos en los equipos Caterpillar.

Además, brinda opciones de convenios parciales y totales de mantenimiento y de reparación para equipos de movimiento de tierras, equipos de construcción, equipos de minería y grupos electrógenos.



Actualmente, el Departamento de Servicio de Gentrac cuenta con 144 colaboradores, de los cuales 103 son técnicos de servicio. A continuación se detalla el organigrama del departamento.

Tabla I. **Organigrama del Departamento de Servicio**



Fuente: Departamento de Servicio Gentrac.

### 1.3. Descripción de las diferentes áreas del Departamento de Servicio

El Departamento de Servicio, de acuerdo a su especialidad, está compuesto por diferentes áreas y talleres, los cuales se nombran a continuación.

### **1.3.1. Taller central**

El taller central es el más grande de los que forma parte del Departamento de Servicio. Es un área que se dedica a realizar pruebas de diagnóstico de fallas, mantenimiento y reparación de máquinas que permite acoger un promedio de 40 máquinas en estacionamientos adecuados y equipados para los procedimientos de reparación. Esta área está destinada principalmente al procedimiento de remoción e instalación de componentes principales de las máquinas.

En esta área trabajan técnicos especializados en diferentes tipos de maquinaria, los cuales están equipados con modernos equipos electrónicos de diagnóstico y literatura de servicio.

Figura 1. **Taller central de Gentrac**



Fuente: taller central de Gentrac.

### 1.3.2. Taller de componentes de rodaje y soldadura

Como complemento al taller de maquinaria, en este se repara todo el sistema de rodaje y sus componentes, tales como: cadenas, bastidores de rodos, ruedas guía, rodillos y zapatas, además de trabajos de recuperación con soldadura en componentes diversos como cucharones, hojas topadoras y otros accesorios.

Cuenta además, con un área de torno y herramientas que es utilizada para reconstrucción o fabricación de piezas metálicas como soporte a las reparaciones que se realizan en los otros departamentos.

Figura 2. **Área de cadenas del taller de rodaje**



Fuente: taller de rodaje de Gentrac.

### **1.3.3. Taller de reconstrucción de componentes**

Este es un taller especializado en la reparación y reconstrucción de los componentes internos de las máquinas Caterpillar, es aquí donde se reconstruyen los componentes que son removidos en el taller central, tales como: motores de combustión interna, transmisiones hidráulicas, bombas hidráulicas, cilindros hidráulicos, motores hidráulicos, turbocompresores, bombas de agua, bombas de inyección de combustible, culatas, entre otros.

En el área de reconstrucción de motores, mostrada en la figura 3, se cuenta con bancos de trabajo especializados para poder soportar los distintos tipos y tamaños de motores que se utilizan en la industria. Además cuenta con un dinamómetro con sistema de monitoreo electrónico para garantizar que los motores que han sido reconstruidos puedan ofrecer un óptimo rendimiento de trabajo, a través de pruebas de esfuerzo y desempeño que se le realizan.

En el área de transmisiones hidráulicas se cuenta también, con un banco de pruebas para simular en un ambiente controlado, el trabajo que estas transmisiones realizan en los equipos Caterpillar. A través de estas pruebas se puede monitorear el funcionamiento de cada uno de sus componentes internos, para asegurarse del buen funcionamiento de una transmisión reconstruida, o bien, para poder localizar una falla interna de funcionamiento.

Se cuenta además, con un área especializada en cilindros hidráulicos en donde se pueden realizar mediciones de dureza y torcionamiento de los mismos con una alta precisión, para posteriormente realizar la reconstrucción y control de calidad en los mismos.

En el laboratorio de bombas de inyección de combustible se cuenta con tres bancos de pruebas de bombas de inyección, un banco para pruebas de gobernadores y un banco para pruebas de inyectores unitarios.

Figura 3. **Área de motores del taller de componentes**



Fuente: taller de reconstrucción de componentes de Gentrac.

#### **1.3.4. Laboratorio de análisis periódico de aceite**

El laboratorio para análisis periódico de aceite es una herramienta de mantenimiento predictivo que permite reducir el tiempo de paro y el costo de operación de los equipos de construcción, minería y otros.

Este programa se utiliza para determinar la condición de los componentes de los equipos, tales como: motor, transmisión, mandos finales, sistemas

hidráulicos y otros, con base en la tendencia de desgastes de los diferentes materiales y la cantidad de contaminantes encontrada en las muestras de aceite. Gentrac cuenta con su propio laboratorio de análisis de aceite, el cual, a través de moderna tecnología, como se aprecia en la figura 4, y personal altamente calificado, realiza las pruebas de diagnóstico y provee la interpretación de los resultados. Dichos resultados pueden ser monitoreados por los clientes a través de un sitio web, en el cual se almacenan los resultados obtenidos y el historial de cada componente.

Figura 4. **Laboratorio de análisis de aceite**



Fuente: área de procesamiento de muestras del laboratorio de Gentrac.

### 1.3.5. Área de lavado de maquinaria

Como parte de los estándares de control de contaminación que se mantienen en Gentrac, se cuenta con un área aproximada de 1 500 mt<sup>2</sup> destinada para el lavado de maquinaria y equipos. Este procedimiento de lavado permite el ingreso a los diferentes talleres de máquinas libres de contaminantes como tierra y aceites, controlando así la limpieza de los mismos.

Esta área cuenta con un moderno sistema implementado en una fosa de decantación mostrada en la figura 5, que permite la separación de tierra, aceite y sedimentos del agua, con un posterior tratamiento del agua antes de su evacuación.

Figura 5. Área de lavado de máquinas



Fuente: área de lavado de Gentrac.

#### **1.4. Cronología de la historia de los productos Caterpillar**

Caterpillar Inc. es una corporación de Estados Unidos de América que tiene su sede central en la ciudad de Peoria, Illinois. Actualmente es el fabricante más grande del mundo de maquinaria para la construcción, equipos de pavimentación, equipos de minería, motores diésel y turbinas industriales de gas. A continuación se detalla de forma cronológica la historia del surgimiento de esta gran industria.

- 1859: Daniel Best de 21 años partió de su granja en Iowa para buscar oro en el oeste. Trabajando en la granja de su hermano se da cuenta del enorme esfuerzo humano que se requería en ese entonces para transportar y cosechar cereales.
- 1863: Charles Holt abandonó su tierra en la Nueva Inglaterra y encaminó sus pasos hacia California para fundar la C.H. Holt & Company como: importadores de maderas duras, que pronto se llamaría la Holt Brothers, debido a que sus hermanos participaban del negocio (William, Frank y Benjamin Holt).
- 1871: Best patenta la primera cizañadora Best, la cual se muestra a continuación en la figura 6, utilizada para limpiar grano, siendo esta un rotundo éxito.



Figura 6. **Primera máquina cizañadora**



Fuente: Departamento de Entrenamiento, Gentrac.

- 1880: Best estableció la primera sucursal en Oakland California, más adelante compró una fábrica en las cercanías, en San Leandro, California.
- 1883: la Holt Brothers formó la Stockton Whell Company, con el joven Ben Holt como presidente.
- 1885: se vende la primera cosechadora trilladora, que incorporaba la popular cizañadora de Best.
- 1886: se vende la primera cosechadora combinada de Holt Brothers de accionamiento por cadenas con importantes mejoras.

- 1889: Daniel Best presenta su primera locomotora de tracción y de inmediato le acopló una cosechadora trilladora, con la cual patentó la cosechadora de vapor Best, mostrada en la figura 7.

Figura 7. **Primera cosechadora de vapor Best**



Fuente: Departamento de Entrenamiento, Gentrac.

- 1890: se fabrica la primera locomotora experimental de la Holt Brothers, mostrada en la figura 8.

Figura 8. **Primera locomotora experimental**



Fuente: Departamento de Entrenamiento, Gentrac.

- 1892: la Stockton Wheel Company se convirtió en la sociedad anónima Holt Manufacturing Co. Con más de 300 empleados y una nómina de pagos de US\$ 20 000,00 mensuales.
- 1906: se lanza en línea de producción un tractor de cadenas bajo la marca Caterpillar.
- 1908: Daniel Best decide vender su compañía a Holt, el hijo de Daniel, C. L. Best fue contratado como superintendente en la compañía de Holt. Ingenieros de acueductos de Los Ángeles compraron el primer tractor de cadenas Holt con motor a gasolina y luego ordenaron 3 tractores más y 80 vagones especialmente diseñados, por un total de US\$ 140 000,00 lo que consolidó el éxito comercial del nuevo producto Holt.

Figura 9. **Primer tractor de cadenas Holt**



Fuente: Departamento de Entrenamiento, Gentrac.

- 1909: la Holt compra la Colean Manufacturing Company de East Peoria. La venta se concretó el 25 de octubre. Ese mismo año se hizo la primera exportación de un tractor de cadenas. Además se pone a trabajar la primera niveladora autopropulsada (máquina de los buenos caminos, de las primeras en el mundo).
- 1910: C. L. Best forma su propia compañía en Elmhurst, California. La C. L. Best Gas Traction Company comenzó a fabricar tractores de ruedas con motores de gasolina.
- 1911: la fábrica de Stockton no se daba abasto, por lo que fue necesario agregar un tercer turno y para finales del año la fábrica contaba con 625 empleados. East Peoria y Stockton eran los únicos sitios de manufactura importantes.

- 1913: último año en que la Holt fabricó productos bajo la marca Best. Ese mismo año el modelo 75 fue el primer tractor de la C. L. Best en ostentar la marca registrada Tracklayer.
- 1915: en la primera guerra mundial los tractores de cadenas de Holt tuvieron una gran demanda de los aliados, ya que estos fueron utilizados para halar artillería y vagones de suministro a través de los lodosos y difíciles terrenos del campo de batalla. Best deja de fabricar tractores de rueda y comienza a producir tractores de cadena. En la fotografía se muestra la publicidad del cambio.

Figura 10. **Primer tractor de cadenas Best**



Fuente: Departamento de Entrenamiento, Gentrac.

- 1916: Best compró la antigua fábrica de su padre en San Leandro y tenía una nómina de pagos mensual que ascendía a US\$ 25 000,00.

- 1918: la falta de mano de obra durante la guerra trajo grandes números de mujeres a la Holt quienes sacaron el trabajo adelante. El oficial inglés Ernest Swinton declaró que fueron los tractores de cadena Caterpillar los que inspiraron su idea del tanque de guerra y ayudaron a cambiar el curso de la guerra, cerca de 10 000 tractores Holt apoyaron a los aliados en el fragor de la guerra.

Figura 11. **Tanque de guerra Holt**



Fuente: Departamento de Entrenamiento, Gentrac.

- 1921: Best introduce varios modelos de tractores con avances representativos, el Best 30 se convirtió en la norma de la industria.

Figura 12. **Tractor de cadenas Best modelo 30**



Fuente: Departamento de Entrenamiento, Gentrac.

- 1925: se fusiona la C. L. Best Tractor Co., y la Holt Manufacturing Co., para formar Caterpillar Tractor Co. El primer presidente del directorio de esta compañía fue C. L. Best. La planta de Best se convirtió en la primera casa matriz comenzando con la fabricación de cinco modelos de tractores: el *Tirthy*, el *Sixty*, el 2-Ton, el 5-Ton el 10-Ton y algunas cosechadoras trilladoras.

Durante más de 80 años, Caterpillar Inc., ha estado construyendo infraestructuras en todo el mundo y, junto con su amplia red de distribuidores, ha impulsado cambios positivos y sostenibles en todos los continentes.

Actualmente, los motores y sistemas de motores Caterpillar dan potencia a todo el mundo, ya que los motores mueven barcos, embarcaciones, y camiones, así como a sus propias máquinas de construcción y minería y

muchos más. Los sistemas generadores de energía eléctrica suministran energía primaria y de reserva para diferentes usos, como: explotaciones petrolíferas en alta mar, grandes minas en desiertos y montañas remotas, comunidades enteras en áreas que no reciben el suministro eléctrico de la red pública, hospitales, escuelas, fábricas, aeropuertos y edificios de oficinas.

## **1.5. Clasificación de productos Caterpillar**

Según su diseño, función y aplicación, las máquinas Caterpillar se agrupan en distintas familias de productos, los cuales estaremos describiendo brevemente en este capítulo.

### **1.5.1. Tractores de cadena**

Los tractores de cadena siguen siendo las máquinas más usadas para muchas aplicaciones de movimiento de tierra. Resultan adecuados para satisfacer requerimientos de alta producción en distancias cortas. Sus posibilidades de tracción les permiten operar en lugares frecuentemente inaccesibles a otros tipos de equipo. Es una selección popular para esparcir material, preparar sitios, construir caminos de acarreo, tumbar árboles, entre otros.

Los factores más importantes que se deben tomar en cuenta a la hora de seleccionar o clasificar un tractor de cadenas son el peso, la potencia y el tamaño de la hoja topadora. La configuración del tren de rodaje, también es un factor importante al considerar la aplicación de un tractor de cadenas, ya que los hay de diferentes configuraciones como extra larga (XL) y de baja presión sobre el suelo (LGP). En la figura 13 se observa uno de los modelos de tractores de cadena más grandes que produce Caterpillar.



Figura 13. **Tractor Caterpillar D11R**



Fuente: Manual de línea de productos Caterpillar. Gentrac.

Los tractores de cadena más pequeños que fabrica Caterpillar en la actualidad van del D3K al D5K, estas máquinas son sumamente versátiles y necesitan serlo para los tipos de trabajo que realizan. Todos los tractores de cadena pequeños están equipados con el motor Caterpillar 3046 que les proporciona mejor rendimiento, durabilidad, facilidad de servicio y excelente economía de combustible.

Las principales aplicaciones en la industria son detalladas a continuación:

- 27 % se utilizan en la industria de construcción de edificios
- 19 % se utilizan en la industria de máquinas agrícolas
- 18 % para la eliminación de residuos y manejo de chatarra
- 16 % en construcción de caminos, represas y aeropuertos

- 09 % en aplicaciones forestales
- 06 % en industria de minería
- 05 % en oleoductos y otras aplicaciones de la industria petrolera

No hay sustituto para el papel principal del topador pequeño en la obra de construcción de edificios. Pocas máquinas pueden igualar la capacidad del tractor de cadenas de rellenar zanjas, trabajar en pendientes empinadas y hacer nivelaciones de acabado, especialmente en lugares de poco espacio y de suelo blando.

Tabla II. **Modelos de tractores pequeños Caterpillar**

MODELO	POTENCIA		PESO OPERATIVO	
	HP	KW	Lb	Kg
<b>D3K</b>	80	59,7	17 544	7 859
<b>D4K</b>	92	68,8	18 080	8 201
<b>D5K</b>	104	77,6	20 534	9 314

Fuente: elaboración propia, basada en el Manual de línea de productos Caterpillar.

Los tractores medianos que fabrica Caterpillar en la actualidad van desde el D6K hasta el D7R, estos tractores tienen la rueda motriz elevada a excepción del D7E, el cual tiene una rueda motriz baja y no tiene sistema de monitoreo electrónico. Los tractores de cadena medianos son extremadamente versátiles y sirven para una amplia serie de aplicaciones en la industria como se describe a continuación:

- El 31 % se utiliza en la industria de construcción de edificios.
- El 23 % se utiliza en la industria de la construcción pesada.

- El 13 % en el mercado industrial, principalmente a la industria de eliminación de basuras.
- El 13 % a la industria forestal, principalmente para el arrastre de troncos.
- El 10 % se utiliza para aplicaciones de excavación de estanques, lo que se considera una aplicación agrícola.
- El 5 % se vende a la industria de minería.
- El 5 % se vende a la industria petrolera.

Tabla III. **Modelos de tractores medianos Caterpillar**

MODELO	POTENCIA		PESO OPERATIVO	
	HP	KW	Lb	Kg
<b>D6K XL</b>	125	93	28 409	12 886
<b>D6K LGP</b>	125	93	29 690	13 467
<b>D6N XL</b>	150	112	36 497	16 555
<b>D6N LGP</b>	150	112	39 112	17 741
<b>D7R</b>	240	179	55 040	24 960
<b>D7R XL</b>	240	179	56 095	25 441
<b>D7R LGP</b>	240	179	59 760	27 100
<b>D6T STD</b>	185	138	41 298	18 737
<b>D6T XL</b>	200	149	44 420	20 148
<b>D6T LGP</b>	200	149	50 968	23 119
<b>D7E STD</b>	235	175	57 441	26 055
<b>D7E LGP</b>	235	175	62 886	28 525

Fuente: elaboración propia, basada en el Manual de línea de productos Caterpillar.

Los tractores de cadena grandes, a diferencia de los tractores pequeños y medianos, no son máquinas de precisión. Son los verdaderos caballos fuertes de la línea de tractores. Su misión es mover grandes volúmenes de material, y están equipados para hacer justamente eso.

Los tractores de cadena grandes fabricados por Caterpillar en la actualidad van desde el D8T al D11T. En la tabla IV se muestran datos de peso y potencia para los distintos modelos de esta categoría. La mayoría de estos se venden a la industria de la minería y de la construcción pesada, otras posibles aplicaciones incluyen la construcción de edificios y aplicaciones de petróleo e industriales.

Los tractores de cadena grandes a menudo juegan un papel principal en la industria minera, a continuación se mencionan algunas aplicaciones comunes:

- Empuje de traíllas.
- Trabajos en paredes altas.
- Servir como herramienta principal de eliminación de capas en minas más pequeñas.
- Empuje confinado para ayudar al cargador.
- Empuje en descargas de camiones.
- Tumbiar pilas de material.

Tabla IV. **Modelos de tractores grandes Caterpillar**

MODELO	POTENCIA		PESO OPERATIVO	
	HP	KW	Lb	Kg
<b>D8T STD</b>	310	231	84 850	38 488
<b>D8T LGP</b>	310	231	86 328	39 158
<b>D9T</b>	410	306	110 447	50 098
<b>D10T</b>	580	433	146 499	66 451
<b>D11T</b>	850	634	248 456	112 698

Fuente: elaboración propia, basada en el Manual de línea de productos Caterpillar.

### **1.5.2. Cargadores de cadenas**

El cargador de cadenas tiene la capacidad de volverse una de las máquinas más versátiles en el inventario de un contratista, debido a su habilidad de excavar, empujar con la hoja, levantar y acarrear. Un cargador de cadenas puede ser a menudo la primera máquina en llegar a la obra y la última en salir de ella.

Todos los cargadores de cadenas Caterpillar tienen controles automáticos para el cucharón que permiten que este se levante a determinadas alturas de descarga y que regrese a los ángulos preajustados de excavación para ciclos más rápidos.

El diseño de motor en la parte posterior de estos cargadores de cadena grandes (el 953C, el 963B y 973) permite que el motor funcione de manera natural como un contrapeso de trabajo ofreciendo una estabilidad y visibilidad mejoradas y una buena relación de peso y fuerza. Ya que estos equipos ofrecen aplicaciones a nivel mundial con diferentes requerimientos, se construyen diferentes configuraciones de cargadores de cadenas.

En la figura 14 se muestra un cargador de cadenas Caterpillar modelo 953C durante una operación de acarreo de material.

Figura 14. **Cargador de cadenas**



Fuente: Manual de línea de productos Caterpillar. Genprac.

Las configuraciones para rellenos sanitarios están diseñadas específicamente, para la industria de manipulación de desperdicios. Ciertos modelos se encuentran disponibles en áreas específicas únicamente.

La industria de construcción de edificios monopoliza la mayor parte de la utilización de estos equipos:

- 56 % se utiliza en la industria de la construcción
- 21 % para usos industriales
- 17 % se venden a la industria de la construcción pesada
- 06 % para la industria minera, petróleo, agricultura y productos forestales

### 1.5.3. Cargadores de ruedas y portaherramientas integrales

A medida que aumentan las distancias de explanación y acarreo, los cargadores de ruedas pueden mover material eficientemente en operaciones de carga y acarreo. Su versatilidad y movilidad les permite realizar una variedad de tareas, tanto en la pila como fuera de ella. Generalmente, los cargadores de ruedas son más eficientes que los de cadenas en distancias de 400 pies o más.

La diferencia entre los cargadores de ruedas y los portaherramientas integrales es la adaptabilidad. Los dos tienen la capacidad de manejar trabajos una vez limitados a máquinas más grandes.

Figura 15. Cargador de ruedas 994F



Fuente: Manual de línea de productos Caterpillar. Gentrac.

Los cargadores de ruedas y portaherramientas integrales no están limitados a ninguna aplicación en especial ni a ninguna industria específica.

Frecuentemente, estas máquinas se ponen en un área de trabajo para ser usadas en una variedad de tareas. Los portaherramientas integrales en particular, se usan en aplicaciones donde la máxima versatilidad es importante. En estas situaciones, el acoplador rápido tiene la capacidad de aceptar una amplia gama de accesorios disponibles, desde los brazos de manejo de materiales hasta cortadores de pavimento.

Caterpillar fabrica una línea completa de cargadores de ruedas, incluyendo el cargador de ruedas más grande del mundo, el Cat 994G, mostrado en la figura 15. El Cat 994G fue el primero de la serie G de cargadores de ruedas. Estos nuevos modelos son más versátiles, trabajan mejor y con mayor eficiencia, son más fáciles de dar servicio y son más cómodos.

#### **1.5.4. Retroexcavadoras cargadoras**

Las retroexcavadoras cargadoras, como la mostrada en la figura 16, les permiten a los operadores excavar zanjas, cargar camiones y extenderse sobre obstrucciones, todo con poco o ningún derrame. Las retroexcavadoras cargadoras Caterpillar alcanzan lejos, excavan rápidamente y levantan grandes volúmenes de materiales, mientras brindan el tipo de control suave y preciso que necesitan los operadores para hacer más trabajos en menos tiempo.

Muchos contratistas han iniciado sus negocios con una retroexcavadora cargadora porque pueden mover material en una variedad de maneras, es maniobrable, puede transportarse en un remolque pequeño y tiene bajos costos de posesión y operación.



Figura 16. **Retroexcavadora Caterpillar 416E**



Fuente: Manual de línea de productos Caterpillar. Gentrac.

Todas las retroexcavadoras cargadoras Caterpillar pueden equiparse con un acoplador rápido trasero que permite la remoción e instalación rápida de cucharones de tamaños diferentes.

### **1.5.5. Excavadoras**

Actualmente, las excavadoras hidráulicas son unas de las máquinas más vendidas por Caterpillar. Esto es debido a que las excavadoras satisfacen varias aplicaciones debido a la flexibilidad de su configuración de varillaje delantero. Existen excavadoras de varios tipos y tamaños, así como excavadoras de gran volumen y palas frontales.

Figura 17. **Excavadora Caterpillar modelo 320D**



Fuente: Manual de línea de productos Caterpillar. Genfrac.

Los modelos clasificados como excavadoras pequeñas son la 307, 311, 312 y 315, que van desde las 7 hasta las 15 toneladas de peso operativo. Las principales aplicaciones en la industria son:

- 43 % se vende a aplicaciones de construcción de edificios
- 34 % se vende a aplicaciones de construcción pesada
- 12 % para aplicaciones industriales
- 06 % para aplicaciones de agricultura
- 03 % para aplicaciones de explotación forestal
- 01 % para aplicaciones de minería

Los modelos clasificados como excavadoras medianas son la 320, mostrada en la figura 17, 322, 325 y 330, las cuales oscilan entre 20 y 30 toneladas de peso operativo. Las principales aplicaciones en la industria son:

- 38 % se vende a aplicaciones de construcción de edificios
- 28 % se vende a la industria de la construcción pesada
- 13 % para aplicaciones industriales
- 08 % para aplicaciones de minería
- 07 % para aplicaciones de agricultura
- 05 % para aplicaciones forestales
- 01 % para la industria del petróleo

Los modelos clasificados como grandes excavadoras son la 345, 365, 375 y 385, las cuales oscilan entre 45 y 85 toneladas de peso operativo. Las principales aplicaciones en la industria son:

- 44 % se vende a aplicaciones de construcción de edificios
- 21 % se vende a la industria de la construcción pesada
- 11 % para aplicaciones industriales
- 22 % para aplicaciones de minería
- 01 % para aplicaciones forestales y para la industria del petróleo

#### **1.5.6. Camiones articulados**

Los camiones articulados Caterpillar están diseñados para viajar dondequiera que se necesiten. Uno de los cambios más importantes en camiones fuera de carretera fue el desarrollo de un enganche central articulado oscilante. Esto produjo dos beneficios importantes: se permitió que el tractor y el remolque articularan (movimiento en una conexión montado sobre un eje

pivote) usando dirección hidráulica simplificada. Y la oscilación redujo los esfuerzos sobre el bastidor.

Con estos nuevos desarrollos, los camiones pueden entrar en donde los de bastidor rígido normalmente no podían entrar. Las principales aplicaciones en la industria son las siguientes:

- 41 % utilizados en aplicaciones de construcción de edificios
- 20 % empleados en la construcción pesada
- 19 % para aplicaciones industriales
- 17 % utilizados en aplicaciones de minería
- 01 % en el mercado agrícola y aplicación forestal

Figura 18. **Camión articulado modelo 730**



Fuente: Manual de línea de productos Caterpillar. Gentrac.

### **1.5.7. Camiones de bastidor rígido**

Los camiones de bastidor rígido Caterpillar, como el que se muestra en la figura 19, tienen adaptación de pasadas con los cargadores de ruedas Caterpillar, para ayudar a los clientes a lograr tiempos de ciclos más rápidos y máxima productividad.

Los camiones de bastidor rígido o camiones de obra se diseñan específicamente, para trabajar en canteras, viajando por caminos más lisos y descargando en trituradoras y tolvas. Los camiones de construcción minera Caterpillar son acarreadores de servicio pesado construidos para trechos más largos y pendientes más empinadas.

El sistema Caterpillar de administración de la producción (VIMS) del camión está disponible en todos los modelos de camiones de bastidor rígido, incluso los modelos 769, 771D, 773D y 775D. Este sistema mide, exhibe y registra los tiempos de carga, descarga, viajes y distancias de acarreo y de retorno y cargas útiles de la máquina. El operador consigue información de la carga útil mediante una visualización en la cabina, y el operador del cargador recibe señales de un sistema de iluminación a cada lado del camión. Pueden transmitir datos almacenados a una computadora personal para analizarlos.

Los camiones rígidos Caterpillar se pueden dividir en dos categorías: los de construcción-minería y los de cantera. Los nombres de la categoría indican el lugar en donde opera la inmensa mayoría de camiones Caterpillar en minería, canteras y aplicaciones de construcción.

Figura 19. **Camión rígido Caterpillar 797**



Fuente: Manual de línea de productos Caterpillar. Gentrac.

### **1.5.8. Motoniveladoras**

Desde la nivelación de acabos o nivelación de pasadas largas a la limpieza de zanjas o trabajos en laderas es seguro que se encontrará una aplicación de motoniveladoras que corresponda a cada necesidad. Caterpillar presentó la serie de motoniveladoras H en 1994, la cual se puede apreciar en la figura 20, que remplaza a las legendarias motoniveladoras de la serie G introducidas 22 años antes.

Las motoniveladoras son responsables de preparar la tierra para nuevos caminos, despejando nieve y hielo para los viajeros, proporcionando apoyo en aplicaciones de eliminación de basuras, para nombrar apenas unos pocos.

Figura 20. **Motoniveladora Caterpillar modelo 120H**



Fuente: Manual de línea de productos Caterpillar. Gentrac.

Construidas para resistir aplicaciones duras, las motoniveladoras Caterpillar ofrecen el control preciso de la hoja y maniobrabilidad excepcional para la producción general. Las principales aplicaciones en la industria son las siguientes:

- 63 % se venden en la industria de la construcción pesada, principalmente en la construcción de caminos.
- 15 % es para uso en la industria de la construcción de edificios.
- 12 % para usos industriales.
- 04 % para uso de la industria de la minería.
- 03 % se utiliza en la agricultura.
- 02 % para uso en productos forestales.
- 01 % en la industria del petróleo.

### **1.5.9. Equipo de pavimentación**

Caterpillar ofrece una amplia gama de equipo de pavimentación de asfalto que compite en los mercados de pavimentadoras de neumáticos de caucho, de cadenas de acero y de bandas de caucho. Las pavimentadoras, los elevadores de camellones y los ensanchadores de camino proporcionan soluciones versátiles y fiables para las más exigentes aplicaciones de pavimentación.

Las pavimentadoras con neumáticos de caucho, como la que se muestra a continuación en la figura 21, proporcionan movimiento rápido y desplazamiento suave. Las pavimentadoras de cadenas de acero ofrecen la ventaja de esfuerzo de tracción y flotación.

El exclusivo sistema *Mobil-Trac* (MTS) provee lo mejor de ambos mundos al combinar alto esfuerzo de tracción con movilidad rápida. Caterpillar desarrolló el sistema MTS en los 80's para aplicaciones agrícolas. Esta tecnología pionera ha sido aplicada a una variedad de aplicaciones de máquinas que se benefician de la movilidad rápida, la baja presión de contacto con el suelo y el alto esfuerzo de tracción, incluyendo los tractores agrícolas *Challenger*, los remolques agrícolas y algunos equipos militares.

Las perfiladoras de pavimento en frío Caterpillar levantan el pavimento desgastado o deteriorado a una pendiente y rasante especificadas, eliminan los baches, las rodadas y otras imperfecciones y dejan una superficie con textura que se puede abrir inmediatamente al tránsito o sobre la que se puede depositar una nueva capa de asfalto. Se dispone de dos anchos de corte para satisfacer los requisitos de productividad.



Figura 21. **Asfaltadora Caterpillar modelo AP1000E**



Fuente: Manual de línea de productos Caterpillar. Gentrac.

#### **1.5.10. Compactadores**

Un compactador es una máquina pesada que consta de un tractor y de un cilindro de gran peso que va delante, como el mostrado en la figura 22, y funciona a modo de rueda delantera, aunque también es posible encontrar compactadores con doble cilindro.

Estos equipos se utilizan en construcción para compactar materiales. Son imprescindibles durante la construcción de carreteras, tanto en la subbase como en las mezclas asfálticas, siendo utilizadas también, para alisar superficies u otro tipo de tareas en obras diversas. Para la compactación de

materiales tales como arcilla se utilizan apisonadoras con elementos salientes en la superficie del cilindro, siendo usual denominarlas: pata de cabra.

Actualmente es normal que la compactación se logre mediante un elemento vibratorio situado dentro del cilindro, incrementando la capacidad de compactar o reduciendo el peso necesario. Esta disposición permite, además, la fabricación de equipos livianos y capaces de operar en áreas reducidas.

Figura 22. **Vibro compactador Caterpillar modelo CS533E**



Fuente: Manual de línea de productos Caterpillar. Gentrac.

## 1.6. Historia de la minería

Una mina es el conjunto de labores necesarias para explotar un yacimiento, y en algunos casos, las plantas de tratamiento del mineral extraído.

Las minas también reciben el nombre de explotaciones mineras o, simplemente explotaciones.

La mina más antigua conocida en los registros arqueológicos es Lion Cave (Cueva Del León), en Suazilandia. En ese lugar, datado hace 43 000 años, los hombres del período paleolítico excavaban en busca del mineral compuesto de hierro, la hematita, que extraían para producir un pigmento ocre. Otros sitios de similar antigüedad son donde los neandertales habrían extraído el sílex para fabricar armas y herramientas que fueron encontradas en Hungría.

Otra operación minera antigua fue la de obtención de turquesa, por los egipcios (3000 A. C.) en Uadi Maghara, península de Sinaí. La turquesa también fue extraída en la América precolombina, en el distrito minero de Cerillos en Nuevo México, en donde una masa de roca de 60 metros de profundidad y 90 metros de ancho fue removida con herramientas de piedra. El contenido de la mina cubre 80 000 metros cuadrados.

La pólvora negra fue usada por primera vez en minería en un pozo de Banská Stiavnica, Eslovaquia, en 1627. En este mismo pueblo se estableció la primera academia de minería del mundo en 1792. La primera escuela de estudios de minería de España se creó en 1777 en Almadén, Ciudad Real, trasladándose y desarrollándose los estudios de ingenieros de minas en Madrid en 1835 y manteniendo en Almadén la escuela de capataces de minas.

En la figura 23 se muestra una antigua máquina utilizada para excavación en yacimientos de minería.

Figura 23. **Antigua maquinaria utilizada en minería**



Fuente: [mina.es.wikipedia.org/wiki/Mina\\_\(miner%C3%ADa\)](http://mina.es.wikipedia.org/wiki/Mina_(miner%C3%ADa)). Consulta: febrero de 2012.

## **1.7. Clasificación de la minería**

Las minas pueden ser divididas utilizando varios criterios. El más amplio tiene en cuenta si las labores se desarrollan por encima o por debajo de la superficie de la tierra, dividiéndolas, respectivamente, en minas a cielo abierto o tajo abierto y minas subterráneas.

### **1.7.1. Minería a cielo abierto**

Las minas a cielo abierto o a tajo abierto son aquellas cuyo proceso extractivo se realiza en la superficie del terreno. Una de sus características es que se utilizan máquinas de minería de gran tamaño.

Para la explotación de una mina a cielo abierto, a veces, es necesario excavar con medios mecánicos o con explosivos, los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma el yacimiento. Estos materiales se denominan, genéricamente, estéril, mientras que a la formación a explotar se le llama mineral. El estéril excavado es necesario apilarlo en escombreras fuera del área final que ocupará la explotación, con vistas a su utilización en la restauración de la mina una vez terminada su explotación.

