

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“DETERMINAR EL ORIGEN DE LA  
FALLA DEL MOTOR DIESEL MARCA  
CATERPILLAR, MODELO 3516B DE UN  
CAMIÓN MINERO DE 218 TON. MODELO  
793C, EMPLEANDO EL ANÁLISIS CAUSA  
RAIZ”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO MECÁNICO**

**MARIO PERCY MATZUNAGA BARRON**

**PROMOCIÓN 1980-II**

**LIMA-PERÚ**

**2009**

## **CONTENIDO**

<b>PRÓLOGO</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS CATERPILLAR DE MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>	<b>6</b>
2.1. Clasificación	6
2.1.1. Para excavar y trasladar la carga	7
2.1.2. Para excavar en posiciones fijas sin desplazarse	8
2.1.3. Para acarreo o transporte de material	9
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DIESEL CATERPILLAR</b>	<b>11</b>
3.1. Descripción y funcionamiento	11
3.2. Sistemas de los motores diesel Caterpillar	13
3.2.1. Sistema de admisión y escape	13
3.2.2. Sistema de alimentación de combustible	15
3.2.3. Sistema de lubricación	16
3.2.4. Sistema de enfriamiento	17

3.2.5.	Sistema eléctrico	18
3.3.	Clasificación de los motores diesel	19
3.3.1.	Por la disposición constructiva de los cilindros	19
3.3.2.	Por el sistema de arranque	19
3.3.3.	Por su sistema de admisión y escape	20
3.3.4.	Por el combustible	21
3.3.5.	Por la inyección de combustible	21
3.3.6.	Por el sistema de enfriamiento	22

## **CAPÍTULO IV**

TIPOS DE FALLAS MÁS COMUNES EN LOS MOTORES DIESEL	23
4.1. Tipos de fallas	23
4.2. Desgastes Anormales	23
- Desgaste por abrasión	24
- Desgaste por adherencia	25
- Desgaste por erosión	25
- Desgaste por erosión por cavitación	26
- Desgaste por fatiga por esfuerzos de contacto	26
- Desgaste por corrosión	27
- Desgaste por corrosión por rozamiento	28
4.3. Fracturas	28
4.3.1. Clasificación de las fracturas	30
- Fracturas frágiles	30
- Fracturas dúctiles	31

- Fracturas por fatiga	32
- Tipos de fracturas por fatiga	34

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS CAUSA RAÍZ COMO HERRAMIENTA INVALUABLE PARA**

#### **DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE MOTORES DIESEL** 37

5.1. Incidentes apoyados en los hechos	39
5.2. Métodos de diagnóstico	41
5.2.1. Método de los 5 Porques	41
5.2.2. Método de las 5 M	42
5.2.3. Método de la lluvia o tormenta de ideas	42
5.2.4. Método del diagrama Causa - Efecto	43
5.3. Análisis lógico en la eliminación de variables no relacionados con la causa raíz de la falla	45
5.4. Aplicación del análisis de falla que permita identificar la causa raíz	47
5.5. Procedimiento para identificar las fallas en los motores diesel	51

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE LA FALLA DEL MOTOR DIESEL**

#### **CATERPILLAR, MODELO 3516B, INSTALADO EN UN CAMIÓN**

#### **MINERO DE 218 TON. MODELO 793C.** 55

6.1. Datos técnicos del motor	55
6.2. Recopilar antecedentes e incidentes apoyado por lo hechos	56
6.2.1. Reporte de la falla	56

6.2.2.	Historial de mantenimientos	56
6.2.3.	Reportes electrónicos	58
6.2.4.	Historial de los análisis de las muestras de aceite	61
6.3.	Inspección ocular de las partes dañadas del motor	62
6.4.	Evaluación y pruebas de las partes relacionadas con la falla	68
6.5.	Análisis causa raíz de la falla	70
6.6.	Costo aproximado de la reparación	74
6.7.	Recomendaciones	74
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>75</b>

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

- ANEXO 01: LÍNEA DE PRODUCTOS CATERPILLAR.
- ANEXO 02: ESQUEMAS DE LAS MARCAS EN LAS SUPERFICIES DE LAS FRACTURAS POR FATIGA Y DE LAS FALLAS POR FATIGAS EN EJES– ASM HANDBOOK.
- ANEXO 03: EVALUACIONES DIMENSIONALES DE PARTES DEL MOTOR DIESEL CATERPILLAR 3516B, INSTALADO EN UN CAMIÓN MINERO DE 218 TON. MODELO 793C.
- ANEXO 04 : RELACIÓN VALORIZADA DE LOS REPUESTOS PARA LA REPARACIÓN DEL MOTOR DIESEL CATERPILLAR 3 516B, INSTALADO EN UN CAMIÓN MINERO DE 218 TON.