Las minas a cielo abierto son económicamente rentables cuando los yacimientos afloran en superficie, se encuentran cerca de la superficie, con un recubrimiento pequeño o la competencia del terreno no es estructuralmente adecuada para trabajos subterráneos (como ocurre con la arena o la grava). Cuando la profundidad del yacimiento aumenta, la ventaja económica del cielo abierto disminuye en favor de la explotación mediante minería subterránea.

La mina a cielo abierto más grande del mundo es El Cerrejón, en Colombia, con una extensión de 69 000 hectáreas y capacidad de producción de carbón de 31,1 millones de toneladas métricas.

### **1.7.2. Minería subterránea**

La minería subterránea o de socavón desarrolla su actividad por debajo de la superficie de la tierra a través de labores subterráneas. En términos comparativos, la maquinaria que se utiliza en minería subterránea es mucho más pequeña que la que se utiliza en minas a cielo abierto, debido a las limitaciones que impone el tamaño de las galerías y demás labores.

Las labores características de este sistema de explotación son los túneles, cavernas, bocamina o emboquille, cuarteles, galerías, pozos, chimeneas, etc.

Existen distintos métodos de exploración que se dividen en soportados por pilares, soportados por relleno y de hundimiento. La mina subterránea más grande del mundo es la de cobre El Teniente, en Chile, la cual se compone de casi 2 400 kilómetros de galerías subterráneas.

Las minas subterráneas se dividen en dos tipos, principalmente, según la posición de las mismas con respecto al nivel del fondo del valle.

Las que se encuentra por encima se denominan minas de montaña. En ellas el acceso es más fácil, al poder realizarse mediante galerías horizontales excavadas en las laderas del valle. Asimismo, el desagüe de las mismas se realiza por gravedad, a través de las labores de acceso.

En las minas que se encuentran por debajo del nivel del fondo del valle es necesario excavar pozos (verticales o inclinados), labores de acceso que descendan al nivel del yacimiento. En este caso el desagüe tiene que realizarse mediante bombas que impulsen el agua desde el interior de la mina hacia la superficie. Algunas de estas minas se encuentran debajo del mar, como es el caso de la mina de carbón Lota, en Chile.

## **1.8. Minería en Guatemala**

El uso de los materiales mineros en Guatemala data desde los tiempos de la civilización maya, teniendo un amplio uso en la fabricación de herramientas, esculturas, edificación, armamento, entre otras.

La roca volcánica con mayor difusión fue la obsidiana, con la cual se fabricaron todo tipo de herramientas cortantes, como cuchillos y puntas de flecha. La comercialización de esta roca vítrea permitió establecer rutas de

contacto a distintos lugares como los países centroamericanos, las costas y el altiplano mexicano, incluso se han recuperado artefactos de este material (de fuentes guatemaltecas) en las islas caribeñas y en Sudamérica.

Posiblemente, el mineral con mayor importancia en la industria prehispánica fue el jade. Tanto los mayas como los aztecas veneraban el jade, pero después de la conquista española su extracción o utilización cesó totalmente y su belleza se está revalorizando hasta los tiempos actuales. Se ha logrado determinar con toda claridad que en toda Latinoamérica solo hay jade en Guatemala, de hecho, en el mundo sólo existen cuatro regiones con depósitos de jade: Myanmar (antes Birmania), un depósito en California, un pequeño depósito en Japón y en Guatemala.

El caso de la eclogita, también fue importante para establecer contactos regionales, debido a que de este material se han encontrado artefactos en la isla de Cozumel (México), y a la fecha, los únicos yacimientos de este material reportados para Mesoamérica se encuentran en la región del río Motagua.

Durante la época colonial, la explotación de minerales de plomo, plata y oro fue bastante considerable, auge debido al interés de los españoles en la industria. Luego del término del dominio español, la industria minera quedó reducida a explotación en pequeña escala de minas existentes. Se tiene conocimiento que durante la época colonial existió explotación minera en los lugares que se muestran en la tabla a continuación:

Tabla V. **Localización de minas durante la época colonial en Guatemala**

Nombre de la Mina	Localización	Producto
Las Minas (hoy Minas de Almengor I y II)	12 km de Huhuetenango y a 8 km de Chiantla	Plata
Las Animas y Torzón (hoy La Esperanza y Torzón)	12 km de Las Minas	Plomo
El Sastre	Cercanía de la Ciudad Capital	Oro
Antigua Guatemala	Antigua Guatemala	Oro
Zunil	Zunil	Mercurio
Barreneche	Barreneche	Plata
Baca en Palencia	Baca en Palencia	Oro

Fuente: caracterización de la minería en Guatemala. [www.scribd.com/doc/62928951/JGC-Caracterizacion-de-La-Mineria-en-Guatemala](http://www.scribd.com/doc/62928951/JGC-Caracterizacion-de-La-Mineria-en-Guatemala). Consulta: febrero de 2012.

A partir de la firma de la independencia de Guatemala se han desarrollado varios proyectos importantes de minería en el país, siendo estos los más destacados:

- Entre 1860 y 1870 la empresa Potts, Knight y Co. dio principio a la extracción de oro en Las Quebradas, Izabal.
- Entre 1883 a 1893 se emprendieron trabajos en el antiguo mineral abandonado del Sacramento en jurisdicción de Mataquescuintla, departamento de Jalapa.
- En 1898 y 1899 se iniciaron los trabajos de exploración en la zona de Concepción y Alotepeque, dando por resultado el descubrimiento de interesantes vetas de zinc, plomo argentífero y cobre.



- Alrededor de 1917 operaban las compañías explotadoras Guatemarmol Mining and Development Co., The Quebradas Co., Mataquescuintla Mining Co., Rosario Co., entre otras.
- La compañía guatemalteca Guatemarmol fue constituida en 1958. Esta compañía ha desarrollado los depósitos de Zacapa y considerablemente incrementó el mercado para esta roca de construcción.
- En 1958 M. A. Hanna Company of Cleveland adquirió derechos de exploración de 350 Km cuadrados en el norte del lago de Izabal en busca de depósitos lateríticos de níquel. En 1960, los derechos de exploración fueron transferidos a la International Nickel Company of Canada (INCO).
- En agosto de 1960 fue formada la compañía Exploraciones y Explotaciones Mineras Izabal, S. A. (EXMIBAL), con el propósito de investigar el potencial de níquel y cobalto en lateritas de Izabal. La compañía era propiedad en 20 % de Hanna y 80 % de INCO, con alguna menor propiedad guatemalteca.
- De 1960 hasta 1965, EXMIBAL desarrolló un extensivo programa de exploración en su concesión en Izabal, especialmente en el área cercana a El Estor, donde fueron perforados pozos en secciones cercanas y aproximadamente 2 000 toneladas de mineral fueron enviadas a Canadá, para análisis y estudios metalúrgicos.

- El 25 de agosto de 1965 fue otorgada la concesión de explotación conocida como NIQUEGUA. Estas licencias se dieron para la extracción de níquel, cobalto, hierro y cromo en las áreas que incluían parte de Cahabón, Panzós y Senahú (Alta Verapaz), y El Estor, Livingston, Los Amates y Morales (Izabal). La concesión de NIQUEGUA fue de 385,38 kilómetros cuadrados.
- En 1970, la empresa EXMIBAL instaló una gran planta de extracción de níquel en Izabal y estuvo en operaciones hasta finales de 1980, cuando tuvo que cerrar por el incremento en los precios del petróleo y la disminución de los precios del níquel.
- En la época actual operan 11 empresas extranjeras en Guatemala, de las cuales cinco empresas explotan minerales metálicos. En el caso de los minerales no metálicos, es Cementos Progreso la empresa que más explota este recurso.
- En 1996 se otorgó licencia de exploración a la empresa Montana Exploradora de Guatemala, S. A. En el 2003 se otorgó licencia de explotación para oro y plata, la cual extrae estos minerales en los municipios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa en el departamento de San Marcos. Dicho proyecto minero se muestra en la figura 24.

Actualmente, Guatemala cuenta con un Ministerio de Energía y Minas, el cual es un ministerio del gobierno de Guatemala encargado de atender lo relativo al régimen jurídico aplicable a la producción, distribución y comercialización de la energía y de los hidrocarburos, y a la explotación de los recursos mineros.

Figura 24. **Vista aérea del proyecto Marlin en San Marcos**



Fuente: Área de Procesos de mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.

## **2. FASE DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Análisis de riesgo**

Los talleres de reparación de maquinaria de construcción y minería se caracterizan por ser instalaciones amplias que proveen capacidad y comodidad para los procedimientos de mantenimiento en dichos equipos. Las citadas infraestructuras y el trabajo que se realiza en ellas dan lugar a la aparición de algunos riesgos laborales característicos que es preciso identificar y prevenir, en aras de conservar la salud de las personas que realizan actividades en este campo.

Con el presente análisis se pretende identificar y analizar los riesgos laborales asociados a las distintas operaciones que se llevan a cabo habitualmente en los talleres de reparación de componentes de maquinaria de construcción y minería, así como describir las medidas que deben implementarse para su prevención y control.

#### **2.1.1. Identificación de riesgos**

El riesgo en el trabajo es la probabilidad de que suceda un evento, impacto o consecuencia adversos. Se entiende también, como la medida de la posibilidad y magnitud de los impactos adversos, siendo la consecuencia del peligro, y está en relación con la frecuencia con que se presente el evento.

Es además, una medida de potencial de pérdida económica o lesión en términos de la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado junto con la magnitud de las consecuencias.

#### **2.1.1.1. Riesgos químicos**

En el taller de reparación de componentes de Gentrac se identificaron los siguientes riesgos químicos:

- Inhalación de gases provenientes de solventes utilizados para limpieza de piezas de los componentes previos a su evaluación y armado.
- Inhalación de polvo depositado en componentes con mucho tiempo de almacenamiento.
- Absorción cutánea de componentes químicos contenidos en solventes utilizados para la limpieza de piezas de componentes previos al armado.

Figura 25. Ilustración de riesgos químicos



Fuente: símbolo de riesgo químico. [profmokeur.ca/quimica/riesgoquimico.htm](http://profmokeur.ca/quimica/riesgoquimico.htm). Consulta: marzo de 2012.

#### 2.1.1.2. Riesgos mecánicos

Los agentes mecánicos se enmarcan dentro del denominado: ambiente mecánico de trabajo, es decir, los lugares o espacios de trabajo, las máquinas, herramientas y demás objetos presentes durante el trabajo que puede producir caídas, aplastamientos, cortes, atasco o proyecciones de partículas.

Entre los riesgos mecánicos que se identificaron en el taller de reconstrucción de componentes están:

- El cuerpo de una persona o alguna de sus partes puede quedar atrapada por piezas que engranan objetos móviles e inmóviles.

- El colaborador puede quedar atrapado por vuelco de carretillas, vehículos o máquinas.
- Caídas desde diferentes alturas desde andamios, plataformas, escaleras fijas o portátiles, materiales apilados, estructuras o máquinas, tal como se ilustra en la figura 26.
- Caída en lugar de paso o una superficie de trabajo.
- Desplome de objetos, herramientas o materiales apilados.
- Posibilidad de recibir un golpe por partes móviles que pudieran presentar la maquinaria fija o por objetos y materiales empleados en manipulación o transporte.
- Golpes, cortes y punzadas que el trabajador puede recibir por acción de un objeto o herramientas sobre las cuales actúen otras fuerzas distintas a la gravedad.
- Proyección de partículas que se pueden manifestar en lesiones producidas por piezas, fragmentos o pequeñas partículas de material proyectadas por alguna máquina, herramienta o procedimiento.

Figura 26. **Ilustración de riesgos mecánicos**



Fuente: tipos de accidentes de trabajo. [puentedeheimdall.blogspot.com/2012/06/tipos-de-accidentes-de-trabajo.html](http://puentedeheimdall.blogspot.com/2012/06/tipos-de-accidentes-de-trabajo.html). Consulta: marzo de 2012.

### **2.1.1.3. Riesgos físicos**

Representan un intercambio brusco de energía entre el individuo y el ambiente, en una proporción mayor a la que el organismo es capaz de soportar. Entre los más importantes se citan el ruido, la vibración, temperatura, humedad, ventilación, presión e iluminación. Todos estos aspectos representan de una o de otra forma riesgos para los técnicos de servicio que intervienen en el taller de reconstrucción de componentes. Entre los que destacan en el taller de componentes están:

- Riesgo de contacto térmico producido cuando el técnico entra en contacto con objetos o sustancias calientes o muy frías.



- Según el tipo de trabajo a realizar se necesita un determinado nivel de iluminación. Un bajo nivel de iluminación, además de causar daño a la visión, contribuye a aumentar el riesgo de accidentes.
- Ruidos fuertes generados por motores eléctricos o de combustión interna, escape de aire comprimido y herramientas de percusión.

Figura 27. **Ilustración de riesgos físicos**



Fuente: factores de riesgo. [www.emagister.com/curso-prevencion-riesgos-laborales-factores-riesgo/factores-riesgo-ruido-perdida-permanente-audicion](http://www.emagister.com/curso-prevencion-riesgos-laborales-factores-riesgo/factores-riesgo-ruido-perdida-permanente-audicion). Consulta: marzo de 2012.

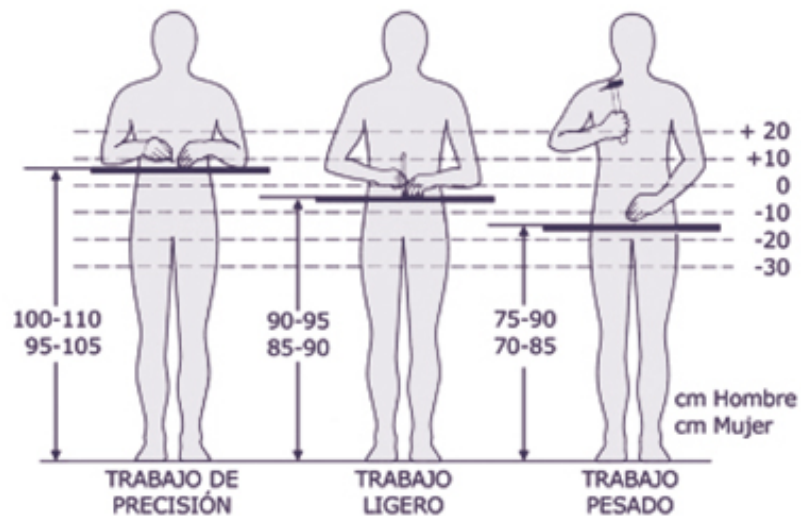
#### **2.1.1.4. Riesgos ergonómicos**

Los factores de riesgo ergonómico dependen de las cargas de trabajo, que a su vez dependen de las características personales y del grado de esfuerzo físico e intelectual.

Los riesgos ergonómicos que se destacan en el taller de reconstrucción de componentes son los siguientes:

- Fatiga muscular por la realización de trabajos en posiciones inadecuadas, ya sea que se realicen de pie, sentado o de forma alternativa.
- Fatiga muscular por manipulación de cargas, levantamiento de cargas o movimientos repetitivos.
- Fatiga muscular y aumento de riesgos de accidente por realización de tareas de alta demanda física o posturas sostenidas.

Figura 28. **Ilustración de riesgos ergonómicos**



Fuente: posturas forzadas.

[ergonomia.lineaprevencion.com/pages/riesgos.php?riesgo=1&vista=0](http://ergonomia.lineaprevencion.com/pages/riesgos.php?riesgo=1&vista=0). Consulta: marzo de 2012.

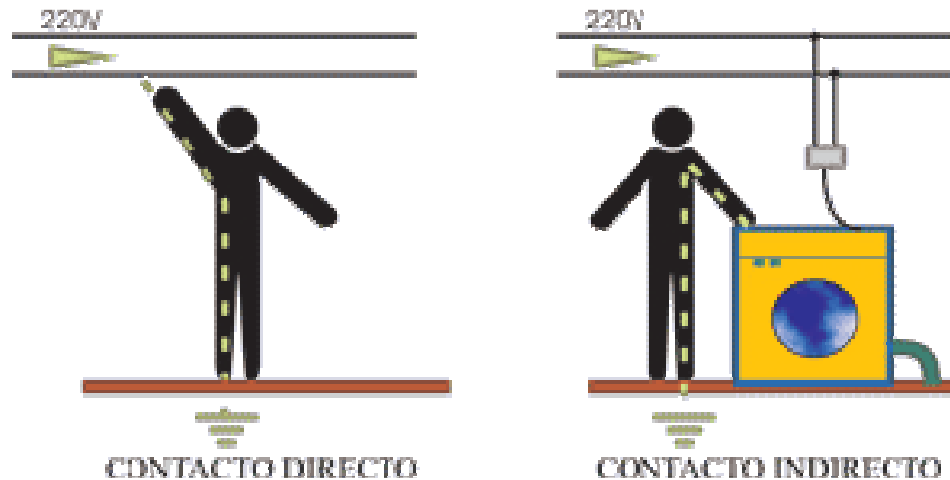
### **2.1.1.5. Riesgos eléctricos**

Se denomina riesgo eléctrico al riesgo originado por la energía eléctrica. Se llama contacto eléctrico directo al contacto de personas o animales con conductores activos de una instalación eléctrica. Un contacto eléctrico indirecto es un contacto de personas o animales puesto accidentalmente en tensión o en contacto con cualquier parte activa a través de un medio conductor.

Los riesgos eléctricos detectados son los siguientes:

- Contacto eléctrico directo: incluye los accidentes por contacto con la energía eléctrica del técnico de servicio con una parte activa de la instalación, que en condiciones normales puede tener tensión.
- Contacto eléctrico indirecto: incluye los accidentes en los que el técnico entra en contacto con algún elemento que no forma parte del circuito eléctrico y que, en condiciones normales no debería tener tensión, por lo que la ha adquirido accidentalmente.

Figura 29. Ilustración de riesgos eléctricos



Fuente: riesgos eléctricos más comunes.

[www.eduardono.com/site/Energ%C3%ADa/Riesgosel%C3%A9ctricosmascomunescontactoindirecto/tabid/1215/Default.aspx](http://www.eduardono.com/site/Energ%C3%ADa/Riesgosel%C3%A9ctricosmascomunescontactoindirecto/tabid/1215/Default.aspx). Consulta: marzo de 2012.

### 2.1.2. Evaluación de riesgos

Los métodos para la identificación, análisis y evaluación de riesgos son una herramienta muy valiosa para abordar con decisión su detección, causas y consecuencias que puedan acarrear, con la finalidad de eliminar o atenuar los propios riesgos, así como limitar sus consecuencias, en el caso de no poder eliminarlos.

A continuación se detallan los aspectos a ser evaluados en el taller de reconstrucción de componentes de Gentrac, antes de realizar cualquier trabajo de reparación:

- Seguridad estructural
  - Revisar la solidez adecuada del edificio o local de trabajo para el tipo de utilización previsto.
  - Verificar que no existan elementos de tensión eléctrica accesibles a los trabajadores.
  - Verificar la existencia de cables o extensiones sueltas en paredes o pisos del taller.
  - Existencia de bloqueadores en sistemas eléctricos y señalización informativa en los tableros de desconexión eléctricos.
  - Revisar si existe señalización del límite de carga.
  - Revisar circulación de personas sobre techos, cubiertas o plataformas estables.
  - Que exista señalización de advertencias, prohibiciones, obligaciones y rutas de evacuación visibles en las áreas de trabajo.
  
- Espacios de trabajo
  - Evaluar superficie libre por técnico, debe ser mayor a 2 m<sup>2</sup>.
  - Separación suficiente entre materiales o repuestos y el puesto de trabajo, para poder realizar trabajos en condiciones seguras.

- Asegurarse el tipo de suelo que sea estable o antideslizante.
- Verificar la diferenciación entre los pasillos definidos para el tránsito de personas y los destinados al paso de vehículos o maquinaria. Los pasillos deben de tener un ancho mínimo de 1 mt.
- Áreas de trabajo delimitadas, señalizadas y con visibilidad suficiente.
- Verificar orden y limpieza en la bahía de trabajo.
- Verificar resistencia de estanterías y estructuras de apoyo para almacenamiento.
- Verificar estabilidad de los apilamientos de materiales.
- Iluminación del puesto de trabajo adecuada a las características de trabajo y operación.
- Escaleras manuales
  - Revisar que las escaleras de mano tengan resistencia suficiente con elementos de apoyo y sujeción seguros.
  - Si se utiliza escaleras de tijera verificar elementos de fijación que eviten la abertura total.

- Asegurarse que el uso de las escaleras sea de forma eficiente y segura, verificando estabilidad en el suelo, inclinación adecuada y la participación de dos personas al momento de su utilización.
- El uso de escaleras de mano mayores a 5 metros de longitud deben de contar con certificado de garantía de resistencia.
- Servicios higiénicos y de seguridad
  - Verificar que exista agua suficiente para los servicios básicos.
  - Verificar que los puestos de trabajo tengan acceso a servicios higiénicos adecuados al número de técnicos del área de trabajo.
  - Los uniformes de trabajo deben permitir movilidad adecuada al técnico de servicios.
  - Disponer de un botiquín portátil de primeros auxilios en las bahías de trabajo.
- Herramienta y equipos
  - Asegurarse de que existan dispositivos de parada de emergencia al utilizar equipos y herramienta eléctricos.
  - Verificar el acceso al manual de operación, mantenimiento y de servicio de Caterpillar para la reparación o procedimiento específico a realizar y que sea comprendido por el técnico de servicio.

- Verificar existencia de procedimientos de limpieza de las áreas y preparación de los equipos de trabajo.
- Utilización de la herramienta adecuada y específica para el procedimiento o tarea a realizar.
- Utilización del equipo de protección personal básico y equipo de seguridad específico para la tarea o procedimiento a realizar.
- Asegurarse que los equipos de levante (grúas, polipastos, montacargas) se encuentren en óptimo estado de funcionamiento.
- Asegurarse de que cualquier equipo a utilizar no cuente con partes en movimiento, como poleas, ejes, transmisiones, cardanes, engranajes y tomas de fuerza que estén al descubierto o accesibles para el cuerpo o cualquier parte del mismo.
- Verificar la desconexión de cualquier suministro de energía eléctrica en los equipos a utilizar o bien en los equipos en los que se va a intervenir con algún tipo de reparación o mantenimiento, utilizando el método de bloqueo y etiquetado.
- Verificar que las herramientas manuales no estén en mal estado o que presenten desgastes o rupturas.
- Asegurarse de utilizar las herramientas adecuadas para cada tarea y que se almacenen en el lugar adecuado para tal fin.



- Productos y sustancias
  - Los productos químicos utilizados en los procedimientos y tareas de reparación deben contar con hojas de información de seguridad y estar al alcance de los técnicos de servicio.
  - Los recipientes y contenedores de productos químicos deben estar etiquetados en forma clara.
  - Los recipientes con productos peligrosos deben tener garantizada la resistencia a la rotura o a la degradación.
  - Disponer de los medios específicos para limpiar o neutralizar los derrames o fugas de sustancias químicas.
  - Asegurarse de la existencia de duchas y lava ojos suficientes en las áreas de taller donde puedan producirse proyecciones o derramamientos de sustancias.
  - El uso obligatorio del equipo de protección personal está documentado en las normas y procedimientos.
  - Asegurarse que el almacenamiento de productos o sustancias inflamables se realiza en áreas sin riesgo de fuego y en armarios protegidos.

### **2.1.3. Matriz de riesgos en actividades de talleres**

Para garantizar un ambiente de trabajo seguro en el área de reconstrucción de componentes de los talleres de Gentrac se ha elaborado una matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos. Para ello se han tomado los siguientes criterios de ponderación de cada uno de los riesgos detectados, con el fin de poderlos clasificar según su probabilidad o importancia.

- Grado de severidad

Indica el daño que se puede producir en el colaborador o en las instalaciones si el riesgo se materializa, se clasificará de la siguiente forma:

- Levemente dañino (LD)
  - A la seguridad: ocasiona lesiones menores sin incapacidad como cortes y magulladuras pequeñas, irritación en ojos por presencia de polvo.
  - A la salud: no causa efectos agudos en la salud, sin incapacidad ni secuelas, se limitan a molestias e irritación, por ejemplo, dolor de cabeza o incomodidad.
  - A las instalaciones: genera pérdidas económicas imperceptibles y no interfiere en ninguna actividad del proceso productivo.

- Dañino (D)
  - A la seguridad: causa lesiones con incapacidad temporal sin secuelas ni invalidez, por ejemplo, laceraciones, conmociones, quemaduras, torceduras importantes y fracturas menores.
  - A la salud: causa efectos agudos o crónicos en la salud, con incapacidad temporal, sin secuelas, sin invalidez. Por ejemplo, las dermatitis, afecciones respiratorias y trastornos músculo-esqueléticos.
  - A las instalaciones: genera pérdidas económicas menores y pueden interferir temporalmente en una o más actividades del proceso productivo.
  
- Extremadamente dañino (ED)
  - A la seguridad: puede generar muerte o incapacidad permanente con secuelas y/o invalidez tales como: amputaciones, fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones múltiples, lesiones fatales o muerte.
  - A la salud: se refiere a sospechosos o confirmados efectos cancerígenos, mutagénicos, generador de muerte o secuelas e incapacidad permanente con o sin invalidez.
  - A las instalaciones: generador de grandes pérdidas económicas, puede comprometerse el funcionamiento del proceso productivo.

- Nivel de probabilidad

Indica que tan probable es que el riesgo se materialice en las condiciones existentes. Se puede clasificar de la siguiente manera:

- Probabilidad baja (B)

- A la seguridad: el riesgo es ocasional, no se repite a diario y ocurre pocas veces a la semana. Nunca ha sucedido, sería una coincidencia que se diera.
- A la salud: la evaluación del peligro está en menos de un 90 % del valor límite umbral existente.

- Probabilidad media (M)

- A la seguridad: el riesgo se presenta frecuentemente, es completamente posible y ya se ha materializado en el lugar o en condiciones similares al peligro.
- A la salud: la evaluación del peligro se encuentre entre el 90 % y el 100 % del valor límite umbral existente.

- Probabilidad alta (A)

- A la seguridad: el riesgo se presenta permanentemente, su ocurrencia es el resultado más probable y esperado. Es evidente y detectable.

- A la salud: la evaluación del peligro supera el valor del límite umbral existente.

El cuadro descrito en la tabla VI presenta un método simple para estimar los niveles de riesgo de acuerdo a su probabilidad y severidad estimada. Los niveles de riesgos establecidos forman la base para decidir si se requiere mejorar los controles existentes o implementar nuevos controles, así como la temporización de las acciones.

Tabla VI. **Cuadro de estimación de niveles de riesgo**

		Severidad		
		Ligeramente dañino LD	Dañino D	Extremadamente dañino ED
Probabilidad	Baja B	Riesgo trivial T	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO
	Media M	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I
	Alta A	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I	Riesgo intolerable IN

Fuente: Departamento de Seguridad Industrial, Genfrac.

Con base en la tabla VI se han definido los siguientes criterios para la toma de decisiones acerca de los actos o condiciones inseguras que puedan presentarse en cualquier condición, tarea o procedimiento en el taller de reparación de componentes.

- Riesgo trivial (T): no se requiere ninguna acción específica.
- Riesgo tolerable (TO): no se necesita mejorar la acción preventiva, sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren además, comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
- Riesgo moderado (MO): se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas e implantarse en un período determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se establecerá una acción posterior para establecer, con más precisión la probabilidad de daño como base, para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
- Riesgo importante (I): no se debe iniciar el trabajo o procedimiento hasta que se haya reducido el riesgo. Es posible que se necesiten recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
- Riesgo intolerable (IN): no debe iniciar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducirse, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

A continuación se muestra la matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos que se utilizará para analizar los procedimientos y reparaciones en el taller de reconstrucción de componentes de Gentrac.

Tabla VII. Matriz de identificación de riesgos del taller de componentes

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS				Riesgo	ESTIMACIÓN DE RIESGO						VALORACIÓN DE RIESGO				MEDIDA DE CONTROL	Corrección	
Actividad	Puestos involucrados	Condición operación	Peligro		Severidad			Probabilidad			Nivel de riesgo						
					LD	D	ED	B	M	A	T	TO	MO	I	IN		
Reemplazar / Limpiar filtro de aire, ante filtro, respiraderos de motor y tubos	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Proyección de partículas												Equipo de protección personal	Usar mascarilla, tapones auditivos y lentes
Engrase general de máquina	Técnicos de servicio	Rutinaria	Químico	Contacto o exposición a líquidos o sólidos peligrosos												Equipo de protección personal	Usar guantes y lentes
Toma de muestras de aceite	Técnicos de servicio	Rutinaria	Químico	Contacto o exposición a líquidos o sólidos peligrosos												Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento.
Limpieza de componentes previa al armado	Lavadores de componentes	Rutinaria	Químico	Contacto o exposición a líquidos o sólidos peligrosos												Equipo de protección personal	Uso de guantes y lentes
Desarmado y armado de motor o componentes de motor	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Golpes-Cortes												Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento.
Utilización de solventes para aflojar tornillos en procedimientos de	Técnicos de servicio	Rutinaria	Químico	Contacto o exposición a líquidos o sólidos peligrosos												Equipo de protección personal	Usar casco, lentes y guantes
Revisar / reemplazar alternador, compresor de A/C y grupo de fajas	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Atrapamiento por o entre objetos												Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento y uso de guantes y lentes
Lavar máquina y componentes	Lavadores de componentes	Rutinaria	Mecánico	Proyección de partículas												Equipo de protección personal	Usar careta para lavado, guantes, capa impermeable
Cambio y nivelación de aceites, refrigerante y combustible	Técnicos de servicio	Rutinaria	Físico	Contacto térmico												Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento.
Utilización de aire comprimido para secado de componentes	Lavadores de componentes / Técnicos de Servicio	Rutinaria	Mecánico	Proyección de partículas												Equipo de protección personal	Usar careta para lavado, guantes, capa impermeable
Calibrar válvulas de admisión y escape, revisar varillas y rotadores	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Golpes-Cortes												Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento y uso de guantes y lentes
Prueba de motores en área de dinamómetro	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Atrapamiento por o entre objetos												Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento y uso de guantes y lentes
Evaluación y reparación de componentes sistema eléctrico	Técnicos de servicio	Rutinaria	Eléctrico	Contacto eléctrico directo												Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento y uso de guantes y lentes
Revisar, recargar cilindros de suspensión	Técnicos de servicio	Rutinaria	Químico	Contacto o exposición a líquidos o sólidos peligrosos												Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento.
Manipulación y traslado de componentes	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Atrapamiento por o entre objetos												Equipo de protección personal	Uso de guantes y lentes
Reacondicionamiento de culatas de motor	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Golpes-Cortes												Equipo de protección personal	Uso de guantes y lentes
Remover e instalar guardas	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Golpes-Cortes												Equipo de protección personal	Usar guantes, lentes y tapones auditivos
Remover e instalar llantas	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Atrapamiento por o entre objetos												Procedimiento administrativo	Señalizar y restringir el área de trabajo, uso de Guantes y lentes

Continuación de la tabla VII.

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS				Riesgo	ESTIMACIÓN DE RIESGO						VALORACIÓN DE RIESGO					MEDIDA DE CONTROL	Corrección	
Actividad	Puestos involucrados	Condición operación	Peligro		Severidad			Probabilidad			Nivel de riesgo							
					LD	D	ED	B	M	A	T	O	M	I	IN			
Suspender máquina sobre torres	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Atrapamiento por vuelco de máquina													Procedimiento administrativo	Verificar AST
Almacenamiento de repuestos y herramientas en	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Desplome													Equipo de protección personal	Uso de guantes, lentes y casco todo el tiempo.
Remover e instalar componentes (motor, cabina, servo transmisión y convertidor)	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Atrapamiento por o entre objetos													Procedimiento administrativo	Verificar el estado de la grúa y seguir las instrucciones del manual de mantenimiento
Remover, reparar e instalar cilindros hidráulicos	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Golpes-Cortes													Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento.
Realizar trabajos de soldadura	Técnicos de servicio	Rutinaria	Físico	Radiaciones no ionizantes													Equipo de protección personal	Usar careta, gabacha, guantes, mangas, polainas, mascarilla e instalar protección para personal externo
Remover reparar e instalar implementos	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Atrapamiento por o entre objetos													Procedimiento administrativo	Verificar el estado de la grúa y seguir las instrucciones del manual de mantenimiento
Remover, limpiar e instalar depósitos de aceite, refrigerante y	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Golpes-Cortes													Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento.
Utilización de grúas giratorias para manipulación de componentes	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Atrapamiento por o entre objetos													Equipo de protección personal	Verificar el estado de la grúa, Uso de lentes y Guantes.
Reemplazar mangueras y corregir fugas	Técnicos de servicio	Rutinaria	Físico	Contacto térmico													Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento. Uso de guantes y lentes
Medir y ajustar presiones hidráulicas	Técnicos de servicio	Rutinaria	Químico	Contacto o exposición a líquidos o sólidos peligrosos													Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento. Uso de guantes y lentes
Remover, reparar e instalar motores hidráulicos de tracción, giro, swivel y swing	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Golpes-Cortes													Procedimiento administrativo	Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento. Uso de guantes y lentes
Realizar trabajos de cortar, esmerilar, pulir y barrenar piezas	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Golpes-Cortes													Equipo de protección personal	Usar guantes y tapones auditivos
Realizar trabajos de cortar, esmerilar, pulir y barrenar piezas	Técnicos de servicio	Rutinaria	Mecánico	Proyección de partículas													Equipo de protección personal	Usar careta y gabacha
Realizar trabajos de oxiacetileno	Técnicos de servicio	Rutinaria	Físico	Contacto térmico													Equipo de protección personal	Usar gafas para oxicorte, gabacha, guantes, mangas, polainas
Limpieza de taller	Técnicos de servicio	Rutinaria	Químico	Proyección de partículas													Equipo de protección personal	Usar mascarilla y lentes
Despacho de productos químicos	Técnicos de servicio	Rutinaria	Químico	Contacto o exposición a líquidos o sólidos peligrosos													Equipo de protección personal	Usar mascarilla, lentes y guantes
Despacho repuestos	Técnicos de servicio	Rutinaria	Químico	Contacto o exposición a líquidos o sólidos peligrosos													Equipo de protección personal	Usar lentes y guantes

Fuente: Departamento de Seguridad Industrial, Gentrac.



#### **2.1.4. Normas de seguridad en el taller**

Una emergencia puede suceder en cualquier momento, con el potencial de causar graves consecuencias sobre la salud y la vida de las personas, por tal razón la planificación de la respuesta para controlar la enfermedad por parte de las empresas y la industria es esencial, para minimizar el impacto de una pandemia.

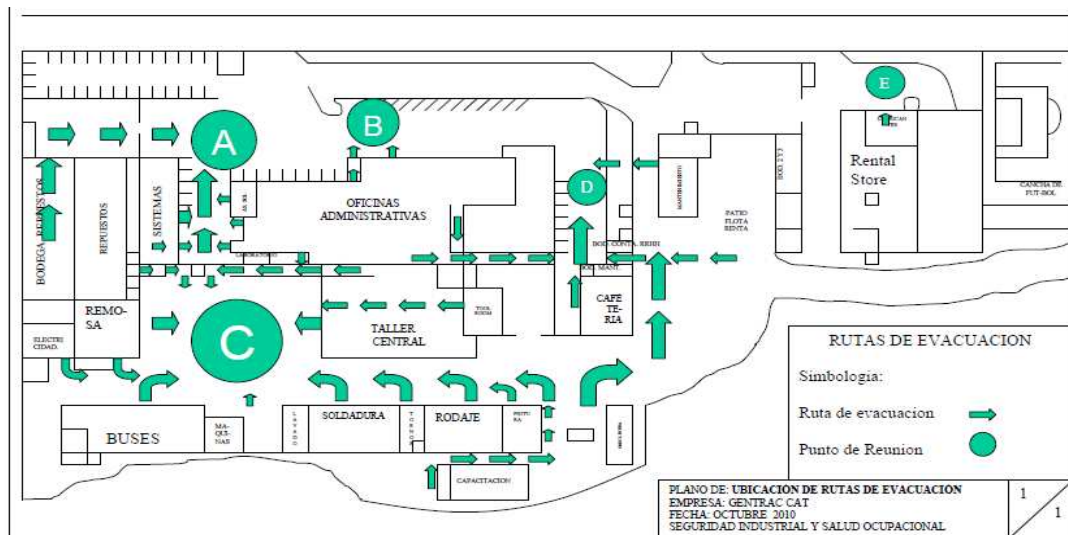
Las empresas que proporcionan servicios críticos, como la energía y las telecomunicaciones, tienen una responsabilidad especial para planificar la continuación de la operación en una crisis. En consecuencia, como sucede en cualquier catástrofe, tener un plan de contingencia es esencial.

A continuación se expone brevemente sobre la reacción que se espera de cada uno de los colaboradores del taller de reconstrucción de componentes de Gentrac ante emergencias tales como sismos, incendios, emanación de gases y lesiones personales.

- Prácticas de evacuación
  - Al momento de sonar la alarma, todo el personal debe dirigirse inmediatamente hacia la zona de seguridad que le corresponda.
  - El colaborador que está más cerca de la puerta de salida procederá a abrirla lo más rápido posible.

- Los colaboradores dejarán de inmediato la actividad que estén realizando y saldrán ordenadamente hacia las zonas de seguridad, siguiendo el trayecto indicado por las rutas de evacuación mostradas en la tabla VIII.
- Por ningún motivo los colaboradores deben retroceder en busca de algún objeto u otra cosa que hayan olvidado.
- El trayecto del colaborador hacia la zona de seguridad lo deberá realizar sin hablar, correr ni gritar, manteniendo un paso rápido.
- Todo el personal y las visitas que se encuentren en las instalaciones de Gentrac deberán dirigirse a las zonas de seguridad hasta el momento en que se indique la retirada.

Tabla VIII. **Rutas de evacuación en instalaciones de Gentrac**



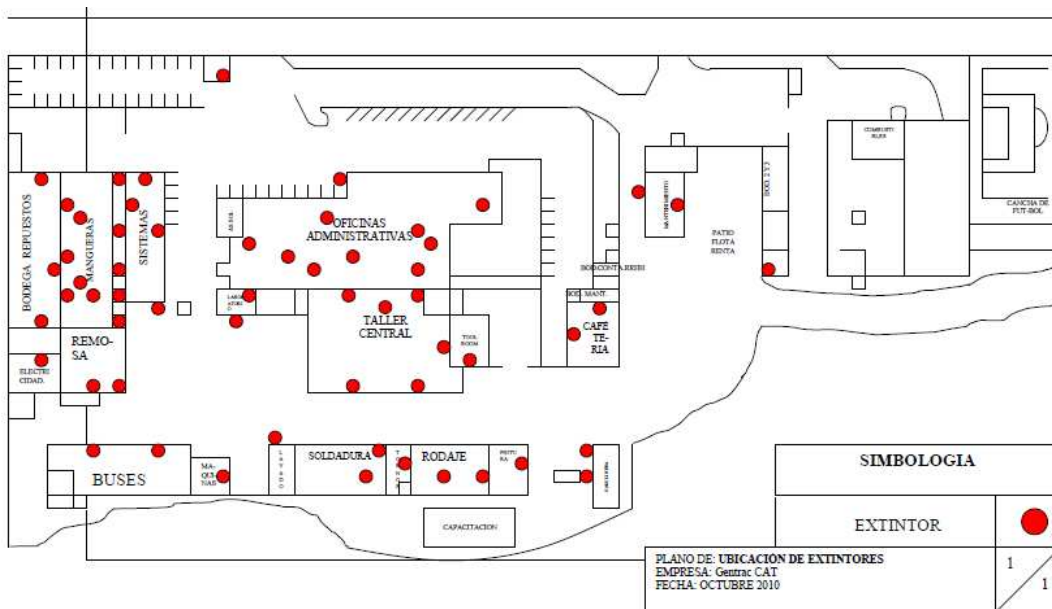
Fuente: Departamento de Seguridad Industrial, Gentrac.

- Emergencias en caso de incendio

Al producirse un conato de incendio debe darse la alarma interna, procediéndose a evacuar rápidamente las dependencias de la empresa en donde ocurre el siniestro. Junto con la alarma interna de incendio, se procede a llamar a la brigada industrial y de ser necesario, llamar inmediatamente a los bomberos (Tel. 122 y 123).

El principio de incendio debe ser atacado con la máxima rapidez y decisión utilizando los extintores de los que se dispone, como se muestra en la tabla IX.

Tabla IX. **Ubicación de extintores en instalaciones de Gentrac**



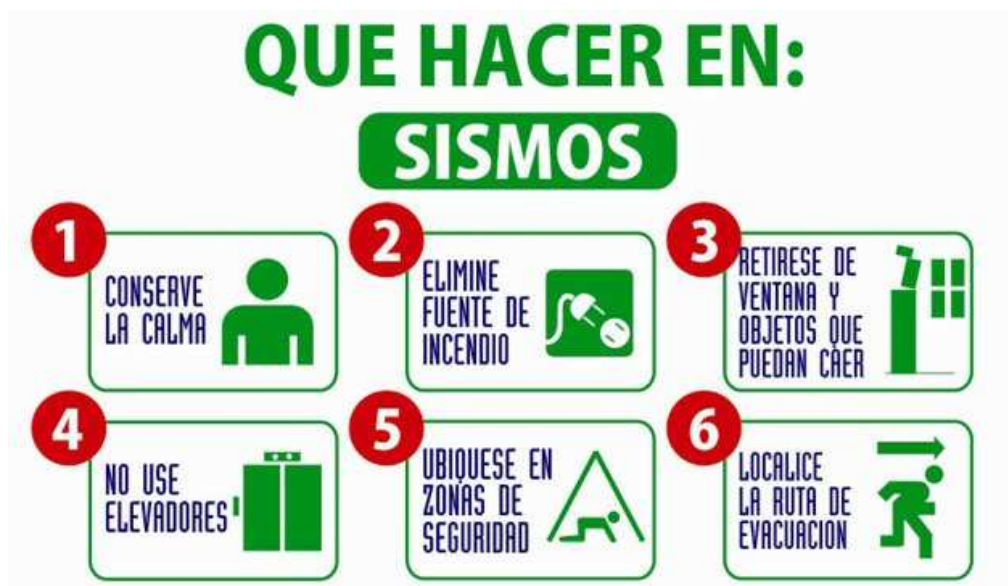
Fuente: Departamento de Seguridad Industrial, Gentrac.

En caso de no ser posible controlar el siniestro, todo el personal que presta ayuda en el control del incendio debe dirigirse a la zona de seguridad y esperar por la ayuda. Se recomienda no abrir más puertas y ventanas que las necesarias para evitar un avivamiento del fuego por la entrada de aire.

- Emergencia en caso de sismo
  - Los colaboradores deben mantener la calma y alertar a los demás.
  - Las puertas de salida, pasillos y oficinas deben abrirse.
  - Si el colaborador se encuentra dentro de un edificio debe permanecer dentro del mismo, seguir en forma ordenada y calmada las rutas de evacuación.
  - Buscar un lugar seguro como dinteles, columnas o esquinas de paredes.
  - No encender llamas o aparatos eléctricos.
  - No intentar regresar a un área cerrada.
  - Prestar ayuda si esta es solicitada, de lo contrario retirarse y buscar ayuda.
  - Los empleados que realizan actividades en los talleres, deberán desenergizar los equipos o máquinas, cortar suministros de gas, calefactores, mecheros, etc.

- Durante el sismo no se debe evacuar o salir corriendo, ya que esto constituye la mayor tasa de accidentes y lesiones.
- Después del sismo se debe proceder a la evacuación total del edificio hacia las zonas de seguridad, manteniendo la calma y el orden, el personal responsable evaluará las condiciones del edificio y tomará la decisión de volver a las actividades.

Tabla X. **Instrucciones en caso de sismos**

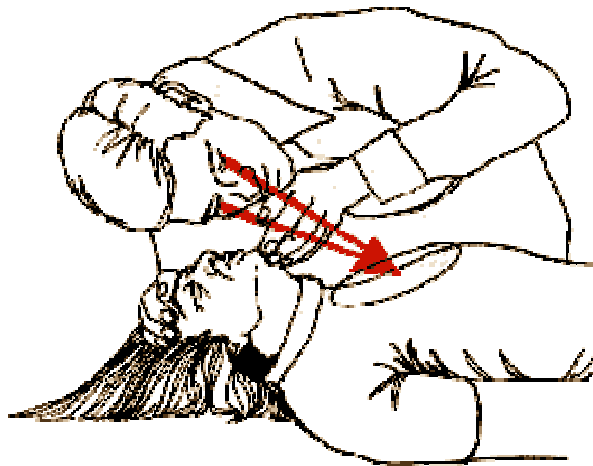


Fuente: Departamento de Seguridad Industrial, Gentrac.

- Ante una lesión o accidente
  - Avisar inmediatamente al jefe del área o al supervisor de seguridad industrial.

- No se debe mover a la víctima.
- Verificar que la víctima esté consciente y respirando.
- Prestar ayuda si esta es solicitada.
- Llamar a los bomberos.

Figura 30. **Verificación de primeros auxilios**



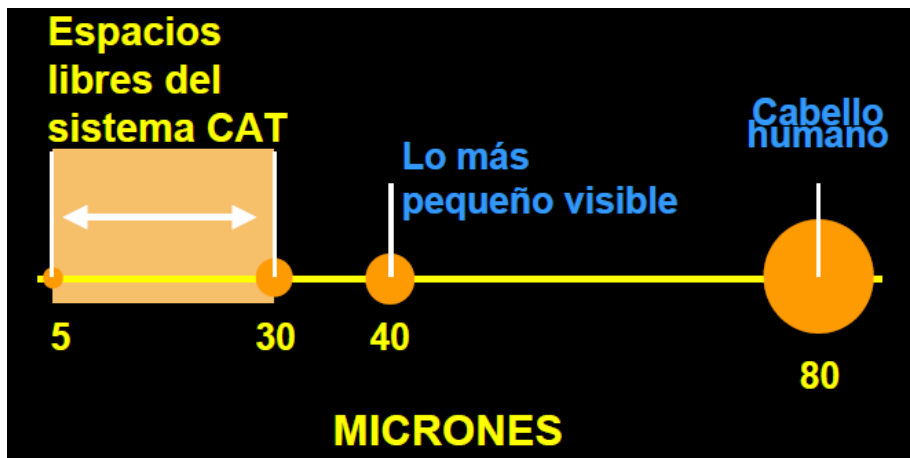
Fuente: parada cardio respiratoria. [www.cruzrojaayamonte.org/manual/manual4.htm](http://www.cruzrojaayamonte.org/manual/manual4.htm). Consulta: marzo de 2012.

### **2.1.5. Control de contaminación en las prácticas del taller**

La constante demanda de los clientes de obtener equipos que incrementen su productividad, ha creado en la industria tendencias a transformar los antiguos sistemas hidráulicos en sistemas electro-hidráulicos, con sistemas con rangos más altos de presión hidráulica y por lo tanto,

tolerancias internas más reducidas en los componentes de control de los sistemas, como se muestra en la figura 31.

Figura 31. Tolerancias en sistemas hidráulicos



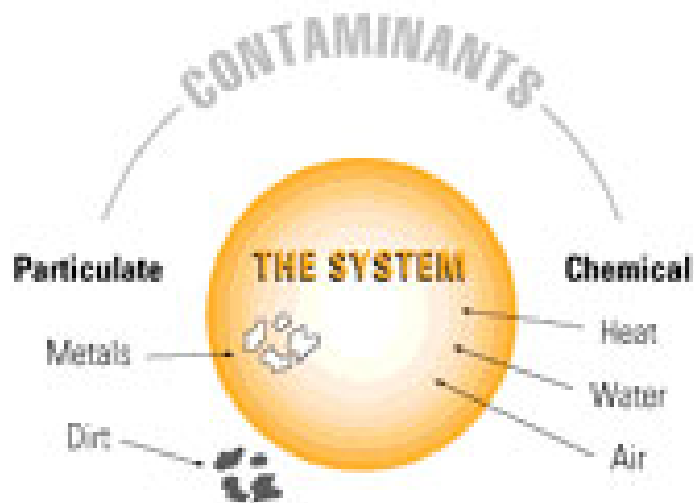
Fuente: control de contaminación, una iniciativa de confiabilidad permanente. Gentrac.

Como resultado de estas tendencias, los sistemas de fluidos que se utilizan ahora, tales como sistemas hidráulicos, transmisiones, mandos finales, motores, etc., no son capaces de tolerar los mismos niveles de polvo y otros contaminantes que eran anteriormente aceptables. Es por ello que los contaminantes de los fluidos son una amenaza para la confiabilidad del ciclo de vida de las máquinas y motores de la actualidad.

Se denomina contaminación de un fluido a cualquier cosa o partícula que no le pertenece. La mayor parte de las partículas contaminantes son comunes y controlables. Estas incluyen cosas tales como: tierra, metales, salpicaduras de soldadura, residuos de pintura, fibras de tela y materiales de sellado (empaques y pegamentos). Estos contaminantes pueden ser componentes incorporados, que ingresan desde el exterior o bien, generados internamente en el fluido.

El calor, el agua y el aire, también son considerados contaminantes de un fluido, ya que estos pueden combinarse para degradar la composición química de los aceites dando lugar a la oxidación del mismo y a la generación de ácidos.

Figura 32. **Contaminantes del aceite**



Fuente: control de contaminación, una iniciativa de confiabilidad permanente. Gentrac.

Los sistemas con fluidos contaminados reducen la eficiencia y los tiempos de ciclos de la máquina, acortan la vida útil del componente y del fluido, además de conducir a fallas catastróficas y costosos tiempos improductivos y reparaciones.

Por lo anterior, el objetivo de Caterpillar es crear un cambio de cultura a través de educación y entrenamiento de sus plantas de producción, de su red mundial de distribuidores y de sus clientes para convertirse en líderes en el control de la contaminación.



Dirigiendo esfuerzos hacia este aspecto tan importante de la operación de la máquina y del ciclo de vida, se puede conseguir:

- Mejoras en el tiempo de vida del componente y productividad de la máquina.
- Costos más bajos para los clientes y una mayor satisfacción de los mismos.
- Alargar la vida de los componentes y de la máquina.
- Incrementar el valor de la flota de renta.
- Reducir la generación de desechos peligrosos.
- Reducir las reparaciones por garantías.

La iniciativa del control de contaminación de los fluidos comenzó a tomar un rol activo a finales de 2002. El objetivo principal era mejorar las prácticas de taller de sus distribuidores, para reducir la contaminación en los sistemas hidráulicos de los equipos Caterpillar.

#### **2.1.6. Utilización de equipo de protección personal**

Los técnicos de servicio que deben trabajar en lugares donde los peligros no se pueden eliminar ni controlar en su origen, y cuando las ropas comunes de trabajo no brinden una protección personal, deberán protegerse desde la cabeza hasta los pies utilizando el equipo de protección personal asignado por

el área de seguridad industrial de la empresa. La utilización del mismo está limitada al tipo de actividad que se realiza.

- Protección visual

Tanto el trabajador que utiliza una herramienta como cualquier otro que esté expuesto a partículas despedidas con fuerza, ruedas abrasivas, sustancias corrosivas, rayos nocivos producidos por luz o calor, salpicadura de metales, emanaciones irritantes o gases venenosos deberá usar equipo de protección visual.

Aunque el trabajador use lentes recetados (por oftalmólogo y optometrista), cuando realice trabajos donde exista cualquiera de los riesgos antes descritos, deberá utilizar cubre gafas, ya que sus lentes ordinarios no han sido tratados térmica o químicamente y podrían romperse con facilidad.

Se deberá utilizar gafas protectoras en cualquiera de las siguientes condiciones:

- Cuando se realice cualquier trabajo que produzca cualquier partícula despedida frente a su rostro.
- Cuando se realicen trabajos con sustancias químicas se deberá utilizar gafas contra químicos, que protejan a los ojos contra salpicaduras corrosivas y polvos finos o niebla.

- Cuando el empleado necesite hacer trabajos de soldadura con acetileno y oxígeno o cortes con soplete; deberá usar máscara de soldar para evitar salpicaduras de metal fundido y las radiaciones producidas por un arco voltaico.
- Cuando se está puliendo un metal, lijando o efectuando una amoladura pequeña o manejando sustancias químicas, se deberá usar careta protectora de plástico transparente que protege contra partículas hacia el rostro.
- El equipo de protección visual será distribuido de acuerdo a la comodidad del trabajador, por lo que la incomodidad no es pretexto para no usar protección visual.

Figura 33. **Equipo de protección visual**



Fuente: protección visual y facial. [fumitienda.com/index.php?cPath=22](http://fumitienda.com/index.php?cPath=22). Consulta: marzo de 2012.

- Protección para la cabeza

Es obligatorio utilizar cascos protectores en los trabajos donde la cabeza de una persona corre peligro debido a la caída o voladura de objetos o de chocar contra algo. Estos protegen a la persona contra caída de objetos romos con energía máxima de impacto de 4,5 Kg (9,92 lb) y caída de objetos puntiagudos con energía máxima de impacto de hasta 1 Kg (2,20 lb).

Figura 34. **Equipo de protección para la cabeza**



Fuente: cascos de seguridad Caterpillar. [articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-400909039-cascos-de-seguridad-caterpillar-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-400909039-cascos-de-seguridad-caterpillar-_JM). Consulta: marzo de 2012.

El uso de casco protector es obligatorio en las siguientes condiciones:

- Cuando cualquier trabajador o persona visitante ingrese a las áreas de talleres, bodega de repuestos, patio de flota de renta y cualquier otra área donde se realicen trabajos con maquinaria.

- Cuando se opere cualquier maquinaria, incluyendo los montacargas.
  - Al realizar trabajos eléctricos.
  - No se permite hacer agujeros a los cascos para mejorar su ventilación.
  - Si el casco sufrió un golpe muy duro, pero no se rompió, se deberá cambiar por uno nuevo.
- Protección auditiva

Es importante utilizar equipo de protección auditiva, consistente en tapones auditivos y orejeras, en los lugares de trabajo donde se sobrepase el ruido de 90 dB, por espacios de tiempo superiores a 30 minutos y en las siguientes condiciones:

- Área de máquinas (compresores, planta eléctrica).
- Al estar trabajando cerca de buses, maquinaria, camiones o equipo de generación que emitan ruido excesivo.
- Al estar trabajando con equipo y herramientas que emiten mucho ruido.

Figura 35. **Equipo de protección auditiva**



Fuente: charlas de seguridad. [charlasdeseguridad.com.ar/2011/08/proteccion-auditiva/](http://charlasdeseguridad.com.ar/2011/08/proteccion-auditiva/).

Consulta: marzo de 2012.

- **Protección de dedos, palmas y manos**

Los dedos y las manos están expuestos a cortaduras, escoriaciones, contusiones y quemaduras, por lo que ciertas tareas requieren el uso de protección especial como guantes de tela, guantes de cuero u otros.

- Para cualquier actividad de trabajo donde exista riesgo de sufrir una lesión o accidente en las manos, utilizar guantes.
- Utilizar guantes de cuero resistentes a las chispas donde se realice cualquier trabajo de soldadura o cortes con sopletes.
- Tener guantes de cuero con tela en la parte superior, en cualquier actividad donde se pueda sufrir de quemaduras.

- Emplear guantes de malla metálica en los trabajos donde se manipulen constantemente cuchillos o herramientas filosas o ásperas.
- Cuando se manipulen sustancias químicas, se deben utilizar guantes de tela revestidos con nitrilo, siempre y cuando sean los adecuados para los diferentes tipos de químicos.
- Si se manipulan ácidos o sustancias corrosivas, se debe utilizar guantes de caucho (como ácidos de batería).
- Si se manipulan productos derivados del petróleo, se deberá utilizar guantes de neopreno o vinilo.
- Guantes de caucho debajo de guantes de cuero, para trabajos con energía eléctrica.
- Si se trabaja cerca de máquinas o equipos que contengan partes en movimiento, no debe usarse ningún tipo de guante, porque puede convertirse en un peligro.

Figura 36. **Equipo de protección para manos**



Fuente: guantes de seguridad. [pewmafe.blogspot.com/2010/11/blog-post.html](http://pewmafe.blogspot.com/2010/11/blog-post.html). Consulta: marzo de 2012.

- **Protección del torso**

La protección más común para el abdomen y el tronco es el delantal completo. Los trabajadores que tienen actividades cerca de lugares donde hay metales calientes y otras fuentes elevadas de calor conductivo, deberán usar delantales de cuero.

- Utilizar delantal cuando exista riesgo de impactos suaves o cortaduras por uso de objetos cortantes.
- A los soldadores que realicen soldaduras por sobre la cabeza, deberán usar chalecos o capas y mangas de cuero para evitar chispas y gotas de metales fundidos, sobre sus hombros y espalda.



- No se debe utilizar delantal o chalecos, cuando se está trabajando con maquinaria o piezas en movimiento que puedan causar atrapamientos.

Figura 37. **Equipo de protección para el torso**



Fuente: equipo de seguridad. [esmasa.com/?page=mandil-y-manga-de-carnaza](http://esmasa.com/?page=mandil-y-manga-de-carnaza). Consulta: marzo de 2012.

- **Equipo de protección respiratoria**

Los contaminantes aéreos van desde una sustancia relativamente inofensiva hasta vapores, polvos, nieblas, emanaciones irritantes y gases tóxicos que pueden ser extremadamente perjudiciales. En situaciones en donde el trabajador se ve expuesto a estos riesgos es obligatorio el uso de equipo de protección respiratoria.

Entre los polvos molestos a la respiración están: aserrín de madera, polvo de tierra, polvos metálicos, cemento, harina, carbón, y yeso entre otros. Será obligatorio el uso de mascarilla para polvos en las siguientes situaciones:

- Utilizar mascarilla de polvos cuando la actividad de trabajo genere molestias a la respiración, como estornudos frecuentes, tos e irritación de la garganta y nariz.
- Tener mascarilla para polvos los trabajadores que realicen actividades de limpieza donde se levante polvo.
- También deberán utilizar mascarillas las personas que realicen actividades de cambio de tóner en fotocopiadoras e impresoras, para evitar la respiración de los polvos de la tinta.

Cuando se realicen actividades relacionadas con químicos irritantes, inflamables y tóxicos (como pintura, solventes, gasolina, diésel, vapores asfixiantes, etc.) se deberá utilizar respiradores de filtro mecánico debidamente escogidos para el tipo de material que se manipula.

Figura 38. **Equipo de protección respiratoria**



Fuente: protectores para las vías respiratorias.

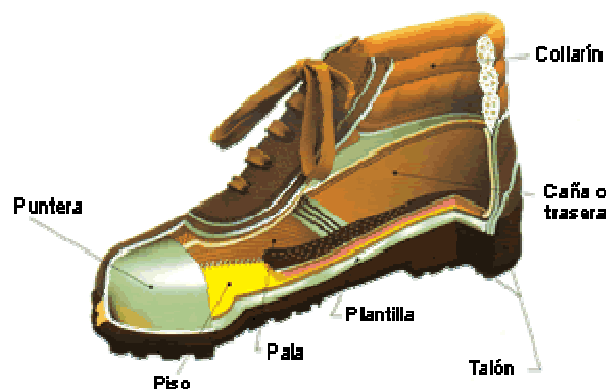
[wikis.educared.org/certameninternacional/index.php/Protectores\\_para\\_la\\_v%C3%ADas\\_respiratorias?w=82](http://wikis.educared.org/certameninternacional/index.php/Protectores_para_la_v%C3%ADas_respiratorias?w=82). Consulta: marzo de 2012.

- Protección de los pies

Para la protección de los pies en los trabajos de talleres de maquinaria pesada se debe utilizar siempre un calzado de seguridad. Existen situaciones especiales en donde, además de la protección contra golpes, se requiere protección adicional, los cuales se mencionan a continuación:

- Si se trata de actividades eléctricas, usar zapatos aislantes para evitar una descarga eléctrica.
- Si el riesgo en los pies es por aplastamiento, usar zapatos con puntera de acero.
- Cuando el trabajo requiera caminar sobre material puntiagudo o filoso, usar zapatos con refuerzos en la suela.

Figura 39. Calzado de protección para los pies



Fuente: protección del pie y la pierna. [www.suministrospadilla.com/205/calzado-de-seguridad.html](http://www.suministrospadilla.com/205/calzado-de-seguridad.html). Consulta: abril de 2012.

### **3. FASE TÉCNICO – PROFESIONAL**

#### **3.1. Conceptos básicos**

Para poder comprender los principios básicos y realizar el análisis en motores de combustión interna, es necesario familiarizarse con algunos conceptos básicos que deben ser dominados por cualquier profesional de la física y la mecánica. Así también, conocer las unidades de medición para cada uno de los conceptos involucrados en este estudio. A continuación se muestra una explicación de los conceptos de trabajo, fuerza y energía.

##### **3.1.1. Trabajo**

Una definición cotidiana se refiere a una actividad propia del ser humano que se puede definir como cualquier actividad que transforma la naturaleza a partir de cierta materia dada. El término trabajo es además utilizado como sinónimo de esfuerzo, es decir, que se utiliza esta palabra para referirse a algo que es difícil, pero no obstante hay que luchar para conseguirlo.

En mecánica clásica, el trabajo que realiza una fuerza sobre un cuerpo equivale a la energía necesaria para desplazar este cuerpo. El trabajo es una magnitud física escalar que se representa con la letra  $W$  (del inglés *Work*) y se expresa en unidades de energía.

Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$W = F \cdot d = Fd \cos \alpha$$

Donde:

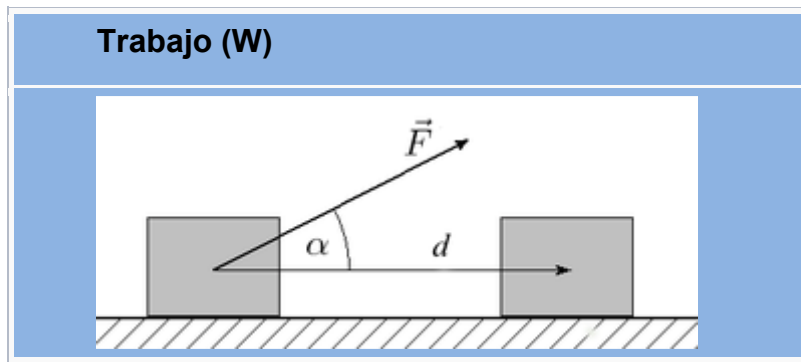
$F$  = módulo de la fuerza

$d$  = desplazamiento

$\alpha$  = el ángulo que forman entre sí el vector fuerza y el vector desplazamiento

Lo anterior es representado a continuación en la tabla XI.

Tabla XI. **Ilustración vectorial de trabajo**



Fuente: [trabajo.es.wikipedia.org/wiki/Trabajo\\_\(f%C3%ADsica\)](http://trabajo.es.wikipedia.org/wiki/Trabajo_(f%C3%ADsica)). Consulta: abril de 2012.

Cuando el vector fuerza es perpendicular al vector desplazamiento del cuerpo sobre el que se aplica, dicha fuerza no realiza trabajo alguno, asimismo, si no hay desplazamiento, el trabajo también será nulo. Si la fuerza y el desplazamiento tienen el mismo sentido, el trabajo es positivo. Si la fuerza y el desplazamiento tienen sentidos contrarios, entonces el trabajo es negativo.

La unidad de medida del trabajo en el sistema internacional (MKS) es el Julio o Joule, el cual se define como el trabajo efectuado por la fuerza de un Newton cuando el punto material al que se aplica se desplaza un metro.

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

La unidad de medida del trabajo en el sistema inglés (CGS) es el Ergio, que se trata de una unidad de medida utilizada, principalmente en los Estados Unidos de América y en algunos campos de ingeniería. El Ergio se define como el trabajo efectuado por la fuerza de una Dina cuando el punto material al que se aplica se desplaza un centímetro.

$$1 \text{ Ergio} = 1 \text{ dyn} \cdot \text{cm}$$

### **3.1.2. Potencia**

En términos cotidianos se designa como potencia, aquella capacidad para ejecutar algo o producir un efecto, generalmente se utiliza en situaciones en las que se quiere dar una noción de fuerza y poder. Sin embargo, en la física y en la mecánica clásica el término potencia, también tiene una definición exacta.

Para la física, la potencia es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo, es decir, potencia es equivalente a decir la velocidad de cambio de energía en un sistema o al tiempo que se emplea en desarrollar determinado trabajo. En este concepto se ha incluido un factor importante: el tiempo. Un trabajo puede ser desarrollado en determinado tiempo o en el doble de este tiempo, pero esto no quiere decir que se hizo menos o más trabajo. El trabajo realizado será siempre el mismo, no importando cuánto tiempo se haya demorado.

Para evaluar el desempeño de los motores de combustión interna será necesario conocer la medida del tiempo en que los mismos se tardan en realizar un trabajo. El concepto que incorpora el elemento es la potencia.

Si  $\Delta W$  es la cantidad de trabajo realizado durante un intervalo de tiempo de duración  $\Delta t$ , la potencia media durante ese intervalo está dada por la relación:

$$\bar{P} \equiv \langle P \rangle = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

Donde:

P = potencia

W = trabajo

t = tiempo

La potencia instantánea es el valor límite de la potencia media cuando el intervalo de tiempo  $\Delta t$  se aproxima a cero:

$$P(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt}$$

En el trabajo mecánico realizado por un hombre o por una máquina, el factor tiempo no tiene ninguna influencia, o sea que el trabajo es independiente del tiempo empleado para efectuarlo. Así por ejemplo, para elevar 50 kilogramos a una altura de 2 mts, el trabajo que se realiza no cambia de valor, así se emplee en la mencionada operación dos horas, dos días o dos meses.

Sin embargo, en la actividad industrial no sólo es necesario realizar cierta clase de trabajos, sino que es indispensable tener en cuenta el tiempo durante el cual el trabajo debe o puede ser realizado. A quien construye una casa o eleva agua con una bomba, no solo le interesa realizar el trabajo propiamente dicho, sino que es indispensable tener en cuenta el tiempo durante el cual el trabajo puede ser completado.

Si dos personas o máquinas realizan el mismo trabajo empleando cada una de ellas diferente tiempo, físicamente se califica diciendo que hicieron el mismo trabajo, pero si la primera persona realiza el trabajo en menor tiempo que la segunda, se dice que la primera tiene mayor potencia que la segunda. Por lo tanto, se puede decir que la potencia es directamente proporcional al trabajo realizado e inversamente proporcional al tiempo invertido para realizar dicho trabajo.

La unidad de medida de la potencia en el sistema internacional (MKS.) es el vatio (*Watt* en inglés) y su símbolo es *W*. Este se define como el equivalente a 1 Julio sobre segundo y es una de las medidas derivadas. Expresado en unidades de electricidad, un vatio es la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente de 1 amperio.

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule} / \text{seg}$$

La unidad de medida de la potencia en el sistema inglés (CGS) es el caballo de fuerza (*Hp* por sus siglas en inglés). Se define como la potencia necesaria para elevar verticalmente a la velocidad de un pie por minuto un peso de 33 000 libras y es equivalente a 745 699 *watts*.

$$1 \text{ Hp} = 33\,000 \text{ lb} \cdot \text{pie} / \text{min}$$



O su equivalente:

$$1 \text{ Hp} = 550 \text{ lb} \cdot \text{pie} / \text{seg}$$

Durante este estudio se utilizará la medida de potencia Bhp (*Brake Horsepower*) que se puede traducir al español como potencia al freno; Este se define como la medida de potencia de un motor de combustión interna sin la pérdida de potencia provocada por la caja de cambios, el generador, el diferencial, la bomba de agua y otros componentes auxiliares como el alternador, la bomba de dirección hidráulica entre otros. *Brake* se refiere a un dispositivo utilizado para cargar un motor y mantenerlo a un régimen de revoluciones (RPM) deseado. Durante el ensayo, la salida del par y la velocidad de rotación se miden para determinar el Bhp.

### **3.1.3. Energía**

El término energía tiene diversas aceptaciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, transformar o poner algo en movimiento. Al mirar alrededor se observa que las plantas crecen, los animales se trasladan y que las máquinas y herramientas realizan las más variadas tareas. Todas estas actividades tienen en común que precisan del recurso de la energía.

La energía es una propiedad asociada a los objetos y sustancias y que se manifiestan en las transformaciones que ocurren en la naturaleza. Esta se manifiesta en los cambios físicos, por ejemplo, al elevar un objeto, transportarlo, deformarlo o calentarlo.

La energía, también está presente en los cambios químicos, como al quemar un trozo de madera o en la descomposición de agua mediante corriente eléctrica.

En física se define a la energía como la capacidad para realizar un trabajo. En física clásica, la ley universal de conservación de la energía, que es el fundamento del primer principio de la termodinámica, indica que la energía ligada a un sistema aislado permanece constante en el tiempo. Eso significa que para multitud de sistemas físicos clásicos la suma de la energía mecánica, la energía calorífica, la energía electromagnética, y otros tipos de energía potencial es un número constante. Por ejemplo, la energía cinética se cuantifica en función del movimiento de la materia, la energía potencial según propiedades como el estado de deformación o a la posición de la materia en relación con las fuerzas que actúan sobre ella, la energía térmica según el estado termodinámico, y la energía química según la composición química.

La energía, también es una magnitud física que se presenta bajo diversas formas, está involucrada en todos los procesos de cambio de estado físico, se transforma y se transmite, depende del sistema de referencia, y fijado este se conserva. Por lo tanto, todo cuerpo es capaz de poseer energía en función de su movimiento, posición, temperatura, masa, composición química, y otras propiedades. En las diversas disciplinas de la física y la ciencia, se dan varias definiciones de energía, todas coherentes y complementarias entre sí, y todas ellas siempre relacionadas con el concepto de trabajo.

El análisis de la energía ha sido uno de los temas más importantes en la evolución de la ciencia, ya que ningún problema de la física puede desligarse de ella. En el estudio de la física, que es el tema a analizar, se encuentran los siguientes tipos de energía:

- Energía cinética: relativa al movimiento.
- Energía potencial: asociada a la posición dentro de un campo de fuerzas conservativo.
- Energía mecánica: que es la suma o combinación de los dos tipos anteriores.

La unidad de energía definida por el Sistema Internacional de Unidades es el Julio (Joule), que se define como el trabajo realizado por una fuerza de un Newton en un desplazamiento de un metro en la dirección de la fuerza, es decir, equivale a multiplicar un Newton por un metro. Existen muchas otras unidades de energía, como se muestra en la tabla XII, algunas de ellas en desuso.

Tabla XII. **Equivalencia en Julios de otras unidades de energía**

Nombre	Abreviatura	Equivalencia en julios
Caloría	<b>cal</b>	41,855
Frigoría	<b>fg</b>	4185,5
Termia	<b>th</b>	4 185 500
Kilovatio hora	<b>kWh</b>	3 600 000
Caloría grande	<b>Cal</b>	4185,5
Tonelada equivalente de petróleo	<b>Tep</b>	41 840 000 000
Tonelada equivalente de carbón	<b>Tec</b>	29 300 000 000
Tonelada de refrigeración	<b>TR</b>	3,517/h
Electronvoltio	<b>eV</b>	$1,602176462 \times 10^{-19}$
British Thermal Unit	<b>BTU o BTu</b>	105,505,585
Caballo de vapor por hora	<b>CVh</b>	$3,777154675 \times 10^{-7}$
Ergio	<b>erg</b>	$1 \times 10^{-7}$
Pie por libra ( <i>Foot pound</i> )	<b>ft × lb</b>	135,581,795
Foot-poundal	<b>ft × pdl</b>	$4,214011001 \times 10^{-11}$

Fuente: energía. es.wikipedia.org/wiki/Energia. Consulta: abril de 2012.

### 3.1.3.1. Energía cinética

En física, la energía cinética de un cuerpo es aquella que posee debido a su movimiento. Se define como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa determinada desde el reposo hasta la velocidad indicada.

Una vez conseguida esta energía durante la aceleración, el cuerpo mantiene su energía cinética salvo que cambie su velocidad. Para que el cuerpo regrese a su estado de reposo se requiere un trabajo negativo de la misma magnitud que su energía cinética. Suele abreviarse con letra  $E_c$  o  $E_k$ .

La energía cinética puede ser entendida mejor con ejemplos que demuestren cómo esta se transforma de otros tipos de energía y a otros tipos de energía. Por ejemplo: un ciclista quiere usar la energía química que le proporcionó su comida para acelerar su bicicleta a una velocidad elegida. Su velocidad puede mantenerse sin mucho trabajo, excepto por la resistencia del aire y la fricción. La energía química fue convertida en una energía de movimiento, conocida como energía cinética, pero el proceso no es completamente eficiente y el ciclista también produce calor.

La energía cinética en movimiento de la bicicleta y el ciclista pueden convertirse en otras formas. Por ejemplo: el ciclista puede encontrar una cuesta lo suficientemente alta para subir, así que debe cargar la bicicleta hasta la cima. La energía cinética hasta ahora usada se habrá convertido en energía potencial gravitatoria que puede liberarse lanzándose cuesta abajo por el otro lado de la colina. Alternativamente, el ciclista puede conectar una dínamo a una de sus ruedas y así generar energía eléctrica en el descenso. La bicicleta podría estar viajando más despacio en el final de la colina porque mucha de esa energía ha sido desviada en hacer energía eléctrica. Otra posibilidad podría ser que el

ciclista aplique sus frenos y en ese caso la energía cinética se estaría disipando a través de la fricción en energía calórica.

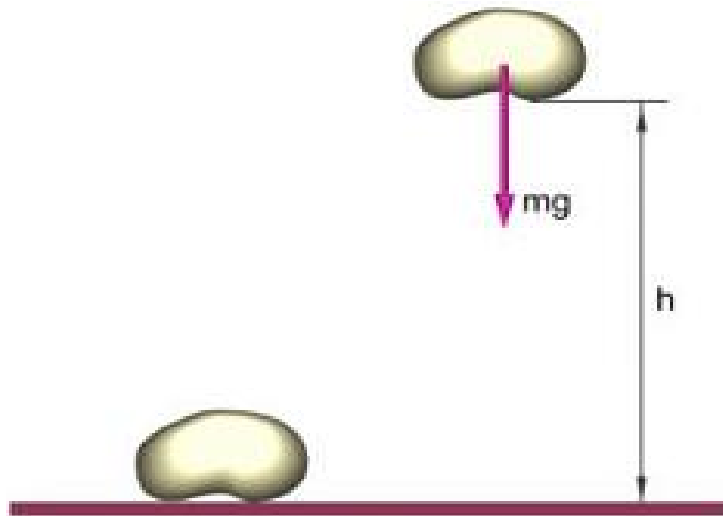
Como cualquier magnitud física que sea función de la velocidad, la energía cinética de un objeto no sólo depende de la naturaleza interna de ese objeto, también depende de la relación entre el objeto y el observador.

### **3.1.3.2. Energía potencial**

Se conoce como energía potencial a la capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo de acuerdo a la configuración que tenga en el sistema de cuerpos que ejercen fuerzas entre sí. En otras palabras, la energía potencial es la que es capaz de generar un trabajo como consecuencia de la posición del cuerpo.

El concepto supone que, cuando un cuerpo se moviliza con relación a un cierto nivel de referencia, está en condiciones de acumular energía. Por ejemplo: cuando un cuerpo es levantado a una determinada altura, como se muestra en la figura 40, adquiere energía potencial gravitacional. Al dejar caer dicho cuerpo, la energía potencial se convierte en energía cinética.

Figura 40. **Ilustración de energía potencial**



Fuente: energía potencia. [definicion.de/energia-potencial/](http://definicion.de/energia-potencial/). Consulta: abril de 2012.

La energía potencial es, en definitiva, una magnitud escalar que está asociada a un campo de fuerzas. La diferencia entre los valores de campo de un punto A respecto a un punto B es igual al trabajo que realiza la fuerza para realizar un recorrido entre A y B. Otro tipo de energía potencial es la energía potencial elástica, que se produce cuando aumenta la energía interna acumulada en un sólido deformable por el trabajo que ejercen las fuerzas que causan la deformación. Los alimentos, por su lado, cuentan con energía potencial en forma de energía química, que se libera cuando son procesados por el organismo.

Para efectos del presente estudio, el enfoque será la energía potencial química, que es aquella que se transforma en energía cinética a partir de un proceso de combustión interna. Los automóviles impulsados por gasolina, gas natural o diésel aprovechan la energía potencial química de esta, que al entrar en combustión, genera la energía suficiente para mover al vehículo.

### **3.2. Operación de los sistemas del motor diésel del camión 777D**

Caterpillar diseña y construye una gran variedad de motores diésel de cuatro tiempos para satisfacer las exigencias de las máquinas de construcción y minería Caterpillar, así como una amplia variedad de equipos de otros fabricantes alrededor de todo el mundo.

Para realizar de forma eficaz el diagnóstico, la evaluación, análisis de falla, la reparación y el servicio de los motores diésel Caterpillar, es necesario tener un conocimiento completo de los principios de operación de los diferentes sistemas y de la construcción de los motores diésel.

El camión Caterpillar, para aplicación de minería 777D es impulsado por un motor diésel modelo 3508B EUI (*Electronic Unit Injector* por sus siglas en inglés), el cual será el objeto del presente estudio.

#### **3.2.1. Motor básico**

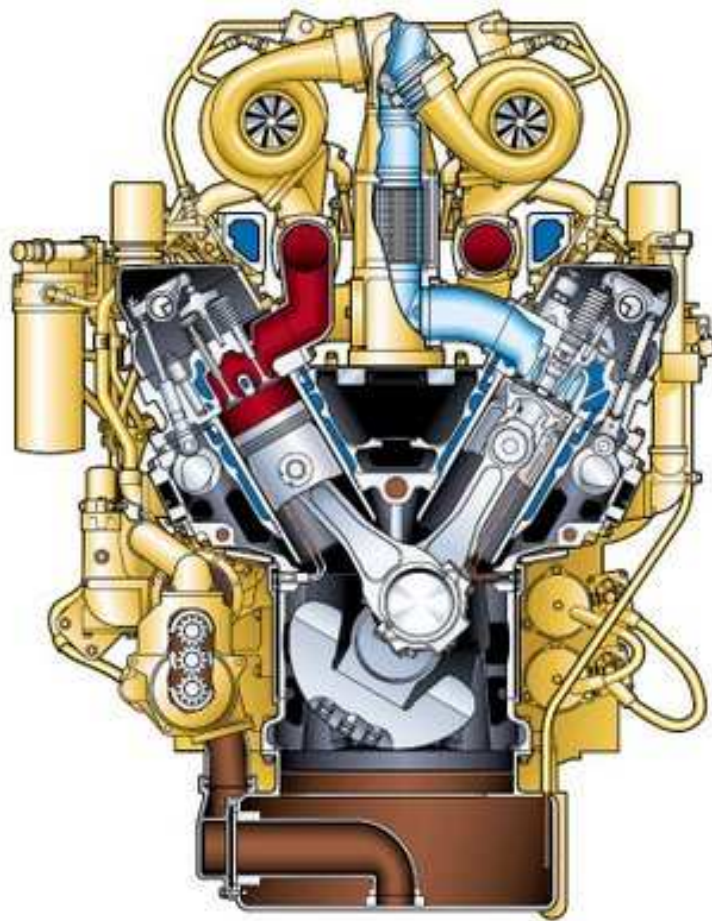
Caterpillar siempre se ha caracterizado por fabricar motores diésel de alta resistencia y calidad, y esta característica está presente también en el motor 3508B, el cual es un motor diésel para servicio pesado que se caracteriza por tener un diseño de dos turbo cargadores y un posenfriador de aire, que entrega alta potencia y confiabilidad en equipos de aplicaciones de mayor demanda en el mundo.

El 3508B es un motor de cuatro tiempos con un diseño de ocho cilindros en V que utiliza carreras de potencia largas y efectivas para obtener una combustión más completa y una mayor eficiencia. Además, cumple con las

normas de control de emisiones de la agencia de protección ambiental del gobierno de Estados Unidos de América TIER II.

Con una potencia de 1 000 Hp, el motor 3508B posee 8 cilindros con un calibre de 170 mm (6,7"), una carrera de 190 mm (7,5") y un desplazamiento total o cilindrada de 35 litros (2 105 pulgadas cúbicas). En la figura 41 se muestra un corte a sección de dicho motor.

Figura 41. **Corte a sección de un motor Caterpillar 3508B**



Fuente: Caterpillar. 777D off-highway truck. p 4.



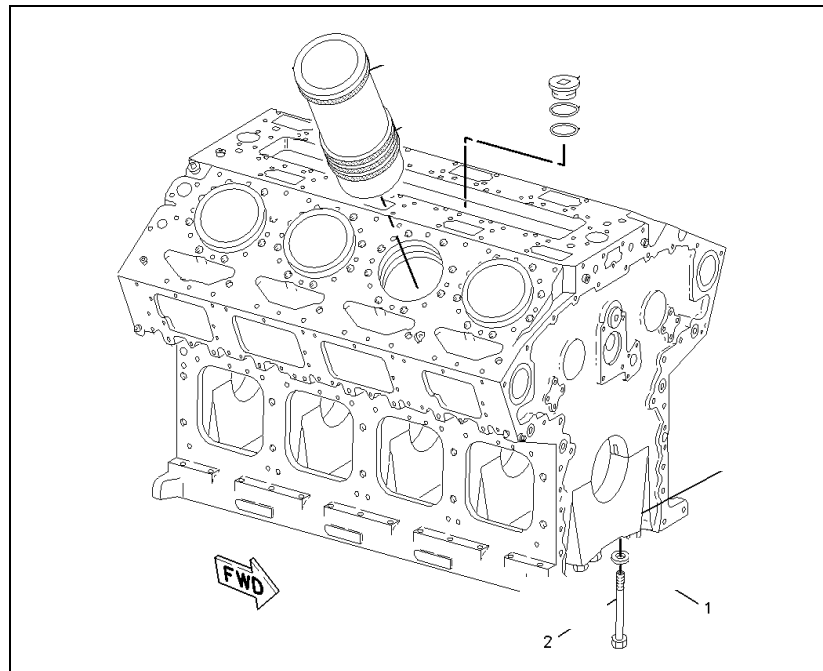
Los principales componentes del motor básico utilizado por un camión de minería 777D y su funcionamiento se describirán en detalle.

- Bloque de motor

El bloque de motor es uno de los componentes principales del motor diésel 3508B, el cual requiere de máxima resistencia. Para suministrar esta resistencia, el bloque se funde a precisión usando una combinación de aleaciones especiales.

Los cilindros en el lado izquierdo del bloque forman un ángulo de  $60^\circ$  con respecto a los cilindros del lado derecho, tal como se muestra en la figura 41. Las tapaderas de las bancadas principales están sujetas al bloque de cilindros con cuatro pernos cada una.

Figura 42. **Bloque de cilindros de motor 3508B**



Fuente: Caterpillar. 777D off-highway truck, powered by 3508B engine. p. 86.

Las camisas de cilindro pueden ser removidas para su remplazo. La parte superior del bloque sirve de asiento para las pestañas de las camisas de cilindro. El refrigerante del motor fluye alrededor de las camisas de cilindro para mantenerlas a la temperatura indicada. Tres sellos tipo o-ring sellan alrededor de la parte inferior de las camisas para hacer un sello entre ellas y el bloque de cilindros.

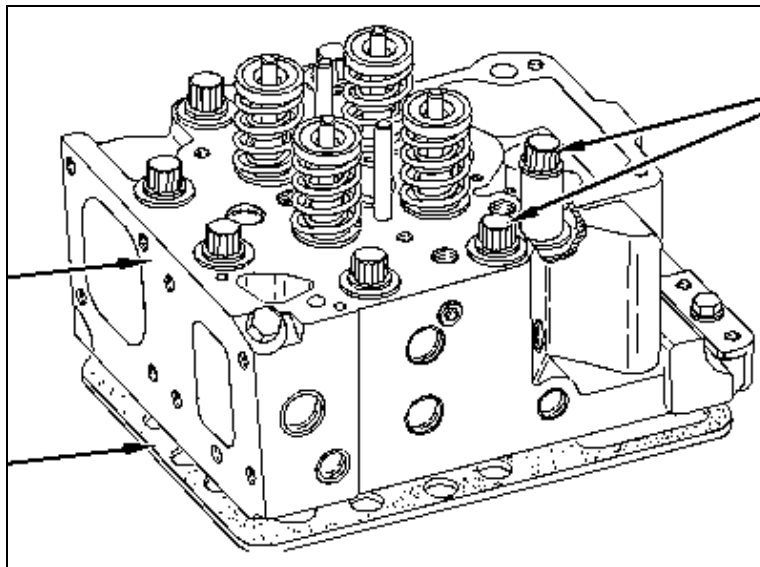
- Culata o cabeza de cilindros

El diseño de la culata le brinda una excelente resistencia estructural y rigidez. Pruebas rigurosas de choque de ciclo térmico profundo aseguran larga duración y proveen culatas con mayor resistencia a las fisuras.

El diseño del motor 3508B tiene culatas separadas por cada uno de los cilindros, cada una consta de dos válvulas de admisión y dos válvulas de escape, las cuales son controladas por un sistema de varillas de empuje. Como se muestra en la figura 43, cada culata utiliza cuatro guías de válvulas insertadas en donde se deslizan las válvulas de admisión y escape. La apertura para la instalación de los inyectores unitarios está localizada en medio de las cuatro válvulas. Un lóbulo en el eje de levas hace accionar la varilla de empuje que opera el inyector unitario, permitiendo que el combustible sea inyectado directamente dentro del cilindro.

Existe un plato espaciador de aluminio entre cada una de las culatas y el bloque de cilindros, la cual elimina la necesidad de abocardados profundos en el bloque, que de otro modo reduciría la integridad estructural del bloque y lo haría propenso a fisuras.

Figura 43. **Culata de motor 3508B**



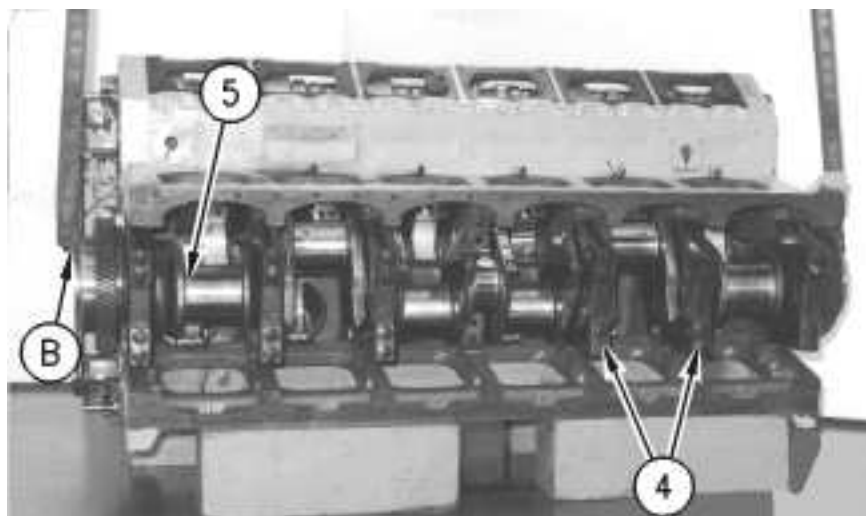
Fuente: Caterpillar. 777D off-highway truck, powered by 3508B engine. p. 88.

- Cigüeñal del motor

El eje cigüeñal es el encargado de transformar la fuerza de la combustión en el movimiento rotacional que es útil en un motor de combustión interna. Utiliza un amortiguador de vibraciones en la parte frontal del cigüeñal para reducir vibraciones torsionales que pudieran hacer daño en el motor.

El cigüeñal es una pieza forjada de acero al carbón, templada en su totalidad. Algunos otros fabricantes de motores diésel hacen únicamente el templado de los muñones y ángulos del cigüeñal utilizando el método de inducción. Este proceso puede dejar tensiones inadecuadas en el límite entre las áreas templadas y las áreas no templadas. El proceso de templado total de la superficie del cigüeñal que posee el motor 3508B provee un cigüeñal resistente y de mayor duración y se reduce el riesgo de que el cigüeñal se fisure.

Figura 44. **Cigüeñal de motor 3508B**



Fuente: Caterpillar. Diesel engine componentes. p 4.

El cigüeñal impulsa un tren de engranajes en la parte frontal y trasera del motor, los cuales sirven para impulsar en la parte delantera la bomba de aceite de lubricación, la bomba del sistema de enfriamiento, la bomba de transferencia de combustible y otros accesorios. En la parte trasera impulsa al eje de levas y otros accesorios. Está instalado al bloque del motor a través de cinco cojinetes o tejas principales.

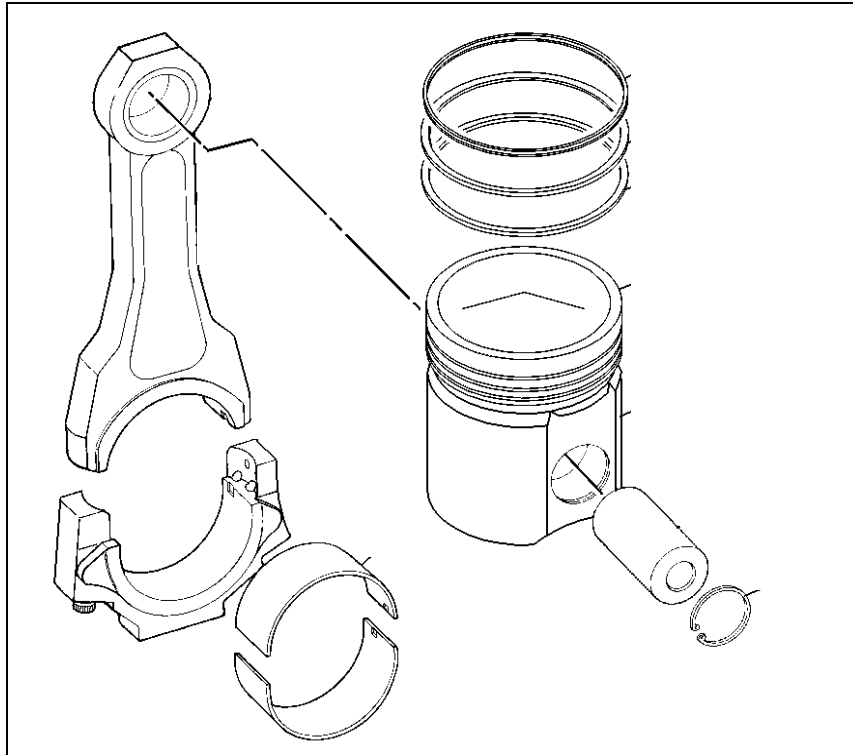
- Bielas, pistones y anillos

Las bielas del motor 3508B son fabricadas de una aleación de acero y boro forjados, templadas y sometidas a un proceso de tratamiento de disparo granallado, lo cual les permite brindar un mayor alivio a las tensiones de esfuerzo. El diseño de bordes biselados provee una mayor área de contacto entre el pasador y el cilindro durante la carrera de potencia. El resultado es mayor resistencia y duración del pistón y del conjunto de la biela.

El diseño del pistón del motor 3508B consiste en una corona de acero forjado y una falda de aleación de aluminio. Ambas piezas del conjunto de pistón están unidas a través del pasador del pistón y pivotean alrededor del mismo.

Como se muestra en la figura 45, la corona de acero aloja los tres anillos que hacen la función de sellado entre el pistón y la camisa del cilindro, este diseño suministra una excelente compresión y control de aceite, reduciendo la fricción y generación de calor. Los anillos del pistón se fabrican de hierro nodular e incluyen dos anillos de compresión y un anillo de lubricación.

Figura 45. **Conjunto de pistón y biela de motor 3508B**

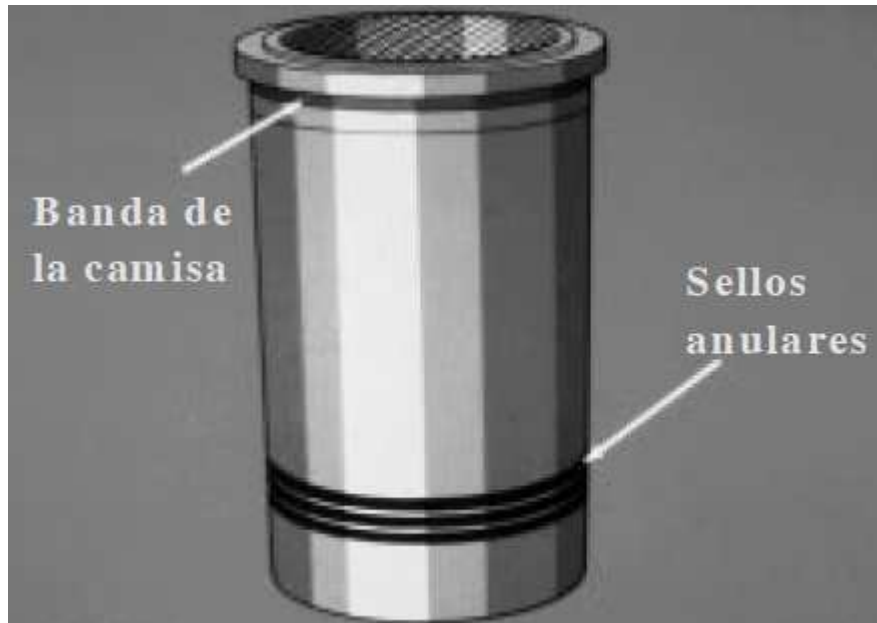


Fuente: Caterpillar. 777D off-highway truck, powered by 3508B engine. p. 90.

- **Camisas de cilindro**

Las camisas de cilindro del motor 3508B se fabrican con una aleación de hierro y molibdeno forjado, que las proveen de un margen extra de dureza. En la superficie interna de la camisa, templada por inducción, se imprime un diseño de patrón transversal que ayuda al control de aceite. Los sellos anulares sellan la camisa con la cavidad del refrigerante del bloque de cilindros. Debido a que el motor es rígido, estos sellos permanecen en su ubicación y brindan un excelente sellado a la camisa.

Figura 46. **Camisa de cilindro de motor 3508B**



Fuente: Caterpillar. Diesel engine componentes. p 8.

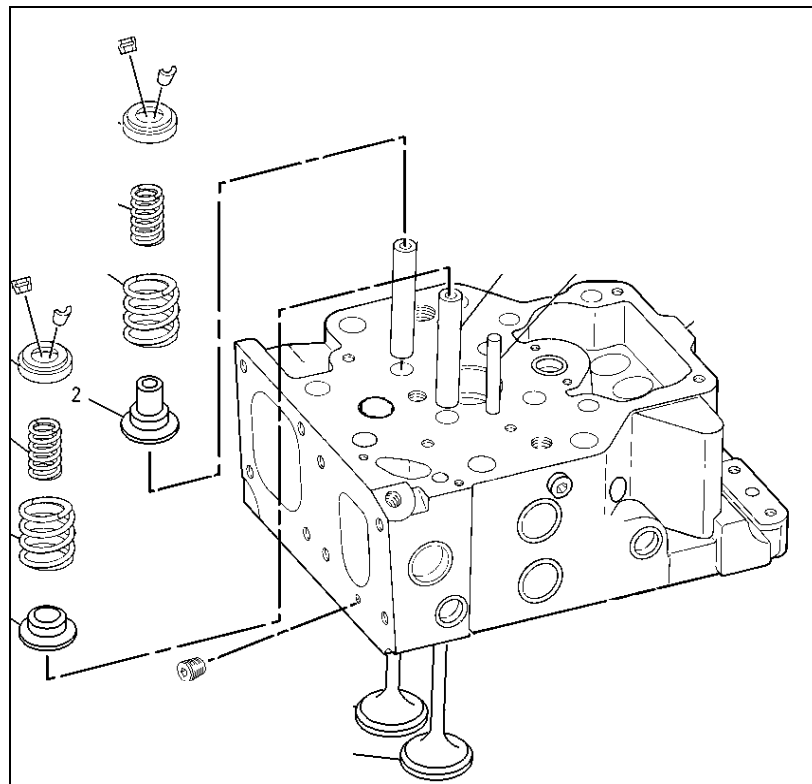
- Válvulas de admisión y escape

Las válvulas de admisión y escape del motor 3508B son de alta resistencia para permitir una larga vida útil. Para su fabricación intervienen tres tipos de materiales: el vástago se fabrica de acero inoxidable templado. Una aleación especial es utilizada en las cabezas de las válvulas para proveer resistencia a altas temperaturas. Las caras de los asientos se fabrican de estelita para dar resistencia al desgaste por alta temperatura. Las cabezas y los vástagos de las válvulas de admisión se fabrican de acero inoxidable templado para proveer mayor resistencia al desgaste.

Como se observa en la figura 47, cada válvula posee un rotador que gira la cara de la válvula tres grados con relación a su asiento durante un ciclo

completo del motor. Esto asegura un desgaste uniforme que permite una vida más larga de la válvula y ayuda a evitar que las mismas se quemen.

Figura 47. **Conjunto de válvulas del motor 3508B**



Fuente: Caterpillar. 777D off-highway truck, powered by 3508B engine. p. 92.

- Eje de levas o árbol de levas

El diseño del motor 3508B utiliza dos ejes de levas que están ubicadas a cada lado del bloque del motor, los cuales están soportados por cinco cojinetes de desgaste, comúnmente denominados tejas.



La función del eje de levas es coordinar la sincronización de los mecanismos de varillas de empuje, que a su vez accionan los mecanismos que permiten la apertura y cierre de las válvulas de escape en la culata. Esto se logra gracias a circunferencias excéntricas situadas a lo largo del eje a las que se les denomina lóbulos o levas.

El eje de levas se fabrica de una aleación especial de acero, el cual es forjado y templado para dar mayor seguridad y duración. El eje de levas es accionado mediante un engranaje que va sujeto a presión en uno de sus extremos y a la vez sincronizado con el movimiento rotativo del eje cigüeñal.

Figura 48. **Eje de levas de motor 3508B**

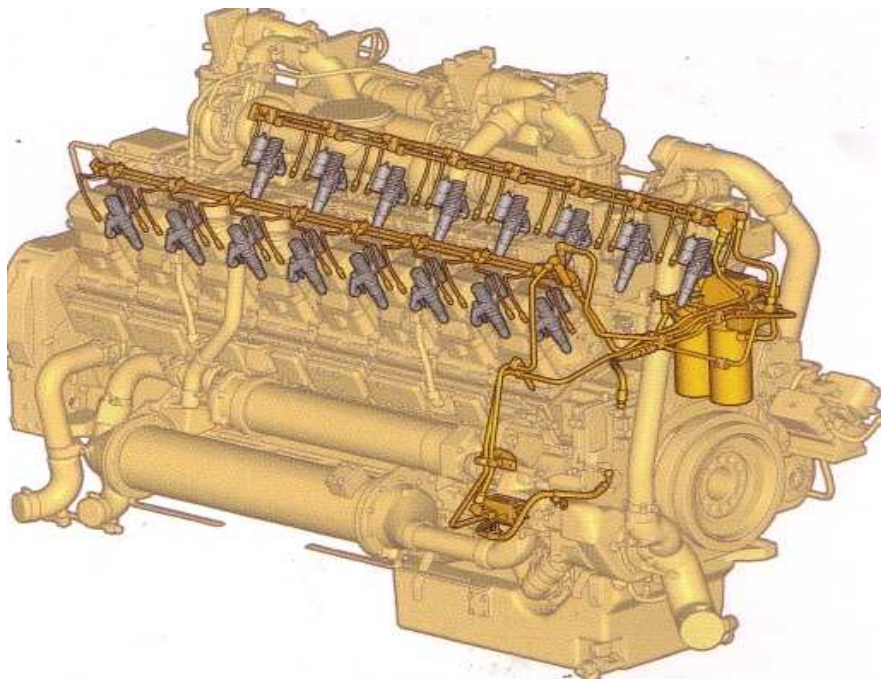


Fuente: Caterpillar. Diesel engine components. p 9.

### 3.2.2. Sistema de combustible

El motor 3508B utiliza un sistema de combustible denominado EUI, el cual emplea inyectores de combustible unitarios y electrónicos, razón por la cual se denomina su nombre. Este sistema utiliza un circuito de suministro de combustible con un diseño convencional para motores que utilizan inyectores de combustible, como se muestra en la figura 49.

Figura 49. **Distribución del sistema de combustible en el motor**

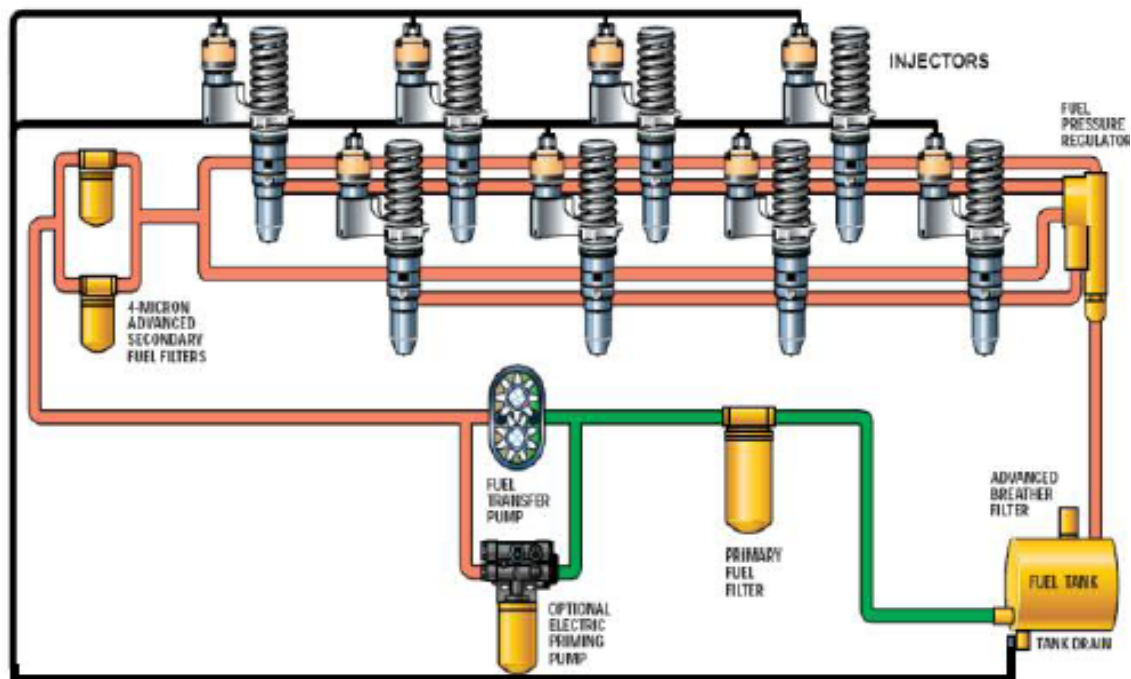


Fuente: Caterpillar. Sistemas y componentes del motor. p 24.

Este circuito de suministro utiliza una bomba de transferencia que succiona el combustible del tanque y lo entrega directamente hacia los inyectores manteniendo el sistema a una presión entre 60 y 125 PSI. La bomba de transferencia utilizada es una bomba de engranajes de desplazamiento fijo.

El combustible fluye desde la bomba de transferencia a través de los pasajes centrales del módulo de control electrónico del motor (ECM por sus siglas en inglés) el cual es aprovechado con propósitos de enfriamiento de dicho módulo. Como se muestra en la figura 50, el flujo continúa a través del filtro de combustible antes de ingresar al múltiple de suministro de combustible. Una bomba de cebado de combustible está localizada en la base del filtro para poder purgar el sistema de combustible, es decir, extraer el aire que pudiese estar atrapado dentro de las tuberías del sistema.

Figura 50. Componentes del sistema de combustible del motor 3508B



Fuente: Caterpillar. Sistemas y componentes del motor. p 32.

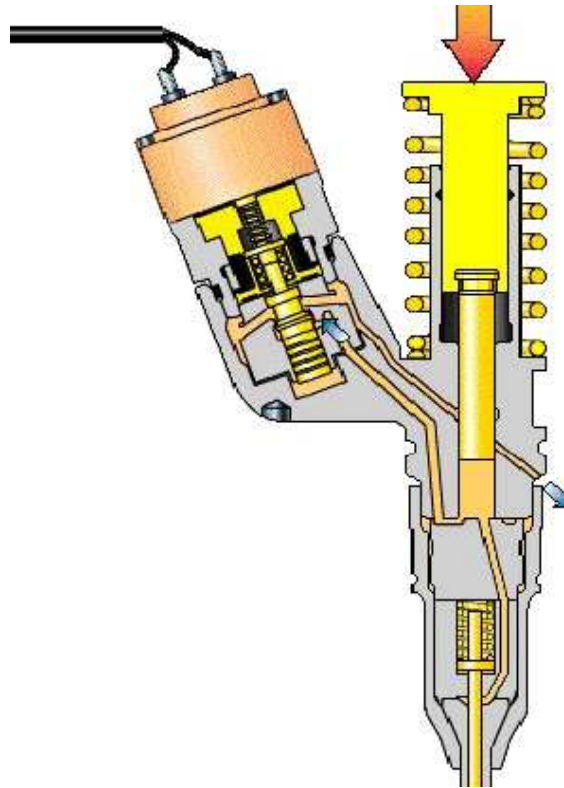
El combustible fluirá constantemente desde el múltiple de suministro de combustible hacia los inyectores de combustible. Este flujo continuará cuando el

suministro o el puerto de llenado del inyector no estén cerrados por el émbolo del conjunto del cuerpo de inyector. El combustible que no es inyectado hacia adentro del cilindro es desplazado por el émbolo y es enviado de regreso al tanque de combustible a través de un múltiple de retorno.

Los inyectores de combustible del sistema EUI son actuados por medio de un balancín que es controlado por un mecanismo de varilla de empuje, y a la vez, el suministro de combustible es controlado electrónicamente. Este tipo de inyectores tienen cuatro etapas o ciclos de trabajo que se describen de la siguiente manera:

- La preinyección inicia con el impulsor y el émbolo en la parte superior de la carrera. Como se muestra en la figura 51, la cavidad del cilindro está llena de combustible, la válvula del solenoide está abierta y la tobera está cerrada. El combustible que se encuentra dentro del inyector comienza a salir a los pasajes de suministros de la culata. El inyector está en fase preinyección cuando el motor está funcionando y está en sus ciclos de encendido.

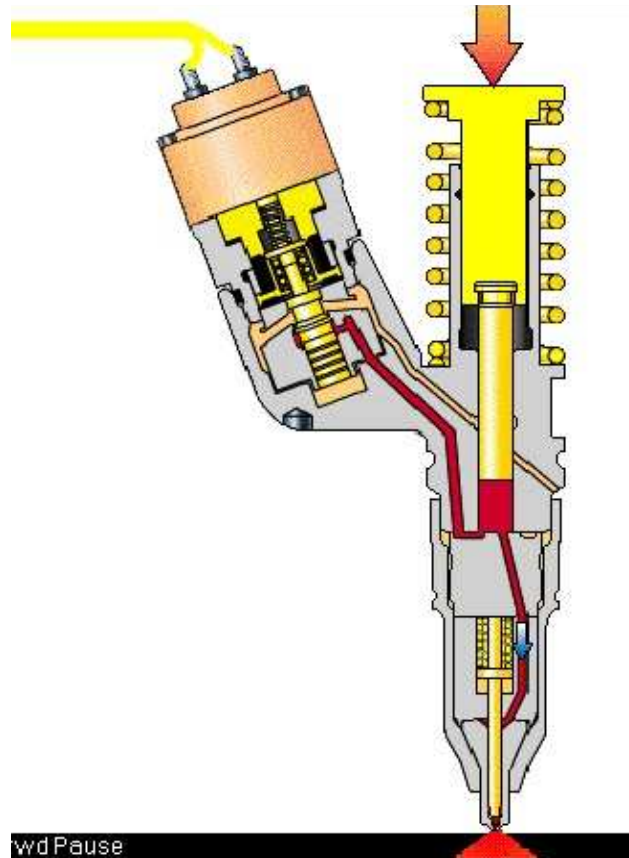
Figura 51.  **inyector unitario en fase de preinyección**



Fuente: Caterpillar. Sistemas y componentes del motor. p 33.

- En la etapa de inyección, el módulo de control electrónico (ECM) envía una corriente de control que activa al solenoide del inyector y este cierra la válvula. Con la válvula cerrada, como se muestra en la figura 52, la presión se incrementa aproximadamente a 5 000 PSI, esta vence la resistencia del resorte de la tobera y se inicia la inyección. La presión continúa incrementándose hasta llegar sobre las 30 000 PSI. Con esta presión y el combustible saliendo por los agujeros de la tobera el combustible se pulveriza.

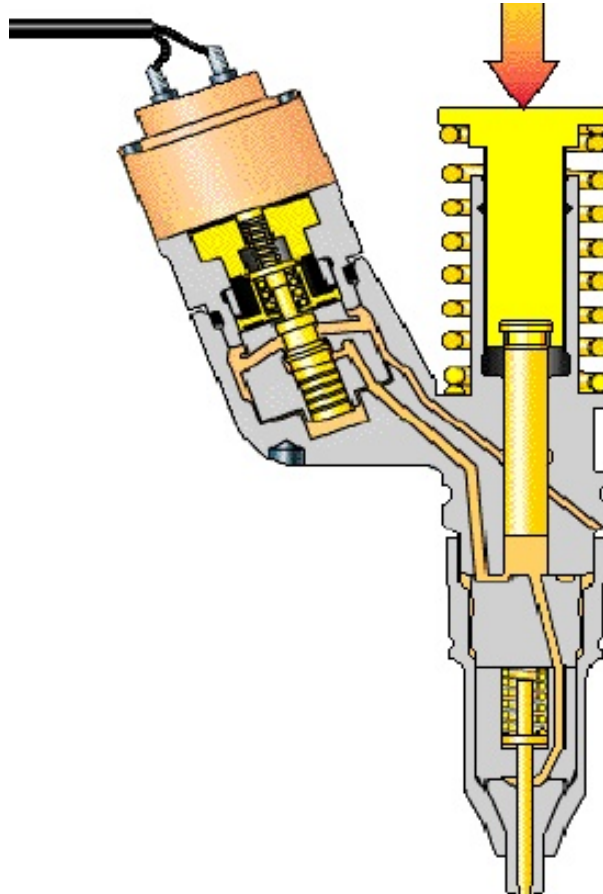
Figura 52. **Inyector unitario en fase de inyección**



Fuente: Caterpillar. Sistemas y componentes del motor. p 33.

- El final de la inyección comienza cuando el ECM desactiva la corriente de control del solenoide. La válvula del solenoide se abre por medio de su resorte, la presión de combustible baja rápidamente y la tobera se cierra por medio de su resorte. Esta fase de la inyección está representada en la figura 53.

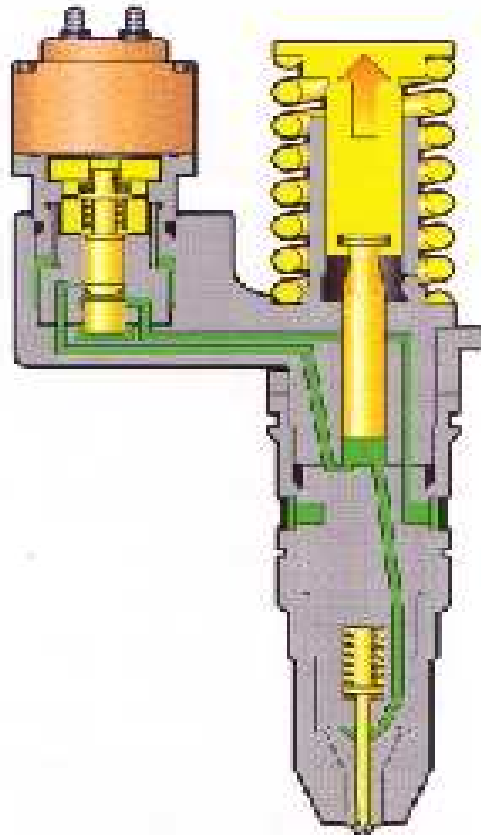
Figura 53. **Inyector unitario en fase final de inyección**



Fuente: Caterpillar. Sistemas y componentes del motor. p 33.

- El ciclo de llenado de combustible hacia el inyector comienza cuando el solenoide es desenergizado y el émbolo regresa a su posición de reposo, como se aprecia en la figura 54, abriendo la apertura hacia la galería de combustible.

Figura 54. **Inyector unitario en fase de llenado de combustible**



Fuente: Caterpillar. Sistemas y componentes del motor. p 33.

El sistema de inyector de combustible mecánicamente actuado y electrónicamente controlado provee un control electrónico total del tiempo de inyección. El tiempo de inyección es variado para optimizar el rendimiento del motor de acuerdo a las condiciones de operación del motor.

La velocidad del motor es controlada ajustando la duración de la inyección. El anillo de tiempo es parte del grupo de engranaje trasero, el cual es monitoreado por el sensor de velocidad y tiempo del motor. Este sensor provee



información al módulo de control electrónico (ECM). El ECM utiliza esta información para determinar la posición del eje cigüeñal y la velocidad actual del motor.

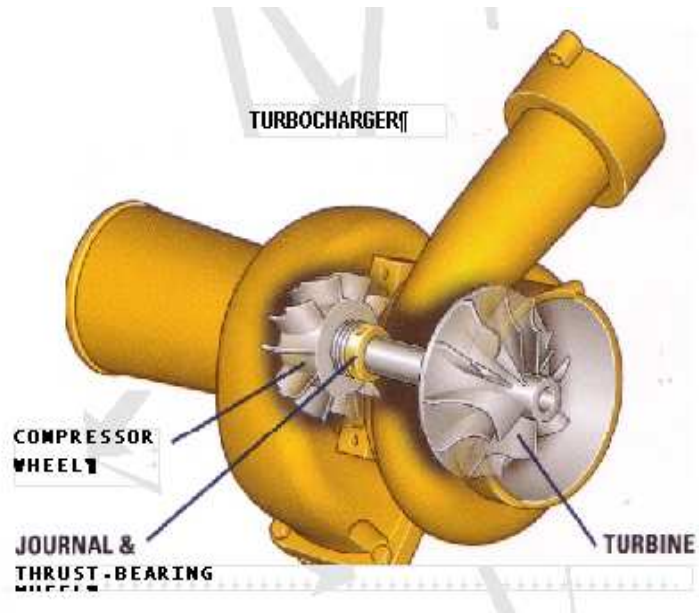
Esta información permite al ECM enviar correctamente las señales a los solenoides de los inyectores.

### **3.2.3. Sistema de admisión y escape**

Los componentes del sistema de admisión de aire y escape del motor 3508B controlan la calidad y la cantidad de aire que estará disponible para la combustión. Este diseño consta de dos múltiples de escape y dos turbocompresores separados y colocados uno en cada lado del motor, que tienen como finalidad mejorar el rendimiento y la eficiencia del motor. Se utiliza, además un posenfriador que está localizado en la parte central del motor, en medio de las culatas de cilindros.

El aire ingresa al motor a través del filtro de aire, el cual contiene un elemento filtrante que retiene el material extraño del aire antes que este ingrese en el motor. El turbocompresor recibe el aire limpio del filtro de aire, la rotación de la rueda compresora del turbocompresor succiona el aire, que luego es comprimido y enviado con presión a los cilindros.

Figura 55. **Turbocompresor de motor 3508B**

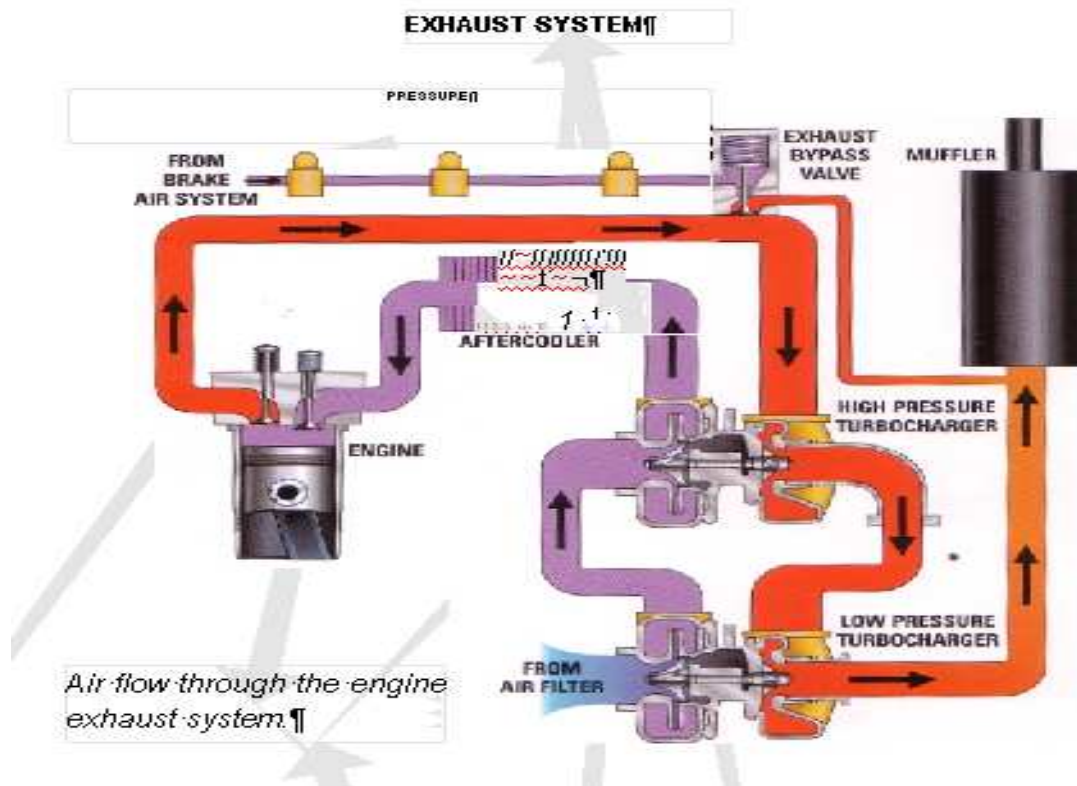


Fuente: Caterpillar. Sistemas y componentes del motor. p 26.

Cuando el turbocompresor comprime el aire de admisión, aumenta la temperatura del aire. El aire caliente tiene menor densidad y por lo tanto menor cantidad de oxígeno. Si este aire caliente y comprimido se envía a los cilindros, se perdería parte de la eficiencia ganada en la compresión. Es aquí en donde interviene el posenfriador, que actúa bajando la temperatura del aire comprimido antes que ingrese a los cilindros. Esto hace que el aire sea más denso, es decir, que contenga más oxígeno por unidad de volumen.

El aire comprimido y enfriado llena las cámaras de admisión en las culatas de cilindro. Como se observa en la figura 56, el flujo de aire de las cámaras de admisión hacia los cilindros es controlado por las válvulas de admisión del motor.

Figura 56. Componentes del sistema de admisión y escape



Fuente: Caterpillar. Sistemas y componentes del motor. p 28.

Cada culata utiliza dos válvulas de admisión y dos válvulas de escape. Las válvulas de admisión se abren cuando el pistón se mueve hacia abajo en la carrera de admisión. En este momento, el aire comprimido y enfriado es empujado hacia adentro del cilindro desde la cámara de admisión. Las válvulas de admisión se cierran y el pistón empieza a moverse hacia arriba en la carrera de compresión. Cuando el pistón está cerca del final de la carrera de compresión, el combustible es inyectado dentro del cilindro, este se mezcla con el aire y la combustión empieza.

La fuerza de la combustión empuja el pistón hacia abajo en la carrera de potencia y al finalizar su recorrido, el pistón inicia a moverse hacia arriba en la carrera de escape. Las válvulas de escape se abren y los gases son empujados al puerto de salida en el múltiple de escape. Una vez el pistón termina su recorrido, las válvulas de escape se cierran y el ciclo empieza nuevamente.

Los gases de escape que escapan del cilindro pasan por el múltiple de escape al turbocompresor. Los gases calientes que salen de los cilindros contienen alta energía calorífica sin usar, la cual es aprovechada para hacer girar la turbina del turbocompresor.

La rueda de la turbina está conectada por un eje a la rueda compresora. Estos gases hacen que la turbina y la rueda del compresor giren a velocidades entre 80 000 a 130 000 RPM, comprimiendo el aire de la admisión.

Cuando la carga del motor aumenta, mayor cantidad de combustible es inyectada a los cilindros, este aumento produce mayor cantidad de gases de escape, haciendo que la turbina y la rueda del compresor giren más rápido.

Mientras más rápido gira la rueda del compresor, más aire ingresa a los cilindros. Las RPM máximas del turbocompresor dependen del ajuste de inyección de combustible, del ajuste de la velocidad alta en vacío y de la altitud.

Desde el turbocompresor, los gases pasan por la tubería de escape, el silenciador y finalmente por el tubo de escape.

### **3.2.4. Sistema de lubricación**

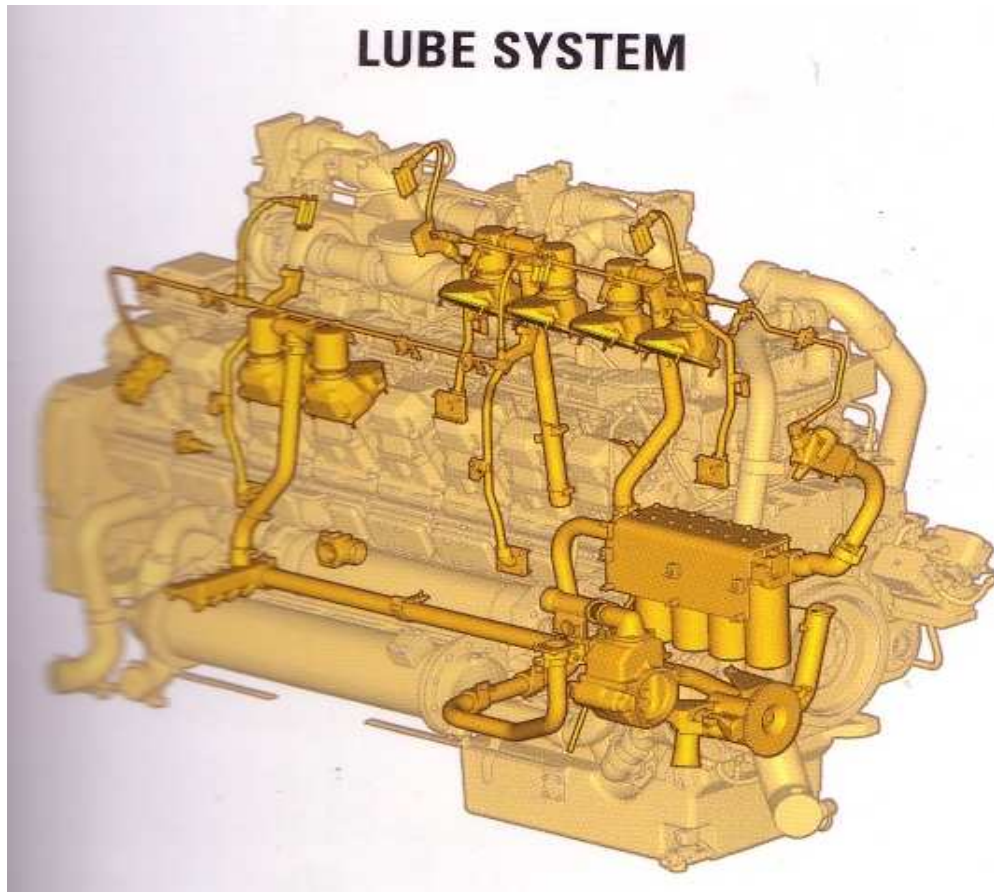
La demanda actual de los motores diésel de alto rendimiento y emisiones bajas, confieren hoy más que nunca gran importancia a la operación correcta del sistema de lubricación. Este no solo debe proveer aceite lubricante limpio a las piezas del motor, sino que además, el lubricante debe resistir altas temperaturas y permitir altos intervalos de cambio para proveer máxima economía en el consumo de aceite.

El aceite de motor es además responsable de mantener el motor libre de óxido y corrosión, actúa como un refrigerante y como un sellador, proveyendo una película de aceite de amortiguación que mantiene el contacto mínimo entre metal y metal, reduciendo de esta manera la fricción y el desgaste.

El motor Caterpillar 3508B está diseñado para trabajar en aplicaciones que pueden requerir que el motor esté en una pendiente muy empinada. Para asegurar que todo el aceite del motor no se vaya para el lado del colector de aceite, lejos de la campana de succión, estos motores tienen también, una bomba de barrido de aceite. Esta no es más que una bomba de aceite que asegura que haya siempre aceite en el sumidero principal. Esto permite que nunca falte aceite en el sistema de lubricación cuando el camión 777D esté trabajando en cuestas empinadas.

En la figura 57 se muestra la distribución de los componentes del sistema de lubricación para este modelo de motor.

Figura 57. **Componentes del sistema de lubricación**

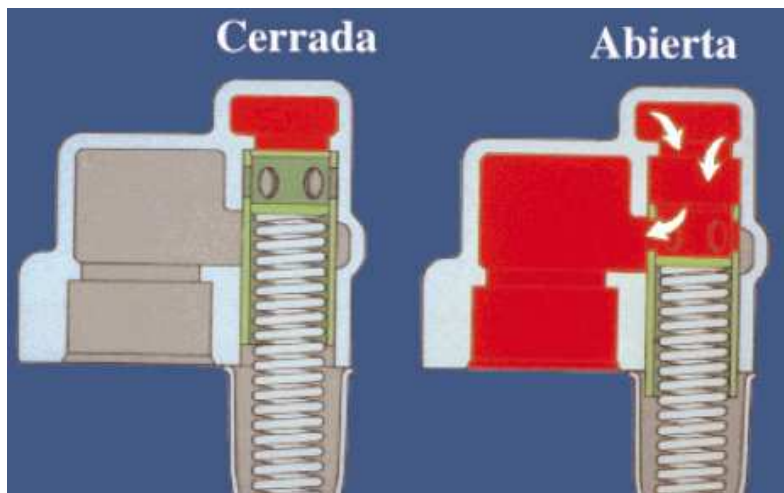


Fuente: Caterpillar. Sistemas y componentes del motor. p 24.

Este sistema de lubricación utiliza una bomba de aceite de motor con tres engranajes de bomba. Estos son impulsados por el tren de engranajes frontales del motor. El flujo del sistema de lubricación comienza cuando la bomba de aceite succiona aceite del colector del cárter. El tubo recogedor de la bomba de aceite tiene una campana de succión en el extremo abierto ubicado dentro del colector, esta campana cuenta con una rejilla para prevenir la entrada de material extraño a la bomba.

Una válvula de alivio de presión, integrada en la bomba de aceite controla la presión máxima de operación del sistema, reduciendo las fugas y aumentando la vida útil de los sellos. La válvula permanece cerrada hasta que la presión de aceite en la bomba es mayor a la presión ejercida por el resorte en la válvula. A medida que el sistema alcanza la presión máxima, la presión abre la válvula y permite que parte del aceite pase al lado de baja presión de la bomba. Si la presión del sistema continúa aumentando, el vástago de la válvula se mueve al extremo inferior, como se muestra en la figura 58, y permite que el flujo de derivación aumente.

Figura 58. **Válvula de alivio del sistema de lubricación**



Fuente: Caterpillar. Lubrication system and oil. p 9.

La bomba de aceite de motor impulsa el aceite a través del enfriador de aceite y los filtros hacia la galería de aceite principal y hacia la galería de aceite del eje de levas en el bloque de cilindros. El enfriador de aceite de motor es el encargado de bajar la temperatura del aceite antes de que este sea enviado a los filtros.

El enfriador de aceite está equipado con una válvula de derivación que permite al aceite fluir directamente hacia los filtros de aceite de motor si el enfriador de aceite estuviera restringido o tapado, o si el aceite de motor llegara a ser lo suficientemente grueso para incrementar la presión diferencial a  $26 \pm 3$  psi ( $180 \pm 20$  Kpa).

El aceite limpio proveniente de los filtros viaja por la línea de aceite e ingresa al bloque de cilindros a través de un adaptador. Parte del aceite se va hacia las galerías de aceite de los ejes de levas en la parte izquierda del bloque y el restante se va hacia la galería de lubricación principal. Las galerías de aceite de los ejes de levas están conectadas hacia cada uno de los cojinetes de los ejes de levas, a través de agujeros perforados en el bloque, viajando alrededor de todas las chumaceras.

El aceite de motor, entonces viaja a través de la culata de cilindros hacia los ejes de balancines. Agujeros perforados conectan los agujeros de los levantadores de válvulas hacia los agujeros de los ejes de balancines. Los levantadores de válvulas son lubricados en la parte superior de cada carrera.

La galería de aceite principal está conectada a través de agujeros perforados con los cojinetes principales del eje cigüeñal, los cuales conectan el suministro de aceite de los cojinetes hacia los cojinetes de bielas. Dos válvulas de secuencia permiten al aceite de la galería principal fluir hacia la galería de las boquillas de enfriamiento de los pistones. Estas válvulas de secuencia únicamente permitirán flujo de aceite en las boquillas de enfriamiento hasta que exista presión suficiente en la galería de aceite principal. Esto disminuye la cantidad de tiempo necesario para que la presión se incremente durante los arranques del motor, además de ayudar a mantener la presión de aceite durante la operación en ralentí.



Hay una boquilla de enfriamiento ubicada debajo de cada pistón, cada una de las cuales está equipada con dos aberturas, una de las cuales apunta en dirección de un pasaje en la parte inferior del pistón, el cual envía el aceite a un múltiple detrás de las bandas de los anillos. La otra abertura apunta en dirección de la parte central del pistón, lo cual contribuye a la lubricación del pasador del pistón y al enfriamiento del pistón mismo.

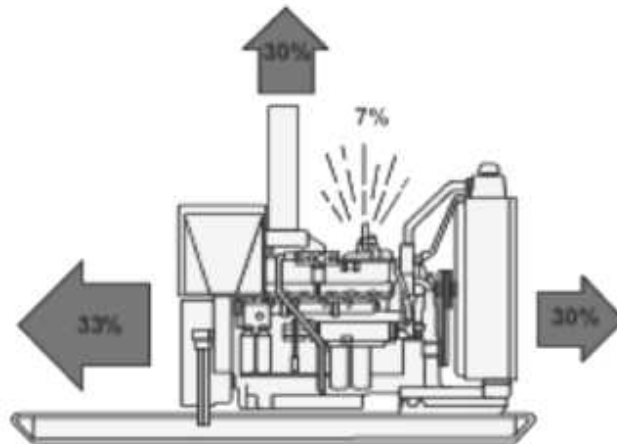
La tubería de suministro de aceite del turbocompresor está conectada a la salida de la base del filtro. Es esencial el suministro adecuado de aceite limpio y frío para obtener una larga vida del turbocompresor, por esta razón, el turbocompresor recibe el flujo de aceite antes que cualquier otro componente del motor. El aceite regresa entonces hacia el cárter del motor después de haber desempeñado las funciones de lubricación y enfriamiento.

### **3.2.5. Sistema de enfriamiento**

Los fabricantes de motores diésel en el mundo han incrementado las temperaturas de operación de los motores para aumentar la eficiencia de los mismos. Este incremento en la temperatura significa que un apropiado mantenimiento en el sistema de enfriamiento es especialmente importante en la vida del motor.

La temperatura de explosión del combustible en los motores Caterpillar puede alcanzar 1 927°C (3 500°F), sin embargo, como se aprecia en la figura 59, únicamente alrededor del 33 % del calor total es convertido en potencia por el cigüeñal. Aproximadamente un 30 % es expelido a través del escape, mientras que otro 7 % es irradiado directamente hacia la atmósfera por las superficies del motor. El 30 % del calor restante deberá ser disipado a través de un sistema de enfriamiento cuidadosamente diseñado.

Figura 59. **Cantidad de calor proporcional disipado por el motor**



Fuente: Caterpillar. Know your cooling system. p 2.

El sistema de enfriamiento regula la temperatura del motor a través de transferencia de calor entre el motor hacia el refrigerante y finalmente hacia el aire en el ambiente. La velocidad con que el sistema transfiera el calor del refrigerante hacia el aire afecta directamente la temperatura del sistema. Esta tasa de transferencia de calor hacia el radiador depende de muchos factores diferentes.

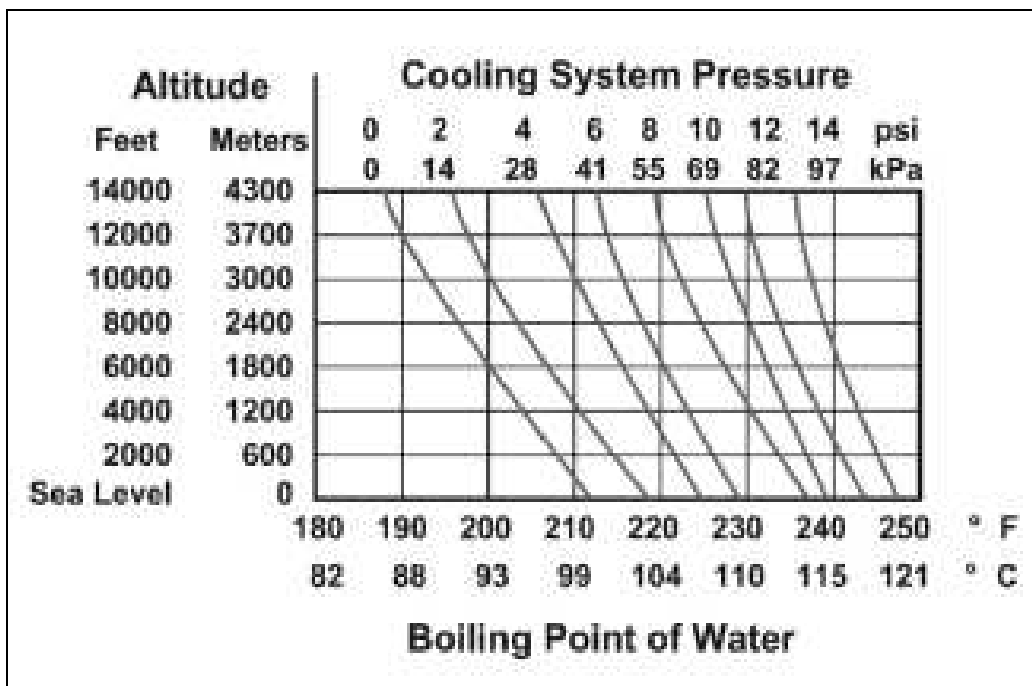
Uno de los factores que más inciden en la transferencia de calor es la diferencia entre la temperatura del refrigerante dentro del radiador y la temperatura del aire alrededor del sistema. Cuando esta diferencia de temperatura se incrementa, también se incrementa la tasa de transferencia. Alternativamente, cuando este diferencial de temperatura disminuye, la tasa de transferencia de calor también disminuye.

Los siguientes tres factores pueden cambiar la temperatura de ebullición del refrigerante en el sistema de enfriamiento:

- La cantidad y tipo de refrigerante
- La presión en el sistema de enfriamiento
- La altitud o presión barométrica

La tabla XIII muestra la relación entre la altitud y la presión con el punto de ebullición del sistema de enfriamiento. Este cuadro contiene valores para agua sin refrigerante.

Tabla XIII. **Gráfico presión-temperatura**



Fuente: Caterpillar. Know your cooling system. p 7.

Los componentes principales del sistema de enfriamiento del motor 3508B son los siguientes:

- Bomba de refrigerante
- Camisas de agua
- Reguladores de temperatura
- Tapón de presión
- Radiador
- Mangueras

La bomba hace posible que el refrigerante fluya en el sistema de enfriamiento. Dentro del motor están los conductos de enfriamiento por los que pasa el refrigerante. Estos conductos incluyen la llamada camisa de agua. La camisa de agua es una cavidad grande en el bloque de cilindros que envuelve los cilindros del motor. Esta cavidad, normalmente está llena de refrigerante y permite mantener el motor a una temperatura uniforme.

El diseño del sistema de enfriamiento del motor 3508B utiliza 4 reguladores de temperatura. Los reguladores de temperatura del refrigerante, o termostatos, regulan el flujo de refrigerante que pasa al radiador. Cuando el motor está frío los reguladores de temperatura se cierran y se bloquea el paso de refrigerante al radiador. El refrigerante, entonces recircula a través de la bomba de refrigerante, de vuelta al motor. Esto contribuye a que el motor alcance la temperatura de operación más rápidamente. Cuando el motor está caliente, los reguladores de temperatura permiten el paso de refrigerante hacia el radiador para ser enfriado, antes de pasar al motor. El regulador de temperatura de refrigerante no está completamente abierto ni cerrado. Este

regulador modula entre abierto y cerrado para mantener una temperatura constante en el motor.

El radiador es el componente del sistema de enfriamiento que transfiere el calor del refrigerante al aire del ambiente. El radiador tiene tubos por los que fluye el refrigerante de arriba hacia abajo. En la parte de abajo del radiador hay una manguera que lleva el refrigerante de nuevo a la bomba. Los tubos tienen aletas unidas a ellos, que ayudan a transferir el calor al aire que se mueve a través del enfriador del radiador.

La tapa de presión tiene una válvula de alivio que no permite que la presión del sistema de enfriamiento exceda la presión máxima del sistema de 12 psi (83 Kpa), manteniendo una presión controlada en todo el sistema. Esto permite que el refrigerante funcione a una temperatura más alta sin que entre en ebullición.

El refrigerante fluye además, desde la parte superior de la caja de reguladores de temperatura, hacia la carcasa de los cojinetes del turbocompresor, realizando función de enfriamiento del mismo y regresando nuevamente hacia el radiador.

### **3.3. Tipos de mantenimiento para motores diésel**

El principal producto que entrega cualquier organización de mantenimiento de equipos de minería son las horas de equipo disponibles que el Departamento de Operaciones puede utilizar para cumplir sus metas de producción. El desempeño en estas áreas es reportado en términos de disponibilidad. La disponibilidad es una medición clave a través de la cual los gerentes de minas cuantifican el desempeño de su flota de maquinaria, a la vez

que provee las bases para poder identificar necesidades de adquisición de nuevos equipos.

Existen tres factores críticos que afectan la disponibilidad de los motores y equipos de minería: el diseño del producto, la aplicación u operación en la cual es utilizado y el mantenimiento que este recibe durante su vida de servicio. De los tres anteriores, el mantenimiento ofrece la mayor oportunidad de mejora.

Por lo anterior, se definirá mantenimiento como cualquier actividad, tal como comprobaciones, mediciones, remplazos, ajustes y reparaciones que sean necesarios para mantener o reparar una unidad funcional de forma que esta pueda cumplir sus funciones para el propósito para el cual fue creado.

En motores diésel se puede aplicar tres tipos diferentes de mantenimiento, los cuales son determinantes para la durabilidad, confiabilidad y productividad de los mismos. Estos tipos de mantenimiento se pueden nombrar de la siguiente forma:

- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento predictivo

Además de las rutinas preventivas, las organizaciones de mantenimiento de minas exitosas, también incorporan procedimientos predictivos y correctivos para lograr ser completamente efectivos.

### **3.3.1. Mantenimiento preventivo**

Las paradas no programadas (tiempos muertos) de los equipos de minería son el mayor enemigo de los gerentes y operadores de minas. Estas paradas no programadas pueden deberse a fallas en los equipos que pueden ser resueltas con una solución técnica, de igual forma, las paradas no programadas pueden también ser el resultado de deficiencias en la organización a cargo de administrar los equipos, cuya responsabilidad es evitar fallas y problemas en la maquinaria. Cualquiera de estas situaciones puede ser mejorada a través de buenas prácticas de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo de motores para aplicaciones de minería está compuesto por diferentes grupos de rutinas que se programan en intervalos predefinidos de horas de operación para garantizar su buen funcionamiento y confiabilidad, como la que se muestra en la figura 60.

Estas rutinas incluyen inspecciones de seguridad, inspecciones de funcionamiento, cambio y selección de lubricante apropiado, filtros, ajustes, calibraciones, limpieza y remplazo de algunos componentes debido a desgaste normal o tiempo de uso. El objetivo primordial es prevenir fallas inesperadas y desgastes acelerados en los componentes de los motores, así como detectar fallas en su etapa inicial y poder realizar reparaciones programadas que no interfieran en las operaciones productivas de la mina.

Figura 60. **Rutina de mantenimiento preventivo**



Fuente: Caterpillar. Guía para la administración de motores. p 7.

Para poder establecer los intervalos adecuados de mantenimiento, según las diferentes aplicaciones, se puede utilizar cualquiera de los siguientes indicadores, o combinar varios de ellos utilizando la condición que ocurra primero:

- Kilometraje o millaje
- Consumo acumulado de combustible
- Horas de servicio



- Tiempo calendario

Caterpillar recomienda realizar mediciones comparativas de desempeño en los procesos de mantenimiento, para poder identificar las buenas prácticas y monitorear el progreso hacia un conjunto de objetivos específicos. El proceso de mediciones comparativas ayuda a identificar áreas con debilidades, prácticas deficientes y oportunidades de mejora, ya que es un proceso de mejora continua, sistemático y sobre la marcha, que requiere un compromiso a largo plazo por parte de los involucrados.

### **3.3.2. Mantenimiento correctivo**

Sin importar que tan buena sea una pieza o un componente de un motor, que tan bueno sea el programa de mantenimiento que se lleva a cabo, o que tan liviana sea la aplicación a la que está sometido, tarde o temprano las fallas aparecerán.

Un mantenimiento correctivo es el conjunto de reparaciones destinadas a corregir fallas que se presentan en los motores, ya sea por desgaste natural debido al tiempo de uso, fallas ocasionadas por mala operación o abusos.

El mantenimiento correctivo de un motor puede tener una gran variedad de tareas o procedimientos a realizar. Puede ir desde el remplazo de una manguera que se observa con desgaste hasta la reparación general de un motor. Este tipo de mantenimientos se pueden clasificar en dos tipos diferentes: reparación antes de la falla y reparación después de la falla. Como su nombre lo indica, la diferencia radica en el momento en que se realiza la reparación.

Los fabricantes de motores y equipo de minería recomiendan realizar las reparaciones, cada vez que sea posible, antes de que la falla ocurra, evitando así llegar a convertirse en una falla catastrófica. Este tipo de reparaciones son generalmente, más económicas y no provocan fallas inesperadas del equipo, que repercuten en pérdidas económicas de producción.

Lo que distingue una operación exitosa de las operaciones que no lo son, es la organización que exista en cuanto a la administración de mantenimientos y reparaciones de las flotas de maquinaria y cómo los gerentes enfrentan los problemas cuando estos aparecen. Más allá de preguntar ¿cuánto tiempo estará detenido el equipo?, hay que preguntar ¿qué provocó la falla? y ¿qué se puede hacer para evitar que esto ocurra de nuevo?

Figura 61. **Vehículo de mantenimiento dedicado a equipo de minería**



Fuente: mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.

### **3.3.3. Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo o monitoreo de condiciones de operación, proporciona información valiosa y proactiva acerca de los equipos de minería, permitiendo a los administradores de mantenimiento establecer programas de mantenimiento y reparación completos y efectivos para los equipos de una mina.

El análisis de la información de una combinación de elementos de monitoreo de condiciones, que incluye inspecciones periódicas, análisis regulares de aceites, seguimientos cuidadosos de la información electrónica de los motores y análisis históricos de los equipos, ayuda a evaluar con precisión la condición de los equipos críticos para cualquier tipo de operación.

Las prácticas de monitoreo regular de condiciones mejoran la capacidad para identificar pequeños problemas antes de que se conviertan en averías mayores y antes de que ocasionen una falla que ponga en riesgo equipos vitales para la operación. En algunos casos, el monitoreo de condiciones puede también, ser utilizado para proveer un mantenimiento preventivo basado en condiciones, lo cual ayuda a reducir la utilización de filtros y lubricantes a lo largo de la vida de funcionamiento del motor.

Así también, el mantenimiento de lubricación es imperativo para mantener los motores diésel operando con alto desempeño. El mantenimiento de lubricación incluye cambios de aceite programados y análisis periódicos de aceite. El análisis de aceite es de suma importancia debido a que el desempeño del aceite de motor se degrada lentamente con el tiempo. Esta degradación tiene lugar cuando la cantidad de desgaste de metales y la contaminación se incrementa.

Bajo condiciones severas de operación, el proceso de degradación puede llegar a ser muy acelerado. Para los motores diésel, las condiciones severas se definen como una o más de las siguientes condiciones: factores de alta carga, ciclos excesivos, intervalos extensos de cambio de aceite, mayor altitud, ambiente con alta contaminación de polvo, tiempos prolongados en marcha lenta, combustibles con alto contenido de azufre y temperaturas del sistema de enfriamiento por debajo de lo normal.

Sin importar si las condiciones de operación son normales o severas, los aceites de motor eventualmente pierden la capacidad de lubricar adecuadamente y proteger los componentes del motor de daños y desgastes acelerados.

Por lo tanto, es importante analizar el aceite de motor en intervalos regulares. Caterpillar ha desarrollado una herramienta de administración de mantenimiento que evalúa la degradación de aceite y detecta las señales tempranas de desgastes de componentes internos.

Esa herramienta divide los análisis de aceite en tres categorías básicas: rangos de desgaste en el aceite, condición del aceite y pruebas adicionales. Juntos, estos tres tipos de análisis son utilizados para evaluar la degradación del aceite y poder detectar problemas potenciales en el motor. Un programa de análisis de aceites apropiadamente administrado reducirá los costos de reparación de los motores y el impacto de los tiempos muertos.

En la figura 63 se muestran dos procedimientos de mantenimiento predictivo: monitoreo de información electrónica y muestreo periódico de aceite.

Figura 62. **Rutinas de mantenimiento predictivo**



Fuente: Caterpillar. Guía para la administración de motores. p 5.

### **3.4. Diagnóstico del motor de diésel**

A continuación, se enumeran los diferentes métodos utilizados para obtener el diagnóstico del motor diésel 3508B. Estos permiten tener un mejor panorama de la situación actual del mismo, y son una herramienta de mucha utilidad para la toma de decisiones.

#### **3.4.1. Medición de parámetros de funcionamiento del motor diésel**

Para poder determinar las condiciones actuales del motor diésel 3508B, que es objeto del presente estudio, será necesario hacer una serie de pruebas de operación, hacer comparaciones de los diferentes parámetros de funcionamiento, revisar datos históricos de reparaciones, revisar las horas continuas de operación del mismo y a la vez, revisar las tendencias de desgastes como resultado de los análisis de aceites.

En la tabla XIV se muestran a detalle las mediciones realizadas como parte del diagnóstico en el motor 3508B y los resultados obtenidos.

Tabla XIV. **Medición de parámetros de funcionamiento de motor 3508B**

PRUEBA OPERACIONAL						
MOTOR Y SISTEMA DE ENFRIAMIENTO						
SATISFACTORIO	AJUSTAR	REPARAR	PRUEBA DE PRESIONES	LECTURA	ESPECIFICACIÓN	VARIANZA
x			Temperatura de aire ambiental (grados F)	75	N/A	
x			Temperatura de agua del motor (grados F)	182	185 +/- 6	-2
	x		Caída de temperatura en radiador (grados F)	4	5 a 14	-1
x			Presión de alivio de radiador (psi)	12	12	0
		x	Presión de aceite en bajas revoluciones (psi)	14	25 Min.	-9
x			Presión de aceite en altas revoluciones (psi)	67	52 Min.	15
		x	Presión de turboalimentador (in hg)	22	26 a 31	-4
x			Presión de combustible (psi)	80	76 +/- 25	0
		x	Contrapresión en el cárter (in H2O)	2.5	2 Max.	0.5
x			Marcha en baja (rpm)	700	700 +/- 10	0
x			Marcha en alta (rpm)	1950	1937 +/- 20	13
<b>COMPONENTES ELECTRÓNICOS</b>			<b>COMENTARIOS</b>			
x			Prueba de corte de cilindros	Satisfactoria		
			Prueba de presión de actuación de inyectores	Esta prueba no aplica		
x			Prueba de solenoides de inyectores	Todos los solenoides se accionan		
x			Códigos activos	No existe códigos activos		
		x	Códigos grabados	Evento grabado de baja presión de aceite		
<b>PRUEBA DE OPERACIÓN</b>			<b>COMENTARIOS</b>			
x			Ruido excesivo en inyectores	Normal		
x			Ruido excesivo en válvulas	Normal		
x			Golpeteo en motor	Normal		
x			Ruido excesivo en turboalimentador	Normal		
x			Aceleración del motor	Normal		

Fuente: elaboración propia, basada en las mediciones obtenidas del motor 3508B.

Para la obtención de los datos de las condiciones de funcionamiento se utilizará la siguiente herramienta de diagnóstico:

- Computadora portátil con el software Caterpillar ET
- Tacómetro digital
- Termómetro digital o pistola de temperatura
- Medidor de contrapresión del cárter del motor
- Manómetro análogo y manómetro digital

Una vez obtenidos los datos, estos son analizados y evaluados para determinar las reparaciones o ajustes requeridos por el motor. En el presente caso en particular, fue utilizado para confirmar la necesidad de una reconstrucción completa.

#### **3.4.2. Análisis periódico de aceite**

Como se ha mencionado antes, los análisis periódicos de aceite son bien reconocidos por su habilidad de detectar problemas menores antes de que se conviertan en fallas mayores, ya que permiten saber qué es lo que está sucediendo dentro del motor. Esta herramienta, también ha sido utilizada como parte del diagnóstico del motor para conocer la tendencia de desgastes de los últimos períodos de mantenimiento. El laboratorio de análisis de aceite utiliza las guías de análisis de desgastes proporcionados por Caterpillar para la interpretación profesional de los datos, los cuales además son verificados por la fábrica.

En la tabla XV se muestra el resultado de los análisis de aceite del motor que es sujeto de estudio, mostrando, además las tendencias gráficas de algunos de los elementos de desgaste.

Tabla XV. **Resultados de análisis de aceites del motor 3508B**

Customer Sample Evaluation Report Date: 10/26/2011									
Sample ID	Taken Date	Processed Date	SMC	Units On Fluid	Fluid Brand	Fluid Weight	Fluid Added	Evaluation	
412669707	06/19/2011	06/21/2011	32563 hr	239 hr	CAT	15W40	-	Action Required	
Recommendations: CONDICIONES PERJUS-TEN. SE RECOMIENDA QUE NO UTILICE EL MOTOR BAJO ESTA CON-DICION DE CONTAMINACION. ES URGENTE QUE REAPRE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.									
412489097	06/30/2011	06/05/2011	32669 hr	254 hr	CAT	15W40	-	Monitor Compartment	
Recommendations: CONDICIONES PERJUS-TEN! REVISE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.									
412316549	06/14/2011	06/19/2011	32415 hr	190 hr	CAT	15W40	-	Action Required	
Recommendations: PERJUS-TEN PRESENCIA DE GLICOL EN EL ACEITE. ES URG ENTE QUE REPA RE FUGAS. REVISE NIVELES Y TEMPERATUR A DE OPERACION. SE RECOMIENDA QUE REVISE TODO EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO. NO ES RECOMENDABLE QUE SIGA TRABAJANDO BAJO ESTAS CON-DICIONES.									
412081134	06/07/2011	06/08/2011	32225 hr	215 hr	Mobil	15W40	-	Monitor Compartment	
Recommendations: LA PRESENCIA DE GLICOL HA DE-SUMINUIDO. SINTEMBARGO LA CONCENTRACION DE COBRE Y SODIO SON INACEPTABLES. INDICA QUE HA CAMBIADO EL ACEITE ES NECESARIO QUE ENVIE NUEVA MUESTRA. AHORA.									
411736589	06/16/2011	06/22/2011	32010 hr	261 hr	Mobil	15W40	-	Action Required	
Recommendations: URGENTE QUE PARE EL MOTOR Y REALICE INSPECCION FISICA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO. DESGASTES DE TEJAS PRINCIPALMENTE.									

Wear Elements																										
Sample ID	Fe	Cu	Cr	Al	Pb	Sr	Si	Na	K	Mo	P	Zn	Cu	Mg	ST	OXI	NIT	SUL	W	F	A	VIS	5"	15"	ISO	
412669707	16	179	0	0	1	0	5	29	-	6	1149	1131	-	259	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
412489097	12	171	0	1	1	1	4	29	-	8	1225	1195	-	272	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
412316549	11	224	0	1	1	1	3	73	-	21	1183	1117	-	310	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
412081134	18	203	0	4	1	0	6	144	-	48	1207	1162	-	392	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
411736589	24	1290	1	8	56	1	8	881	-	283	821	1279	-	384	43	17	61	13	0	0	0	0	0	0	0	0

Fluid Condition									
Sample ID	W	F	A	VIS	5"	15"	ISO		
412669707	-	-	-	-	-	-	-	-	-
412489097	-	-	-	-	-	-	-	-	-
412316549	-	-	-	-	-	-	-	-	-
412081134	-	-	-	-	-	-	-	-	-
411736589	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Particle Count									
Sample ID	W	F	A	VIS	5"	15"	ISO		
412669707	-	-	-	-	-	-	-	-	-
412489097	-	-	-	-	-	-	-	-	-
412316549	-	-	-	-	-	-	-	-	-
412081134	-	-	-	-	-	-	-	-	-
411736589	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Legend									
Symbol	Meaning								
N	Negative								
PBS	Positive								
Al	Aluminum								
Mo	Molybdenum								
Si	Silicon								
Ca	Calcium								
Mg	Magnesium								
Sr	Sr								
Cr	Chromium								
Na	Sodium								
ST	Soot								
Cu	Copper								
NIT	Nitration								
SUL	Sulfation								
F	Fuel								
OXI	Oxidation								
VIS	Viscosity								
W	Water								
P	Phosphorus								
W	Water								
Pb	Lead								
Zn	Zinc								

Fuente: laboratorio de análisis de aceites, Gentrac.



En el reporte de análisis de aceite anterior se puede observar la recomendación del laboratorio de análisis de lubricantes de Gentrac, en donde indica presencia de etileno de glicol en el aceite del motor del camión 777D, que está siendo evaluado para reconstrucción.

Dicho componente se encuentra en el refrigerante utilizado en el sistema de enfriamiento, lo que sugiere que está existiendo contaminación de refrigerante en el aceite del motor. Además, se logra ver que esta condición ha permanecido durante los últimos 5 muestreos y análisis de aceite del motor.

Esta contaminación de etileno de glicol ha ocasionado degradación prematura en el aceite del motor que es objeto de esta evaluación, y esto a su vez, ha acelerado los desgastes de algunos componentes.

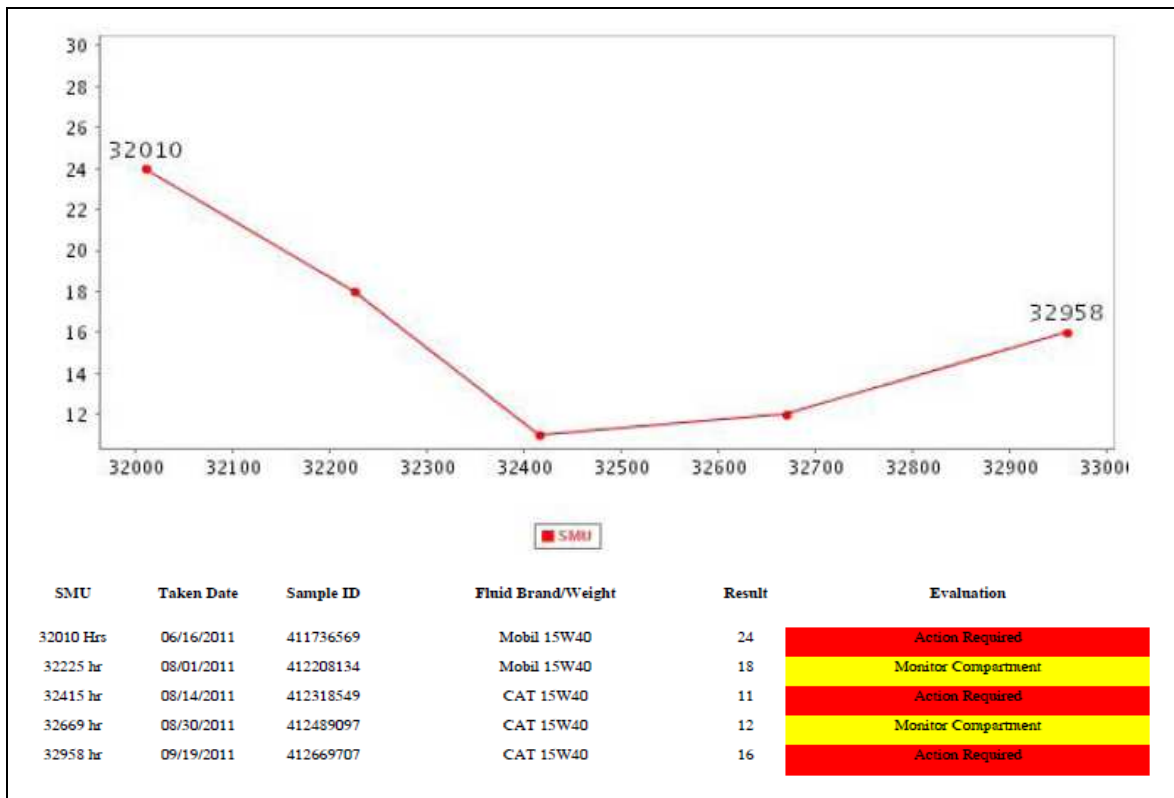
Estos desgastes se ven reflejados en la muestra de aceite como una tendencia creciente de presencia de minerales en el aceite, la cual se expresa en PPM (partes por millón).

A continuación se muestran gráficamente las tendencias crecientes de algunos de los minerales presentes en este análisis.

En la tabla XVI se logra observar que la tendencia de desgastes de hierro ha sido creciente, a excepción de la muestra tomada a las 32 415 horas de operación del motor, en donde la cantidad de PPM de hierro decreció hasta 11. En la última muestra tomada a las 32 958 horas de operación, se logra observar en la muestra 16 PPM de hierro.

El hierro se encuentra en el motor, principalmente, en camisas de cilindros, pistones, anillos de pistón, engranajes del motor, tren de válvulas y eje cigüeñal.

Tabla XVI. **Gráfica de desgaste de hierro**



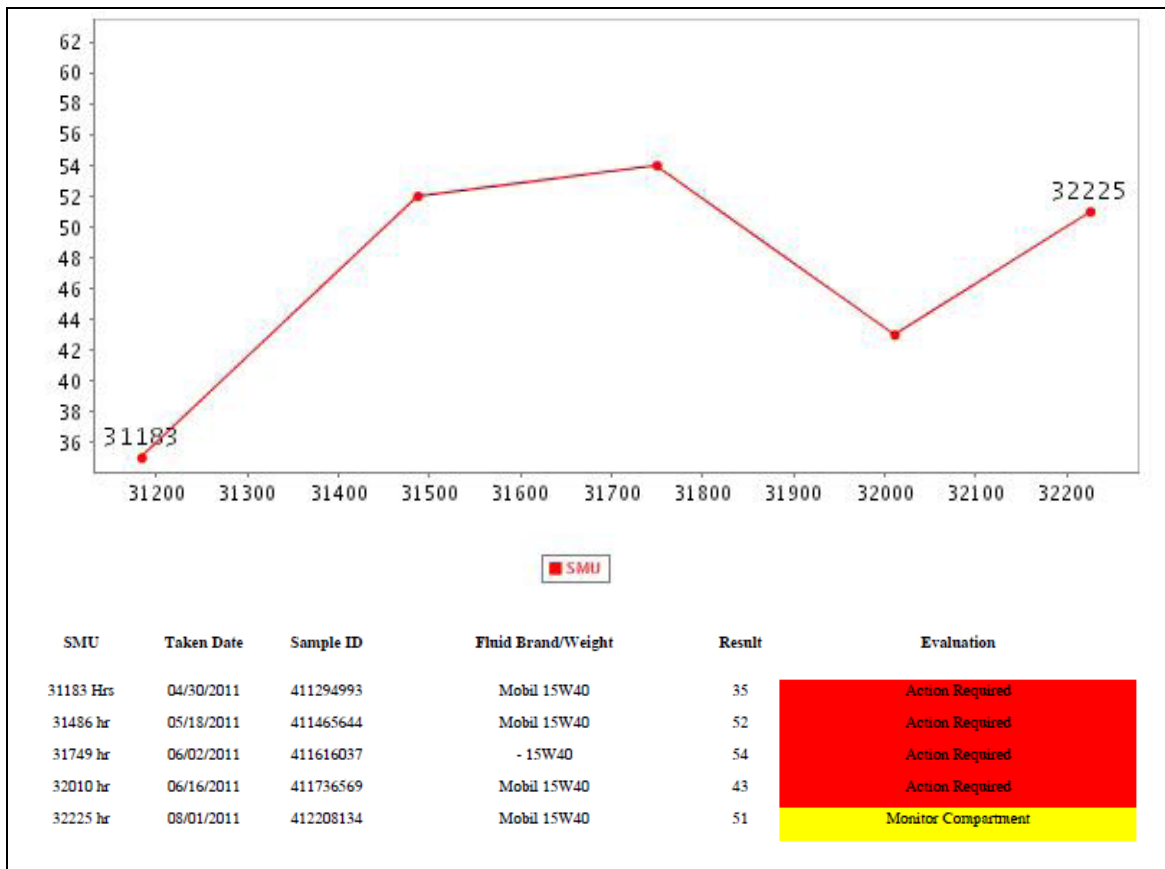
Fuente: laboratorio de análisis de aceites, Gentrac.

Como se aprecia en la tabla XVII, la cantidad de hollín en la muestra, también se observa una tendencia creciente en el motor durante los últimos cinco análisis, llegando hasta 51 PPM de hollín en el último análisis.

El hollín es el residuo insoluble del combustible parcialmente quemado, se mantiene en suspensión gracias al paquete de aditivos del aceite y es la

causa de que el aceite tome un color negro. Cuando el hollín se precipita de la suspensión en el aceite, contribuye a la reducción de aditivos, y eventualmente, aumenta la viscosidad del aceite.

Tabla XVII. Gráfica de presencia de hollín

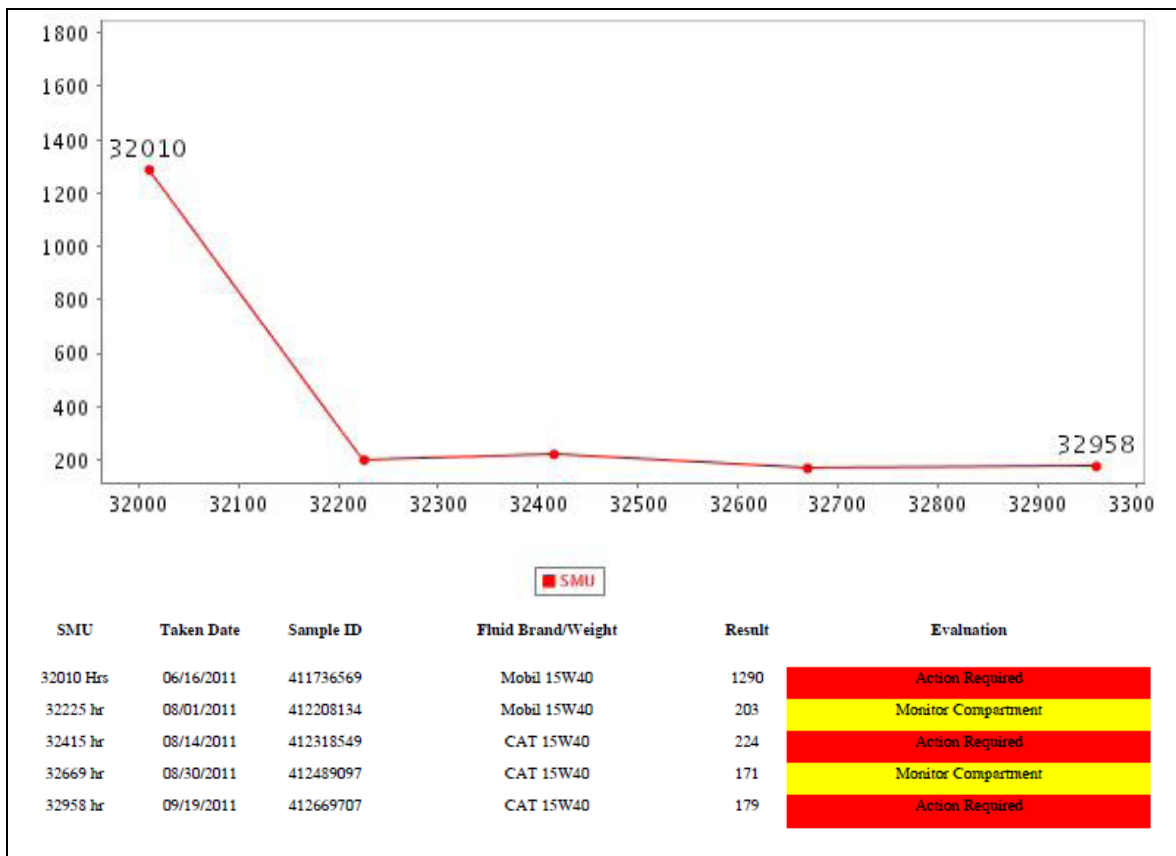


Fuente: laboratorio de análisis de aceites, Gentrac.

La tendencia de desgastes de cobre, mostrada en la tabla XVIII, se ha mantenido estable en alrededor de 200 PPM, a excepción de la muestra tomada a las 32 010 horas, la cual presentaba un desgaste de 1 290 PPM, esto podría deberse a las horas de utilización del aceite del motor. Aun así el

laboratorio continúa recomendando que se tomen acciones de revisión física debido a la constante presencia de etileno de glicol en las últimas muestras.

Tabla XVIII. **Gráfica de desgaste de cobre**



Fuente: laboratorio de análisis de aceites, Gentrac.

La tendencia de desgastes de aluminio, mostrada en la tabla XIX, se observa ligeramente decreciente, y en rangos normales de desgastes. Este metal se puede encontrar en el motor de combustión interna, principalmente en los pistones, camisas de cilindro y anillos de pistón, así como en los cojinetes del cigüeñal.

En algunas ocasiones, la presencia de aluminio en cantidades anormales en los motores, también puede ser indicador de ingreso de contaminantes de tierra al motor, sobre todo en suelos arcillosos, ya que los constituyentes principales de la tierra son minerales que contienen silicio y aluminio. Por eso, es muy importante que los resultados del análisis de las muestras se interpreten localmente.

Tabla XIX. **Gráfica de desgaste de aluminio**

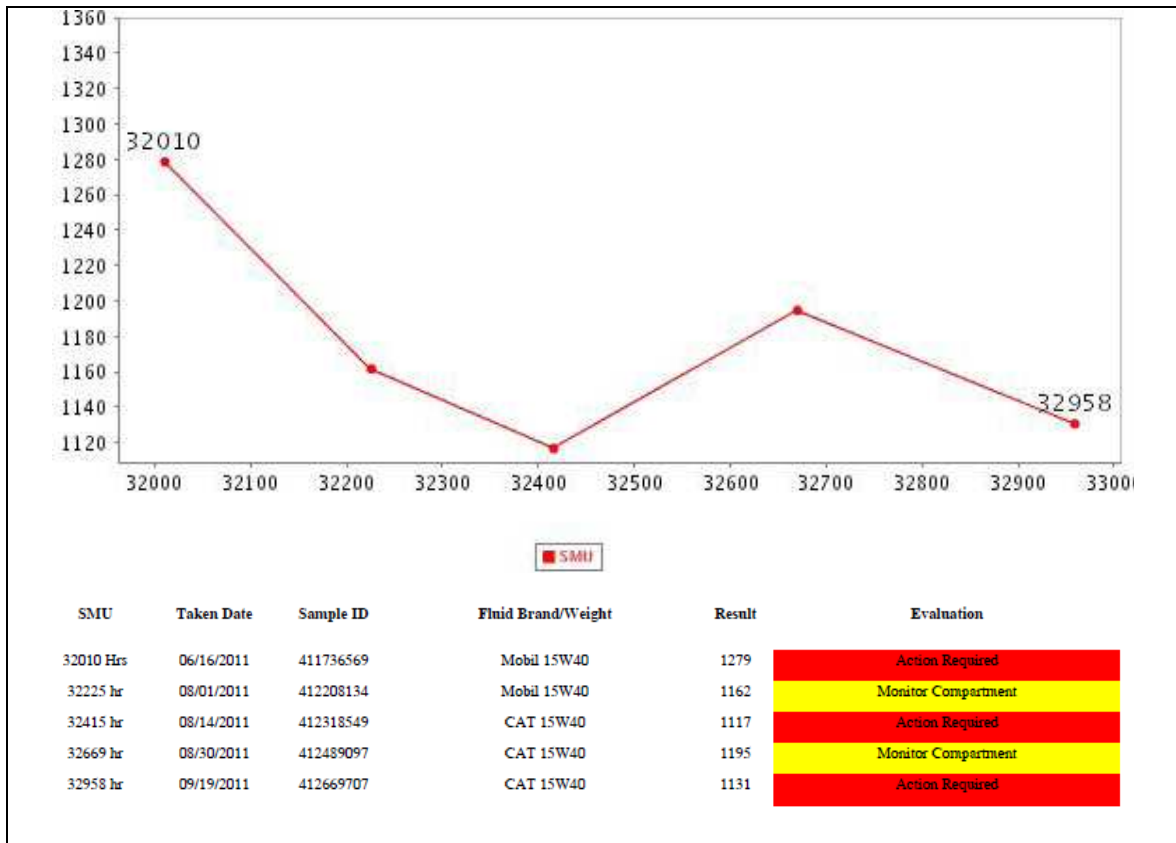


Fuente: laboratorio de análisis de aceites, Gentrac.

El ditiofosfato de zinc es un aditivo utilizado en el aceite lubricante empleado por los motores de combustión interna, ya que actúa como inhibidor de la corrosión.

Los agentes antidesgaste reducen la fricción formando una pequeña capa en las superficies metálicas y protegiendo las superficies de la corrosión. Los principales tipos de agentes son detergentes alcalinos, ditiofosfatos de zinc y ditiocarbamatos de zinc.

Tabla XX. **Gráfica de desgaste de zinc**



Fuente: laboratorio de análisis de aceites, Gentrac.

En la tabla XXI se muestra la tendencia de material de cromo presente en la muestra de aceite. El cromo se puede encontrar en el motor, principalmente en camisas de cilindros, pistones y el recubrimiento de los anillos de pistón.

Las principales causas de desgastes de cromo en el aceite de motor puede deberse a ingreso de contaminación por tierra a través del sistema de admisión, temperaturas anormales de operación y degradación del aceite.

Tabla XXI. **Gráfica de desgaste de cromo**

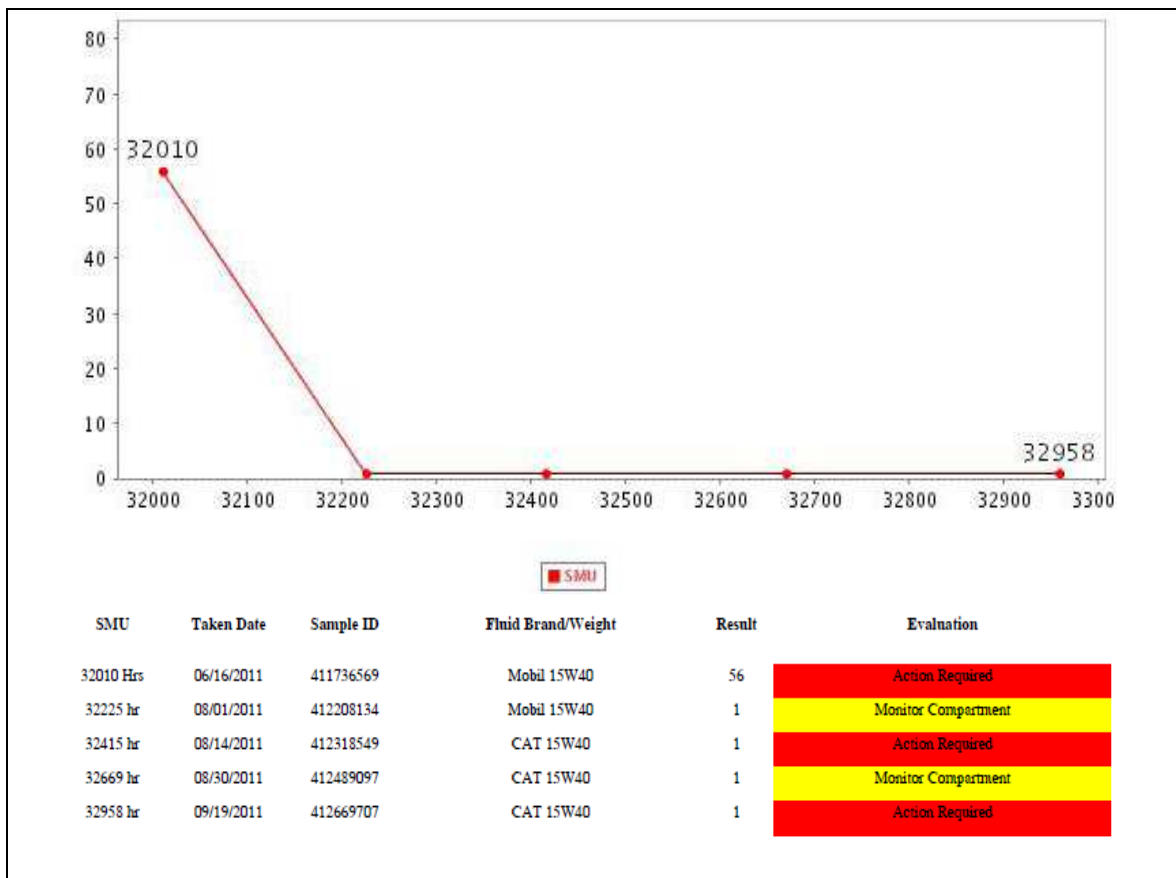


Fuente: laboratorio de análisis de aceites, Gentrac.

El plomo es un elemento utilizado en la construcción de cojinetes del cigüeñal, bujes de desgaste del eje de levas y bujes de pasadores de biela. En la tabla XXII se muestra la tendencia de desgaste de plomo en la muestra de aceite.

Las fallas de cojinetes relacionadas con la lubricación son usualmente atribuidas a dos causas: pérdida de lubricación o contaminación en el aceite lubricante.

Tabla XXII. Gráfica de desgaste de plomo



Fuente: laboratorio de análisis de aceites, Gentrac.



En la tabla XXIII se muestra la gráfica de presencia de oxidación en la muestra de aceite. La oxidación ocurre cuando las moléculas de oxígeno se combinan químicamente con las moléculas del aceite. Esta reacción química se acelera cuando el aceite está a alta temperatura, y está contaminado por glicol del refrigerante del motor, también cuando existe presencia de cobre y los intervalos entre cambios de aceite son demasiado prolongados.

Tabla XXIII. Gráfica de presencia de oxidación



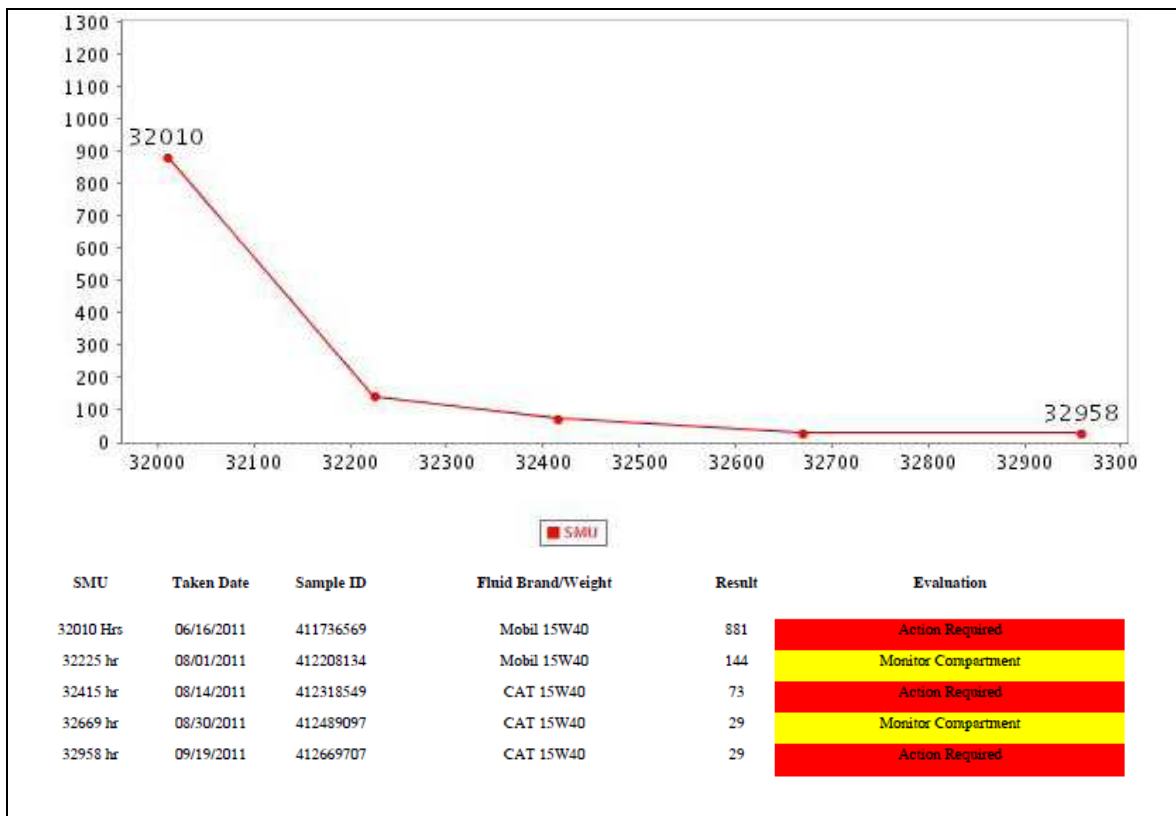
Fuente: laboratorio de análisis de aceites, Gentrac.

La oxidación causa que el aceite se espese, forme ácidos y pierda propiedades lubricantes, lo que amenaza reducir la vida de los componentes del motor. Además, un aceite oxidado causa depósitos de hollín en las válvulas y

en los pistones del motor, atascamiento de los anillos y pulido de los orificios de los cilindros.

La presencia de sodio en el aceite lubricante de los motores Caterpillar, generalmente es indicación de presencia de agua o refrigerante en la muestra. La presencia de sodio en el aceite acelera la degradación debido a su alto potencial de oxidación. En la tabla XXIV se muestra la gráfica de presencia de sodio en la muestra de aceite.

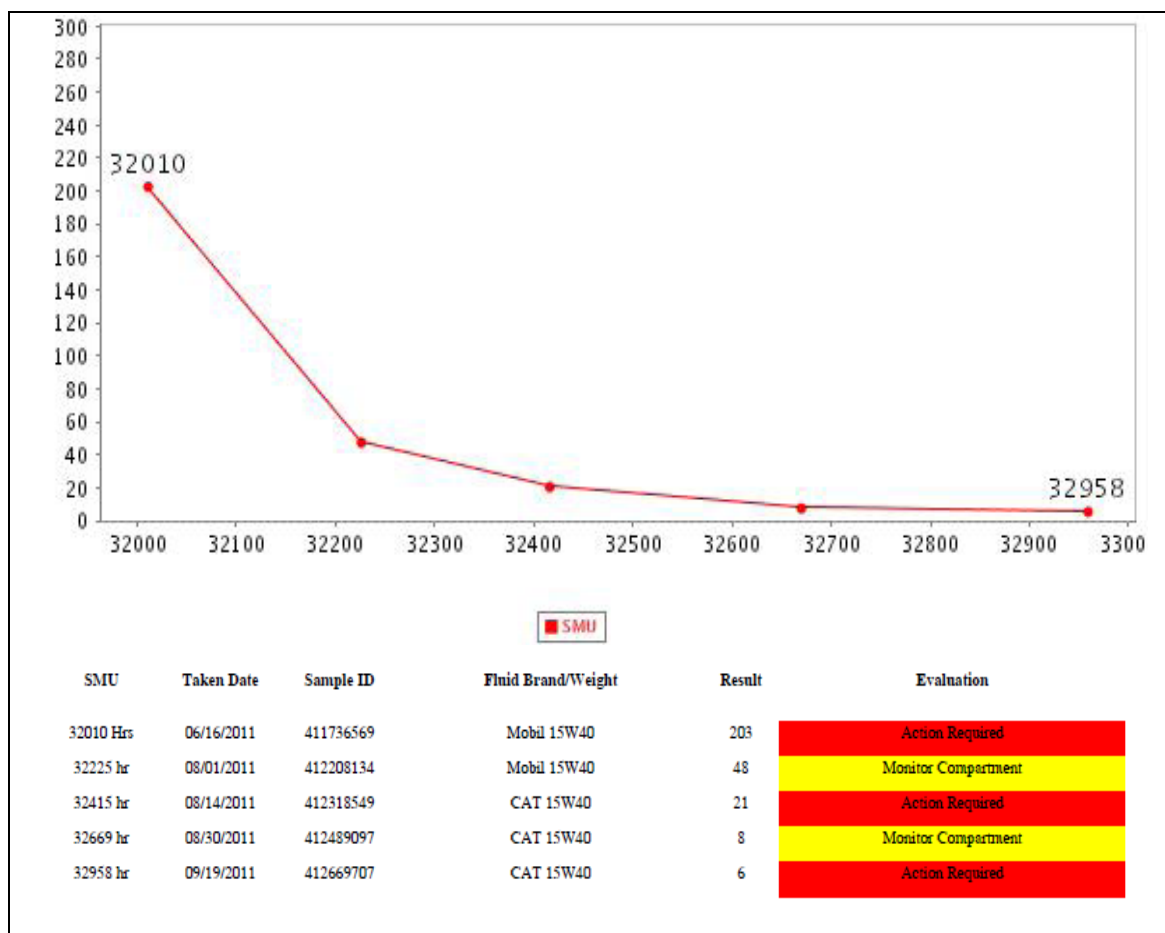
Tabla XXIV. Gráfica de presencia de sodio



Fuente: laboratorio de análisis de aceites, Gentrac.

La presencia de molibdeno en la muestra de aceite de motor, mostrada en la tabla XXV, puede deberse a desgastes en pistones y anillos de pistón, lo cual puede generar excesiva contrapresión en el cárter del motor, consumo de aceite y degradación prematura del aceite lubricante.

Tabla XXV. **Gráfica de desgaste molibdeno**

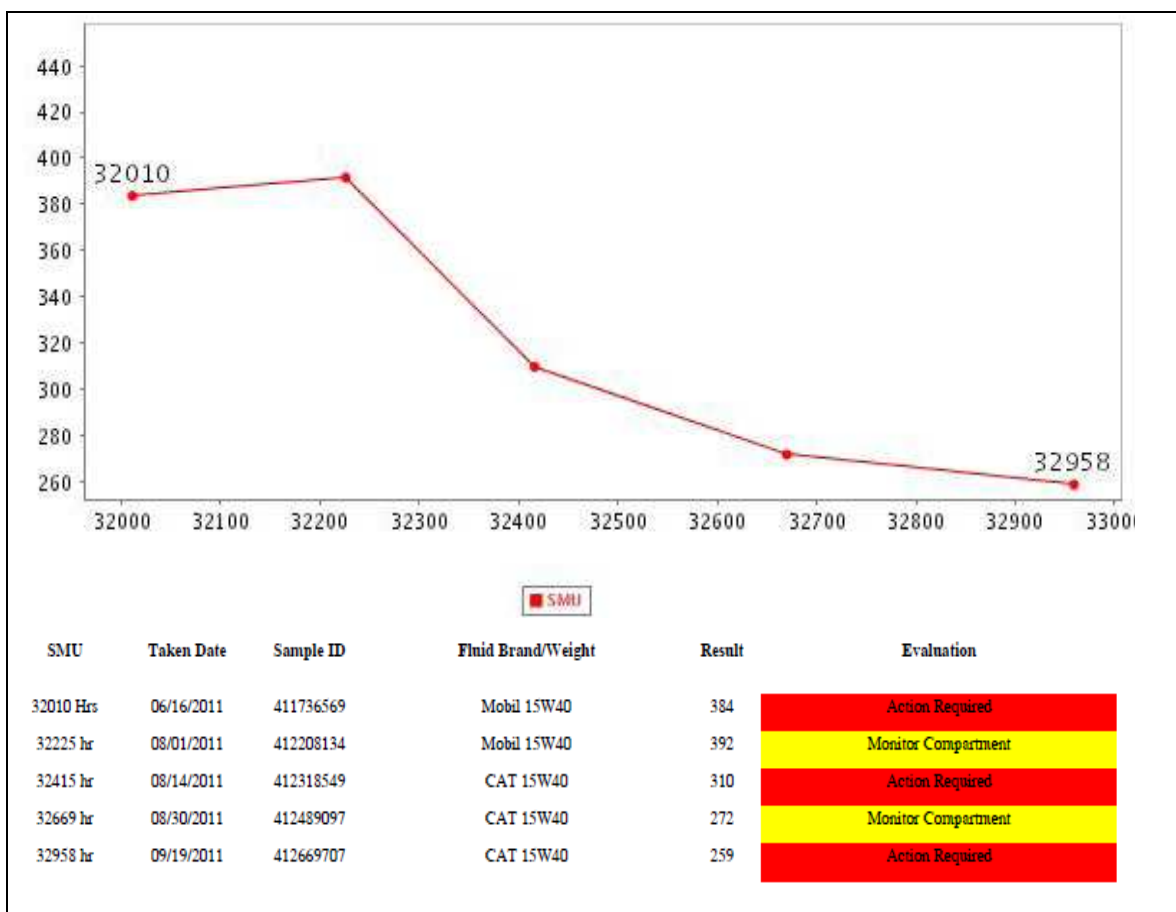


Fuente: laboratorio de análisis de aceites, Gentrac.

El contenido de cenizas en el aceite de motor se debe a residuos no combustibles del aceite. Los detergentes que se utilizan como aditivos en el aceite lubricante contienen derivados metálicos, entre ellos los compuestos de

magnesio que son fuentes comunes de cenizas en el aceite. Un contenido excesivo de cenizas causará que se produzcan depósitos de cenizas que pueden reducir la eficiencia y la potencia del motor. En la tabla XXVI se observa la tendencia de la cantidad de magnesio en la muestra de aceite.

Tabla XXVI. **Gráfica de presencia de magnesio**



Fuente: laboratorio de análisis de aceites, Gentrac.

### **3.4.3. Consideraciones para reconstrucción de motores Caterpillar**

Las condiciones severas de operación de los motores diésel pueden acelerar el desgaste de los componentes internos del motor, por tal razón los motores que operan bajo condiciones severas pueden requerir intervalos de mantenimiento más frecuentes para poder alcanzar la vida útil para la que fue diseñado y obtener máximo rendimiento.

Se puede definir como condiciones severas de operación cuando el motor excede los parámetros para los que fue diseñado, estos parámetros pueden ser:

- Potencia
- Rango de revoluciones por minuto
- Consumo de combustible
- Calidad del combustible
- Altitud
- Intervalos de mantenimiento no apropiados
- Selección correcta del aceite lubricante
- Procedimientos inapropiados de operación

Las condiciones anteriores influirán en la decisión correcta acerca del momento correcto en el que se debe realizar una reconstrucción en el motor, comúnmente llamada *overhaul*.

Por ejemplo, la operación extendida en ambientes que son extremadamente fríos o calurosos puede ocasionar daños prematuros en algunos componentes, los arranques y paros frecuentes en climas extremadamente fríos pueden ocasionar daños en las válvulas por acumulación de carbón.

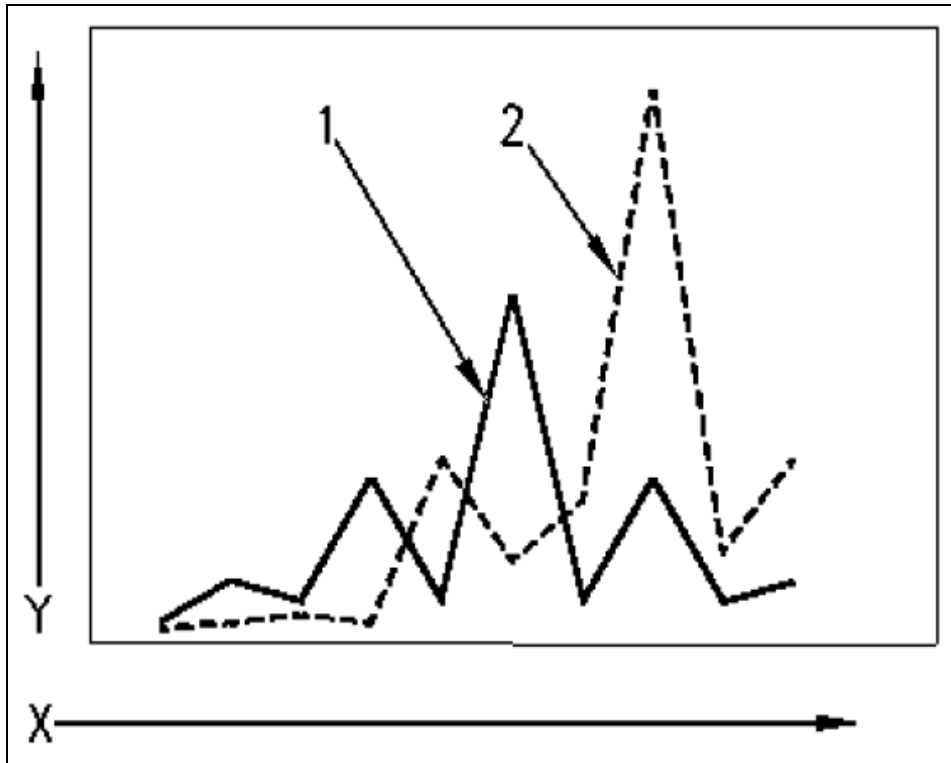
Un *overhaul* es el remplazo de los principales componentes de desgaste del motor, el cual debe ser realizado en intervalos planificados. El motor es reconstruido con algunas partes reparadas o partes nuevas para remplazar las partes que han sufrido desgaste.

Una reconstrucción de motor, también debe incluir los siguientes mantenimientos:

- Inspección de todas las partes visibles durante la remoción y desarmado
- Remplazo de todos los sellos y empaques que sean removidos
- Limpieza de los pasajes internos del motor y el bloque de cilindros
- Inspección de la alineación de los componentes impulsados por el motor

La mayoría de las empresas ahorran dinero realizando reconstrucciones de motor en los intervalos recomendados por los manuales del fabricante. A continuación se presenta la gráfica comparativa:

Tabla XXVII. Gráfica costo de reparación-tiempo



Fuente: Caterpillar. Overhaul considerations. p 3.

En donde el eje Y representa los costos de reparación y el eje X el tiempo.

La línea continua (1) representa los costos de mantenimiento y reparación de una empresa que ha seguido las recomendaciones del manual del fabricante con respecto a las inspecciones, mantenimiento y reparaciones. Los picos representan las reconstrucciones (*overhaul*) realizadas en el motor.

La línea punteada (2) representa los costos de mantenimiento y reparación de una empresa que decidió operar más allá de los intervalos recomendados. Como se puede observar, el costo inicial de la filosofía de

realizar reparaciones después de la falla es menor. Aunque el primer *overhaul* fue aplazado, los picos son significativamente mayores que los picos de la empresa que optó por la filosofía de realizar reparaciones antes de la falla.

Los picos mayores resultan de dos factores claves:

- Aplazar un *overhaul* hasta que el motor falle, incrementa las posibilidades de una falla catastrófica. Este tipo de fallas requiere la utilización de más repuestos, más mano de obra y limpiezas más extensas.
- Desgastes excesivos significan que habrá menor cantidad de componentes que puedan ser reutilizables.

Cuando se consideran todos los costos involucrados en una reconstrucción de motor, la reparación antes de la falla resulta ser la alternativa más económica. Esto también es aplicable a otros componentes.

La necesidad de una reparación mayor en motores puede ser determinada por varios factores como:

- Incremento en el consumo de aceite
- Incremento en la contrapresión del cárter del motor
- La cantidad total de consumo de combustible
- Las horas de servicio del motor
- El análisis de desgaste de metales del aceite lubricante



- Incremento en los niveles de ruido y vibración en el motor

### **3.5. Evaluación de los componentes del motor diésel**

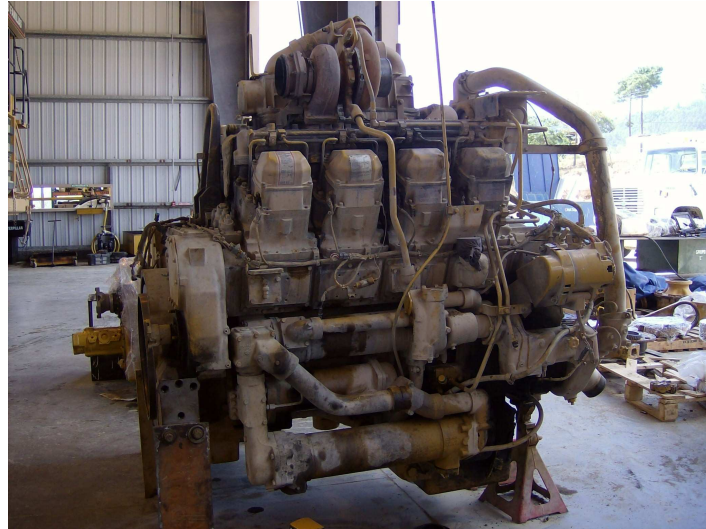
Una vez removido y desarmado el motor, uno de los procesos más importantes en la reconstrucción del motor de combustión interna es la evaluación de cada uno de los componentes. El objetivo de la evaluación es determinar cuáles componentes cumplen las condiciones para ser reutilizados y poder también, determinar qué componentes, por sus condiciones de desgaste o deterioro, no cumplen las condiciones y deben ser reemplazados.

Para poder realizar una evaluación de calidad, es indispensable una limpieza previa en los componentes a evaluar.

Los componentes evaluados deben ser comparados contra la guía de reusabilidad de partes, para determinar si cada componente debe o no ser reemplazado, la cual es de uso exclusivo de los distribuidores Caterpillar. Esta guía de reusabilidad contiene la información necesaria y confidencial para permitir a Gentrac establecer un programa de reutilización, para poder trasladar a los propietarios, beneficios en la reducción de costos de reparación.

En la figura 63 se muestran las dos vistas laterales del motor 3508B, recién removido del camión 777D, que fue el objeto de este estudio.

Figura 63. **Motor 3508B removido del camión 777D previo a reparación**



Fuente: taller de maquinaria de mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.

Para la realización de *overhaul* de motores diésel existen ciertos componentes que no pueden ser sujetos a evaluación, ya que son componentes críticos para el funcionamiento del motor, o bien, son elementos que están contruidos para tener una función de desgaste. Estos componentes

deben siempre ser reemplazados en este tipo de reparaciones. Algunos otros componentes pueden ser reparados o reconstruidos y otros componentes deberán ser evaluados para su reutilización o cambio, según sea la recomendación del fabricante.

### **3.5.1. Componentes de remplazo**

Los componentes que se mencionan a continuación deben considerarse como elementos de remplazo en la reparación de nuestro motor diésel, estos serán reemplazados según la recomendación del fabricante.

- Todos los sellos, empaquetaduras y sellos tipo o-ring
- Líneas de combustible de baja presión
- Líneas de combustible no metálicas
- Bujes del eje de levas
- Sellos frontal y trasero del cigüeñal
- Bujes del tren de engranajes trasero y delantero
- Cojinetes y platos de desgaste del tren de engranajes delantero y trasero
- Tejas del cigüeñal o tejas centrales
- Tejas de bielas

- Platos de desgaste axial del cigüeñal
- Anillos de pistón

Figura 64. **Tejas de biela del motor 3508B**



Fuente: taller de reconstrucción de componentes, Gentrac.

### 3.5.2. **Reparación de componentes del motor**

Los elementos que se mencionan a continuación son componentes del motor diésel que se componen de varias partes individuales y que pueden ser objeto de reparaciones por separado e independientes de un *overhaul*.

Estos componentes deberán ser reparados, reemplazando sus componentes internos o reemplazados en su totalidad. En el caso del motor en estudio, se utilizaron componentes remanufacturados de fábrica. El programa

de componentes remanufacturados ofrece las ventajas de tener componentes reparados en menos tiempo y con la garantía de calidad Caterpillar.

- Turbocompresores
- Bomba de refrigerante del sistema de enfriamiento
- Bomba de transferencia de combustible
- Culatas de cilindro
- Bomba de aceite
- Bomba de barrido de aceite del cárter

A continuación se muestra unas fotografías de las culatas individuales y balancines del motor 3508B sujeto de la presente evaluación.

Figura 65. **Culatas individuales del motor 3508B**



Fuente: taller de reconstrucción de componentes, Gentrac.

Figura 66. **Balancines de válvulas**



Fuente: taller de reconstrucción de componentes, Genfrac.

### 3.5.3. **Componentes de reutilización**

A continuación se mencionan los componentes del motor, que fueron sometidos a una evaluación para poder determinar si es factible su reutilización. Estos fueron comparados contra las guías de reusabilidad de componentes de motores diésel que Caterpillar brinda a sus distribuidores.

Lo anterior contribuyó a reducir los costos de la reconstrucción del motor a través de la reutilización de los componentes que pasaron la prueba de reusabilidad, garantizando su buen funcionamiento durante al menos el intervalo en que el fabricante recomienda nuevamente realizar un *overhaul*.

- Posenfriador de aire (*Aftercooler*)
- Eje de levas

- Seguidores del eje de levas o buzos
- Bielas
- Eje cigüeñal
- Bloque de cilindros
- Camisas de cilindros
- Amortiguador de vibración o dámper
- Engranajes del tren de engranajes delantero y trasero
- Enfriador de aceite de motor
- Coronas de pistón
- Faldas de pistón
- Pasadores de los pistones
- Platos espaciadores de las culatas de cilindro

A continuación se muestran las figuras de algunos de los componentes que fueron reutilizados en el presente estudio.

Figura 67. **Pistón de motor 3508B con daño en la corona**



Fuente: taller de reconstrucción de componentes, Gentrac.

Figura 68. **Falda de pistón de motor 3508B**



Fuente: taller de reconstrucción de componentes, Gentrac.



Figura 69. **Inyectores de combustible**



Fuente: taller de reconstrucción de componentes, Gentrac.

Figura 70. **Bielas de pistón completas**



Fuente: taller de reconstrucción de componentes, Gentrac.

Figura 71. **Espaciadores de tapadera de válvulas de motor 3508B**



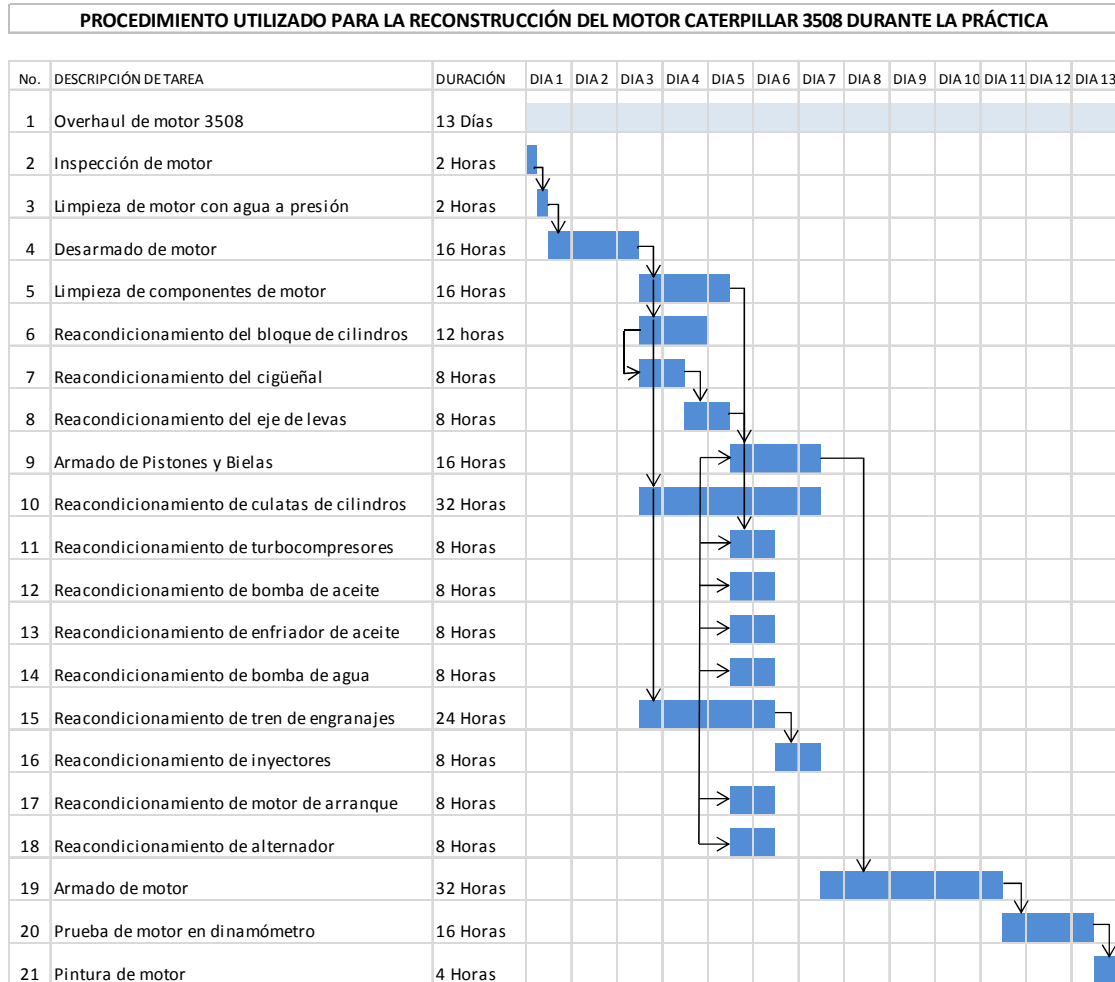
Fuente: taller de reconstrucción de componentes, Gentrac.

Durante la evaluación del motor se logró observar que los cojinetes de las bancadas del cigüeñal presentan pulido en la parte central. Estos cojinetes del cigüeñal del motor desarrollaron pulido en el centro cuando la capa de lubricación era demasiado fina para evitar que los cojinetes tocaran el cigüeñal. Se produjo calor en el centro de los cojinetes y se dio el pulido de la superficie.

Al continuar la operación el desgaste adhesivo se hizo más amplio y profundo, decolorando la superficie.

En la tabla XXVIII se describe el diagrama de flujo de las operaciones realizadas durante la reconstrucción del motor 3508B.

Tabla XXVIII. Diagrama de flujo de la reconstrucción del motor 3508B



Fuente: elaboración propia, basada en el cronograma de reparación del motor.

### 3.6. Pruebas de desempeño del motor diésel reconstruido

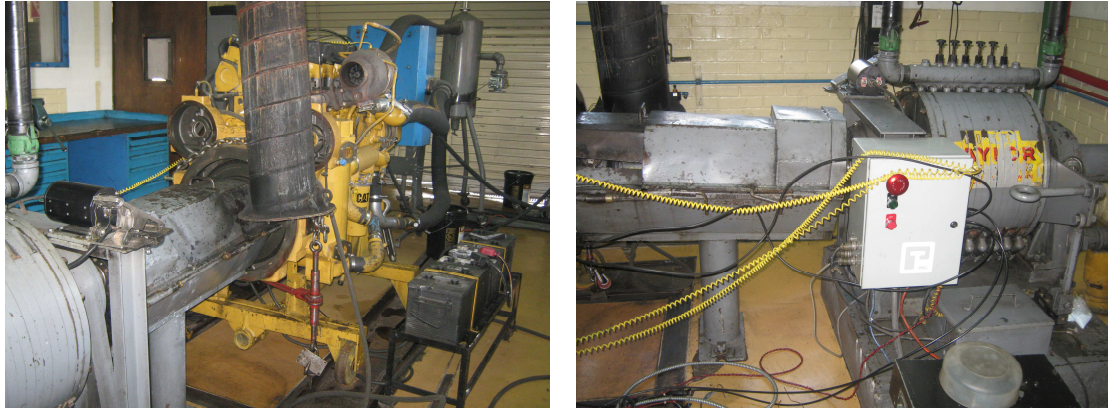
La potencia del motor 3508B recién reconstruido se mide en el cigüeñal por medio de un banco de prueba, dotado de un freno mecánico, es por esta razón que la potencia obtenida recibe el nombre de potencia al freno.

En el taller de reconstrucción de componentes de Gentrac se cuenta con un dinamómetro de motores con un tipo de freno mecánico a base de agua.

Los dinamómetros de freno de agua, comúnmente llamadas dinamómetros hidráulicos, se adaptan fácilmente a condiciones de pruebas estacionarias y requerimientos variables de mediciones. Este equipo está provisto además, de un sistema de recopilación de datos y parámetros de funcionamiento del motor que está siendo sometido a esfuerzo, lo cual permite al técnico de servicio estar al tanto de los indicadores críticos durante las pruebas.

En el dinamómetro de freno de agua, el par de giro del motor principal es absorbido por la turbulencia (viscosidad del agua e intercambio de momento) del agua del dinamómetro. Esta acción de frenado o de carga es desarrollada por un rotor que dirige el agua contra el estator. El estator, a su vez redirige de vuelta el agua contra el rotor, por lo tanto, se opone al movimiento del rotor. Cuanto mayor es el flujo del agua sobre el dinamómetro, mayor es la acción de frenado o carga sobre el motor.

Figura 72. **Dinamómetro del taller de componentes**



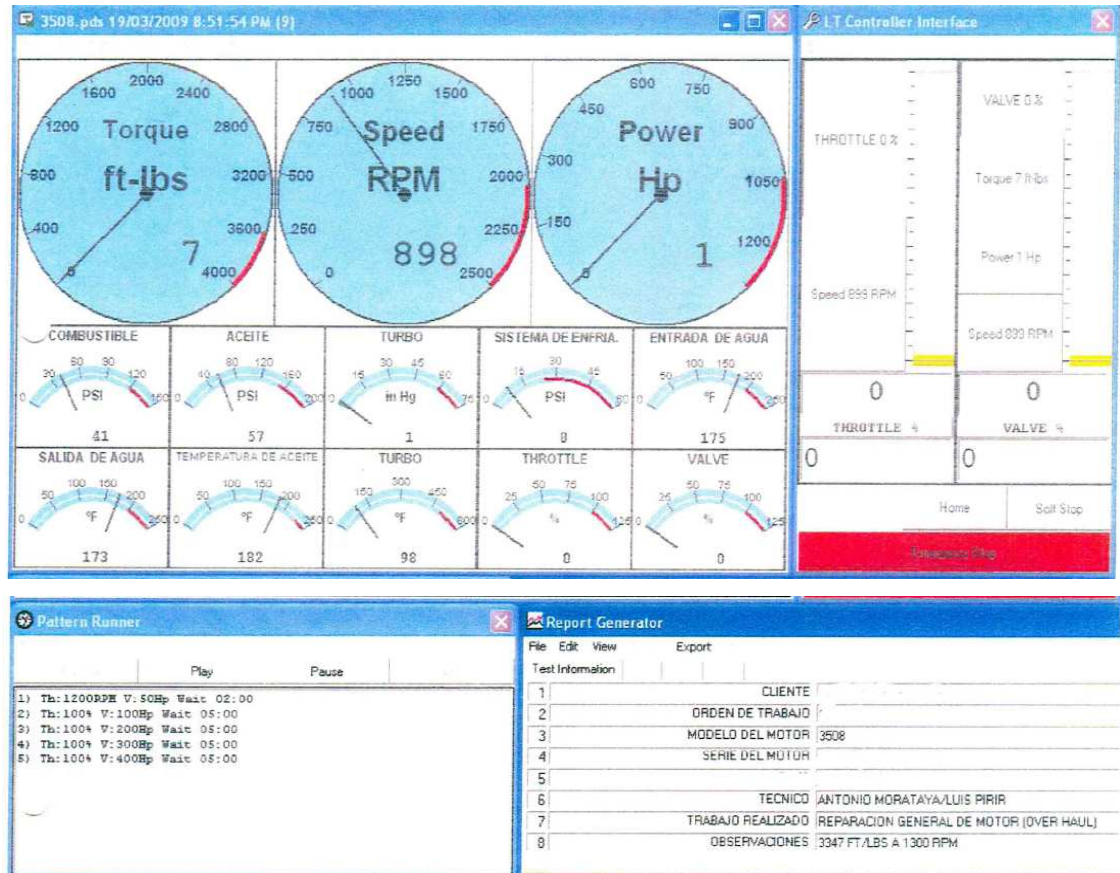
Fuente: taller de reconstrucción de componentes, Gentrac.

### **3.6.1. Realización de pruebas en dinamómetro**

A continuación se muestran los resultados de las pruebas realizadas al motor reconstruido en el dinamómetro del taller de reconstrucciones de Gentrac. En la tabla XXIX se observa el desempeño del motor corriendo en bajas revoluciones y en vacío, es decir, sin ninguna carga aplicada. Se puede notar que en este momento no está generando ninguna potencia y la presión del turbo es completamente nula.

En este momento el control de aceleración se encuentra al 0 % de su capacidad y la válvula de carga está completamente cerrada.

Tabla XXIX. Pruebas de dinamómetro en baja en vacío

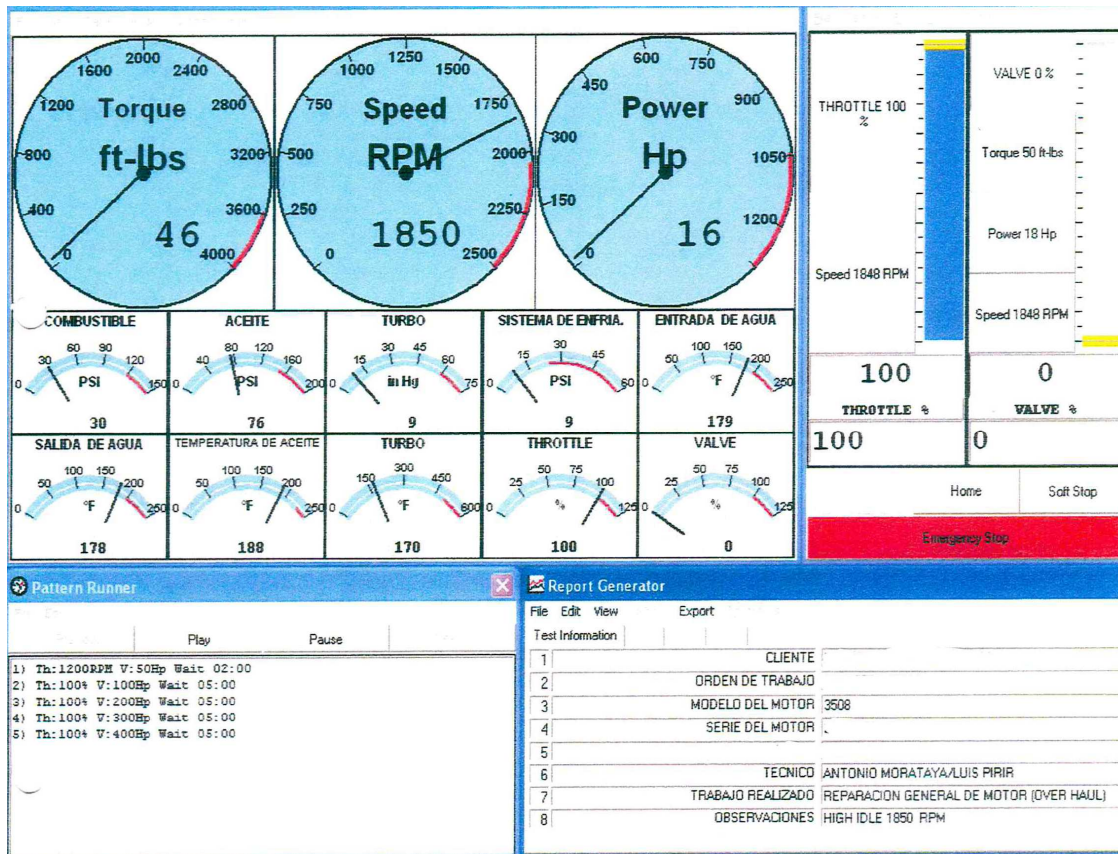


Fuente: dinamómetro del taller de reconstrucción de componentes, Gentrac.

La tabla XXX muestra el desempeño del motor girando en altas revoluciones en vacío. Aun no ha sido aplicada la carga. Se logra observar que las lecturas de presión de combustible, presión de aceite y temperatura del sistema de enfriamiento se muestran normales. La presión del turbo no alcanza a elevarse aún, esto es debido a que no existen suficientes gases de escape que hagan girar la turbina.

En este momento, el control de aceleración está al 100 % y la válvula de carga está completamente cerrada.

Tabla XXX. Pruebas de dinamómetro en alta en vacío



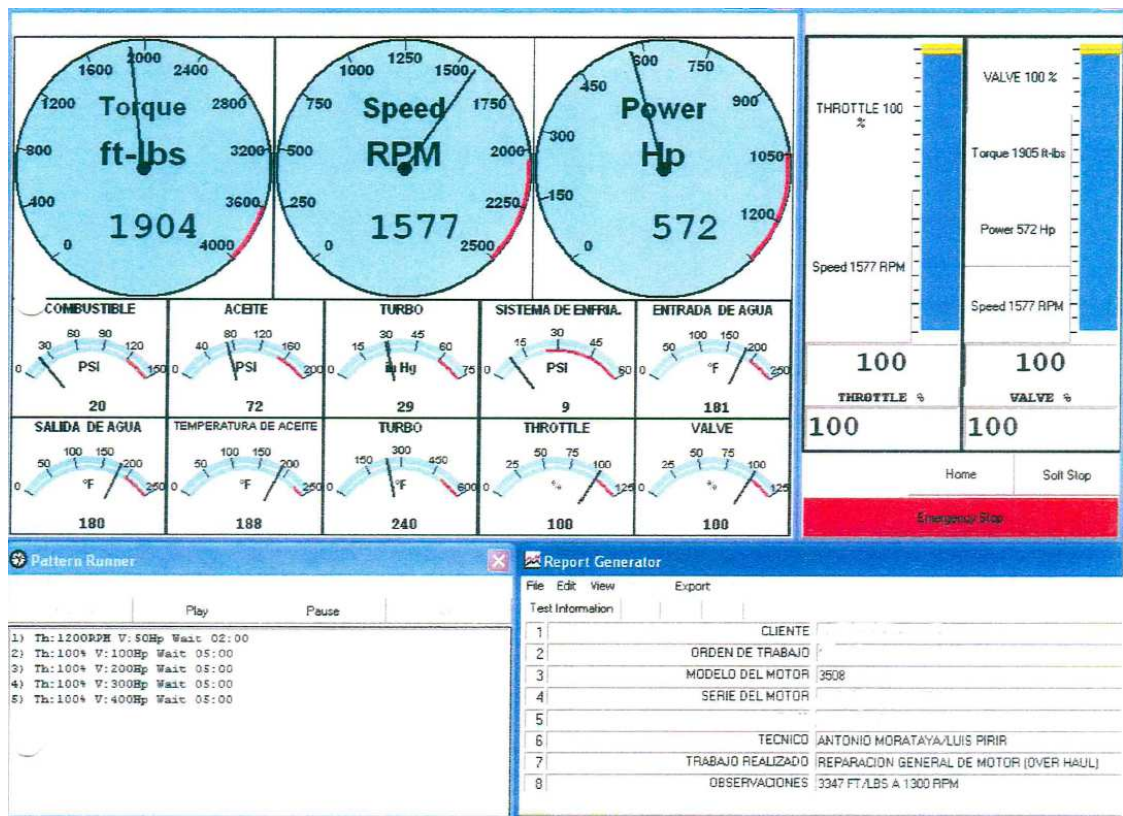
Fuente: dinamómetro del taller de reconstrucción de componentes, Gentrac.

A continuación, en la tabla XXI se muestran los datos del desempeño del motor 3508B objeto del presente estudio, girando en altas revoluciones y con carga aplicada. Se logra observar que las lecturas de presión de combustible, presión de aceite y temperatura del sistema de enfriamiento se muestran normales. La presión del turbo ya ha alcanzado una presión adecuada de 30 pulgadas de mercurio, debido a que al haber mayor combustión en los cilindros

se genera mayor cantidad de gases de escape que hacen trabajar el turbocompresor.

En este momento, el control de aceleración está al 100 % de su capacidad y la válvula de carga está completamente abierta. En esta gráfica se muestra la potencia obtenida durante las pruebas. El resultado de la prueba se considera satisfactorio.

Tabla XXXI. Pruebas de dinamómetro en alta a plena carga



Fuente: dinamómetro del taller de reconstrucción de componentes, Genfrac.



### **3.6.2. Medición de parámetros de funcionamiento del motor reconstruido**

Para poder determinar si el desempeño del motor 3508B es satisfactorio, se necesita realizar una comparación entre las mediciones obtenidas de los diferentes parámetros y compararlas con el rango de especificación que proporciona el manual de servicio.

En la tabla XXXII se muestran los datos obtenidos en las mediciones de estos parámetros indicando si el dato obtenido es o no satisfactorio.

Se hace la observación que la potencia obtenida es la potencia máxima que entrega el motor al aplicarle toda la carga del dinamómetro. Debido a la capacidad de este último, no es posible obtener toda la potencia de 1 000 HP que el motor es capaz de suministrar. Estas pruebas complementarias deben realizarse en el campo con el motor ya instalado en el camión 777D.

Tabla XXXII. **Parámetros obtenidos de la prueba de dinamómetro**

DESCRIPCIÓN DE PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MEDICIÓN OBTENIDA	RESULTADO
POTENCIA A PLENA CARGA	HP	888	SATISFACTORIO
VELOCIDAD A PLENA CARGA	RPM	1 800	SATISFACTORIO
TORQUE MÁXIMO	LB/FT	1 904	SATISFACTORIO
VELOCIDAD DE MAXIMO TORQUE	RPM	1 580	SATISFACTORIO
VELOCIDAD ALTA EN VACÍO	RPM	1 950	SATISFACTORIO
VELOCIDAD BAJA EN VACÍO	RPM	700	SATISFACTORIO
CONSUMO PROMEDIO DE COMBUSTIBLE	GAL-HR	46,6	SATISFACTORIO
PRESIÓN DE TURBOCOMPRESOR	IN-HG	32	SATISFACTORIO
TEMPERATURA DE REFRIGERANTE	°F	180	SATISFACTORIO
DIFERENCIAL DE TEMP. (ENTRADA-SALIDA)	°F	1	SATISFACTORIO
PRESIÓN DE ACEITE EN ALTA	PSI	72	SATISFACTORIO
PRESIÓN DE ACEITE EN BAJA	PSI	57	SATISFACTORIO
PRESIÓN DE COMBUSTIBLE	PSI	27	SATISFACTORIO

<b>MODELO DE MÁQUINA</b>	777D
<b>MODELO DE MOTOR</b>	3508B

Fuente: elaboración propia, basada en los resultados obtenidos durante las pruebas en el dinamómetro.

### **3.6.3. Elaboración de una rutina de mantenimiento para el motor diésel del camión 777D basada en las recomendaciones del fabricante**

Como se ha mencionado anteriormente, las buenas prácticas de mantenimiento son determinantes en el éxito o fracaso de una operación que involucra equipo de minería, ya que va de la mano con los costos de operación y la disponibilidad oportuna de equipos críticos de producción. El mantenimiento

es un factor que ofrece a las compañías mineras la mejor oportunidad para influir y controlar el desempeño y la disponibilidad de sus equipos.

A continuación se muestra un programa de mantenimiento preventivo para un motor diésel 3508B, utilizando las horas de servicio como criterio para definir los intervalos. Los equipos que operan en condiciones muy severas pueden requerir mantenimientos más frecuentes.

Tabla XXXIII. **Rutina de mantenimiento preventivo para motor 3508B**

<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MOTORES 3508B</b>	
<b>CUANDO SEA REQUERIDO</b>	
BATERÍAS	INSPECCIÓN/REPLAZO
REFRIGERANTE DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	REPLAZO
VÁLVULA DE ALIVIO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	LIMPIEZA
FILTRO PRIMARIO DE AIRE DE MOTOR	LIMPIEZA/REPLAZO
FILTRO SECUNDARIO DE AIRE DE MOTOR	LIMPIEZA/REPLAZO
DEPURADOR DE AIRE DE ADMISIÓN	LIMPIEZA
<b>CADA 10 HORAS DE SERVICIO O DIARIAMENTE</b>	
INDICADOR DE OBSTRUCCIÓN DE FILTRO DE AIRE	INSPECCIÓN
REFRIGERANTE DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	REVISIÓN DE NIVEL
ACEITE DE MOTOR	REVISIÓN DE NIVEL
ACEITE DE MOTOR	REGISTRAR ADICIONES
TANQUE DE COMBUSTIBLE	DRENE DE AGUA Y SEDIMENTOS
<b>CADA 250 HORAS DE SERVICIO O MENSUALMENTE</b>	
ACEITE DE MOTOR	OBTENER MUESTRA
FAJAS DE MOTOR	INSPECCIÓN/AJUSTE/REPLAZO
ACEITE DE MOTOR	REPLAZO
FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	REPLAZO
COJINETE DEL IMPULSOR DEL VENTILADOR	LUBRICACIÓN
POLEA TENSORA DE FAJAS	LUBRICACIÓN

Continuación de la tabla XXXIII.

<b>CADA 500 HORAS DE SERVICIO O CADA 3 MESES</b>	
RESPIRADERO DE TANQUE DE COMBUSTIBLE	REEMPLAZO
RESPIRADERO DE CÁRTER DE MOTOR	LIMPIEZA
REFRIGERANTE DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	OBTENER MUESTRA
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	PURGAR
FILTRO PRIMARIO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE	LIMPIEZA/REEMPLAZO
FILTRO SECUNDARIO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE	REEMPLAZO
TAPÓN Y REJILLA DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE	INSPECCIÓN/LIMPIEZA

<b>CADA 3000 HORAS DE SERVICIO O CADA 2 AÑOS</b>	
TAPÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	LIMPIEZA/REEMPLAZO
VÁLVULA DE ALIVIO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	LIMPIEZA
VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE	INSPECCIÓN/AJUSTE
ROTADORES DE VÁLVULAS DE MOTOR	INSPECCIÓN
NÚCLEO DEL RADIADOR	LIMPIEZA

Fuente: elaboración propia, basada en las recomendaciones del manual de operación y mantenimiento del camión 777D.

De lo anterior, se deben realizar programas de capacitación continua para que los técnicos de servicio estén familiarizados con este tipo de rutinas de mantenimiento y poder garantizar el buen desempeño de programas exitosos de mantenimiento.



## CONCLUSIONES

1. Mediante la elaboración de una matriz de riesgos en el área de reconstrucción de componentes de Gentrac se logró identificar cada uno de los riesgos asociados a los diferentes procedimientos involucrados en la reconstrucción de un motor diésel, permitiendo tomar las medidas preventivas necesarias para minimizar y controlar los riesgos detectados.
2. La utilización de los resultados de análisis de aceite programados fue un factor determinante para poder determinar las condiciones internas del motor 3508B que fue reconstruido en esta práctica.
3. Mediante el monitoreo de los resultados de análisis de aceite del motor 3508B fue posible detectar, de forma oportuna, la presencia de etileno de glicol en el compartimiento del motor, lo cual permitió tomar acciones correctivas antes de que se presentara una falla mayor.
4. Con la realización de un diagnóstico previo a la reconstrucción del motor se logró obtener la información de algunos parámetros que son claves en el funcionamiento del motor y, que a su vez, brindan información importante sobre su desempeño. Esta información, en conjunto con otros indicadores, jugó un papel importante para la decisión de realizar una reparación mayor en el motor.
5. Otro factor determinante, para la decisión de realizar una reconstrucción en un motor 3508B es seguir las instrucciones que brinda el fabricante de estos equipos, en la cual se recomienda realizar reparaciones mayores

en los componentes de las máquinas, incluyendo el motor diésel, en intervalos preestablecidos que pueden ser medidos en kilometraje, consumo acumulado de combustible, horas de servicio o tiempo calendario.

6. El desarrollo de las rutinas de mantenimiento que se habían llevado a cabo durante la vida de servicio del motor 3508B fue determinante, para permitir la reutilización de algunos componentes internos del motor reconstruido.
7. El desarrollo de un programa de buenas prácticas y de rutinas de mantenimiento para los motores de camiones de minería 777D permitirá estandarizar los procesos que actualmente llevan a cabo los técnicos de servicio a cargo del mantenimiento de estos equipos, lo cual va de la mano con los costos de operación e impacta directamente en la disponibilidad de los equipos críticos para la producción.
8. Aplazar un *overhaul* hasta que ocurra una falla en el motor incrementa las posibilidades de una falla catastrófica, durante el estudio se ha comprobado que la reparación de estas fallas en motores requieren la utilización de muchos más repuestos, más mano de obra y tiempos excesivos de limpieza en comparación con una reparación realizada antes de falla.
9. Cuando se presentan desgastes excesivos en motores 3508B, significa que habrá menor cantidad de componentes que puedan ser reutilizables durante la reconstrucción de los mismos.

10. Mediante la utilización de un dinamómetro fue posible realizar pruebas de desempeño del motor reconstruido, además de obtener las lecturas de los indicadores claves de operación del mismo.
  
11. Considerando todos los costos involucrados en una reconstrucción de motor, la reparación antes de la falla resulta ser la alternativa más económica. Esto también es aplicable a otros componentes de los equipos de construcción y minería.





## RECOMENDACIONES

Al supervisor de seguridad e higiene industrial:

1. Elaborar un plan de análisis de riesgos en las instalaciones de talleres dedicados a reparación y reconstrucción de componentes de maquinaria de minería con el fin de identificar y prevenir los riesgos laborales, para garantizar la salud e integridad física de los trabajadores. Así también, describir las medidas que deben implementarse para su prevención y control.
2. Fomentar la utilización del equipo de protección personal requerido en las instalaciones de talleres de equipo de minería, así como en los procedimientos especiales que requieran equipo de protección adicional para el trabajador con el objetivo de eliminar o disminuir las probabilidades de ocurrencia de accidentes laborales.
3. Aplicar los principios de control de la contaminación en los procesos de reconstrucción de motores diésel, para prevenir fallas ocasionadas por contaminantes externos o bien, contaminantes propios del lubricante.

Al supervisor de mantenimiento de equipos de minería:

1. Establecer e implementar buenas prácticas de mantenimiento preventivo y correctivo en los motores diésel utilizados en minería, ya que estos son determinantes para la durabilidad, confiabilidad y productividad de los mismos.

2. Incorporar procedimientos de mantenimiento predictivos y monitoreo de condiciones, para lograr una completa efectividad en la detección de problemas y fallas de los motores diésel, ya que estos proporcionan información valiosa y proactiva acerca del estado actual de los equipos, evitando así incurrir en paradas no programadas de los equipos.
3. Realizar constantemente mediciones comparativas de desempeño en los procedimientos de mantenimiento, para poder identificar las buenas prácticas y poder monitorear el progreso hacia los objetivos específicos establecidos por la organización. Con esto se logra identificar áreas con debilidades, prácticas deficientes y oportunidades de mejora.
4. Utilizar los manuales de mantenimiento proporcionados por el fabricante de los motores diésel para la selección y utilización del lubricante apropiado según las características y condiciones de operación de cada motor.
5. Identificar condiciones severas en la operación propia de cada uno de los equipos y motores diésel, para poder determinar si existe la necesidad de llevar a cabo intervalos de mantenimiento más frecuentes para poder alcanzar la vida útil para la que fue diseñado y obtener así el máximo rendimiento.
6. Mantener un monitoreo de los indicadores de reparación, tales como incremento en el consumo de aceite, contrapresión del cárter del motor, horas de servicio y otros, esto ayudará a tomar la decisión correcta acerca del momento en el que se debe realizar una reparación mayor en motores diésel.

7. Realizar reparaciones programadas antes de que ocurra una falla, ya que esto garantizará menores costos de reparación, además, no impacta la producción con tiempos muertos debido a paradas no programadas en los equipos.

Al personal de entrenamiento de servicio:

1. Brindar capacitación constante al personal de servicio para que puedan realizar en forma eficaz las rutinas de mantenimiento establecidas por la organización, como también las evaluaciones, análisis, diagnóstico y reparaciones en los motores diésel.
2. Brindar capacitación periódica al personal de servicio sobre la correcta utilización de los manuales de servicio, para asegurarse de que entiendan los procedimientos que allí se detallan.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Caterpillar. *Engine final inspection checklist on highway engine*. [en línea]. [dealer.cat.com/cda/layout?m=74920&x=7](http://dealer.cat.com/cda/layout?m=74920&x=7) [Consulta: 13 de enero de 2012].
2. \_\_\_\_\_. *Equipment safety for the mining industry*. [en línea]. <https://mining.cat.com/cda/layout?m=122564&x=7>. [Consulta: 13 de enero de 2012].
3. \_\_\_\_\_. *Off-highway truck engine specification 777D*. [en línea]. [tmiwebclassic.cat.com/tmi/servlet/cat.edis.tmiweb.gui.TMIDirector?Action=openwindow&refno=agc01525&selection=Serial%20Number&unitType=E&system=SIS%20Web](http://tmiwebclassic.cat.com/tmi/servlet/cat.edis.tmiweb.gui.TMIDirector?Action=openwindow&refno=agc01525&selection=Serial%20Number&unitType=E&system=SIS%20Web). [Consulta: 06 de mayo de 2012].
4. \_\_\_\_\_. *Off-highway truck, powered by 3508B engine 777D*. Número de publicación SEBP3016-99. Publicación del 01 de enero de 2012.
5. \_\_\_\_\_. *Off-highway truck safety features*. [en línea]. [safety.cat.com/cda/layout?m=355675&x=7](http://safety.cat.com/cda/layout?m=355675&x=7). [Consulta: 20 de marzo de 2012].
6. \_\_\_\_\_. *Operation and maintenance manual 3508B industrial engines*. Número de publicación SEBU7465-05. Publicación del 01 de agosto de 2009.

7. \_\_\_\_\_.*Operation and maintenance manual 777D off-highway truck*. Número de publicación SEBU7269-09. Publicación del 01 de noviembre de 2008.
8. \_\_\_\_\_.*Product configuration*. [en línea]. [sims.cat.com/sims/simsi/index.jsp](http://sims.cat.com/sims/simsi/index.jsp). [Consulta: 12 de mayo de 2012].
9. \_\_\_\_\_.*Reuse and salvage guidelines contents for 3500 series volume 1*. Número de publicación SEBF8203-37. Publicación del 11 de abril de 2012.
10. \_\_\_\_\_.*Special instruction know your cooling system*. Número de publicación SEBD0518-10. Publicación del 07 de febrero de 2012.
11. \_\_\_\_\_.*Special instruction oil and your engine*. Número de publicación SEBD0640-04. Publicación del 07 de abril de 2010.
12. \_\_\_\_\_.*Systems operation 3500B engines for 776D, 777D, 784C, 785C, 789C, 793C and 793D off-highway trucks*. Número de publicación SENR1123-15. Publicación del 01 de octubre de 2010.
13. \_\_\_\_\_.*Truck engine and related systems 777D*. [en línea]. [sisweb.cat.com/sisweb/servlet/cat.cis.sis.PController.CSSISConfigServlet](http://sisweb.cat.com/sisweb/servlet/cat.cis.sis.PController.CSSISConfigServlet). [Consulta: 28 de noviembre de 2011].
14. *Concepto de trabajo*. [en línea]. [sobreconceptos.com/trabajo](http://sobreconceptos.com/trabajo). [Consulta: 22 de marzo de 2012].

15. *Curso de inyección para sistemas EUI.* [en línea]. <http://www.scribd.com/doc/53254599/Curso-de-Inyeccion-Dlr-EUI-HEUI-CATERPILLAR>. [Consulta: 01 de abril de 2012].
16. *Historia.* [en línea]. [www.publicamion.com.co/historia-de-las-marcas/camiones-caterpillar.html](http://www.publicamion.com.co/historia-de-las-marcas/camiones-caterpillar.html). [Consulta: 26 de noviembre de 2011].
17. *Manual de línea de productos Caterpillar.* Departamento de Entrenamiento, Gentrac. Publicación de 2009.
18. *Mina.* [en línea]. [es.wikipedia.org/wiki/Mina\\_\(miner%C3%ADa\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Mina_(miner%C3%ADa)). [Consulta: 17 de noviembre de 2011].
19. Ministerio de Energía y Minas. *Caracterización de la minería en Guatemala.* Guatemala noviembre de 2004. Primer foro nacional de la minería en Guatemala.
20. *Servicio de taller.* [en línea]. [www.gentrac.com.gt/servicios/servicio-de-taller/](http://www.gentrac.com.gt/servicios/servicio-de-taller/). [Consulta: 18 de febrero de 2012].