## PRÓLOGO

Éste es el informe de un tratado elemental escrito para personas que no necesariamente tienen amplios conocimientos científicos. Su objeto es proporcionar conocimientos básicos de valor práctico que conduzcan a identificar la causa que origina una falla en los motores de una máquina de movimiento de tierras, sin recurrir a la física, química y matemáticas avanzadas. Sólo se requiere que el lector tenga conocimientos elementales de fabricación de metales, de resistencia de materiales y del funcionamiento de un motor de combustión interna, que son suficientes para entender el tema. La teoría y el desarrollo de los temas explicarán el propósito y las razones del proceso que seguimos para la identificación de las fallas en los motores de combustión interna. En resumen, éste informe se ha preparado para estudiantes y profesionales en ingeniería que no necesariamente han tomado cursos de química, mecánica o matemáticas avanzadas; pero que coadyuvará a comprender mejor la teoría del análisis de falla.

El informe se basa en la metodología de trabajo del Laboratorio de Análisis de Fallas de la compañía Ferreyros S.A.A., el cual consta de los siguientes capítulos:

**CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.-** Se hace una breve reseña del crecimiento de la minería y de la construcción en el Perú, lo que ha redundado en un incremento del parque de maquinarias de movimiento de tierras, y por ende en la ocurrencia de mayores fallas

que resolver en sus motores. También se hace una breve reseña de la empresa Ferreyros SAA.

**CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS CATERPILLAR DE MOVIMIENTO DE TIERRAS.-** Se hace una breve descripción del significado de movimiento de tierras, y se detalla la clasificación y descripción de las máquinas de movimiento de tierras, con ilustraciones indicando sus componentes o partes principales.

**CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DIESEL CATERPILLAR.-** Se describe el funcionamiento de los motores diesel y de sus sistemas, ilustrándolos con esquemas de sus partes constitutivas. Luego, brevemente se describe como se clasifican los motores diesel Caterpillar de acuerdo a su diseño, fabricación y/o sistemas.

**CAPÍTULO IV: TIPOS DE FALLAS MÁS COMUNES EN LOS MOTORES DIESEL.-** Se mencionan, describen e ilustran las diversas formas de desgastes y fracturas, que se presentan en las partes metálicas de los motores diesel.

**CAPÍTULO V: ANÁLISIS CAUSA RAÍZ COMO HERRAMIENTA INVALUABLE PARA DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE MOTORES DIESEL.-** Se desarrolla el concepto de análisis de falla y de los diversos aspectos que conducirán a identificar la causa raíz de la falla, como; la recolección de hechos, los métodos de diagnóstico, el enfoque para descartar las partes que no están relacionados con la falla y los pasos que Caterpillar ha desarrollado para la aplicación del análisis de falla.

Finalmente se describe el procedimiento que se utiliza en el Laboratorio de Análisis de Falla de la empresa Ferreyros SAA, para identificar la causa raíz más probable de una falla.

**CAPÍTULO VI: ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE LA FALLA DEL MOTOR DIESEL CATERPILLAR MODELO 3516B, INSTALADO EN UN CAMIÓN MINERO DE 218 TON., MODELO 793C.-** Se presenta un caso real de la elaboración de un análisis de falla aplicando los conceptos y procedimientos previamente descritos en el presente informe, e incluyendo el estimado de los costos de la reparación y las recomendaciones para evitar que vuelva a repetirse la falla.

**CONCLUSIONES.-** Se indican los efectos y beneficios que se derivan de identificar apropiadamente las causas más probables de las fallas, que conllevan a desarrollar acciones para mejorar el monitoreo, mantenimientos preventivos y seguimiento a la operación de los motores de las máquinas de movimiento de tierras.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

El crecimiento sostenido que viene experimentándose en el Perú en el rubro de la minería, así como en la construcción de viviendas y carreteras, han conllevado a crear oportunidades de mejorar la calidad de vida de las comunidades no urbanizadas con mayores obras aún; lo que a la vez se ve reflejado en mayores adquisiciones, recuperaciones y usos de las máquinas de movimientos de tierras y de la construcción.

Si bien es cierto que ha aumentado considerablemente el uso de las máquinas, también han incrementado los problemas de mantenimiento y de fallas al no contarse con el suficiente personal técnico especializado para atender y corregir oportuna y definitivamente la variedad de problemas que se presentan en los diferentes sistemas de las máquinas (motores, hidráulicos, transmisiones, electrónicos, etc.).

Ante estos hechos; nos vemos en la urgente necesidad de brindar los aportes técnico-económicos para minimizar o eliminar el índice de fallas repetitivas que se presentan en los motores diesel de las máquinas de movimiento de tierras, mediante una metodología ordenada para evaluar la información, eventos y hechos presentes en los componentes fallados, a fin de determinar la causa raíz que originó la falla; de tal modo de emitir y plantear las medidas correctivas y preventivas que deberán llevarse a cabo para que la

falla no vuelva a repetirse; incrementando así la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia operativa de las máquinas; que redundará en mejores beneficios económicos para los propietarios y sus trabajadores.

Para ello se ha tomado como referencia los procesos y procedimientos de trabajos que se llevan a cabo en el laboratorio de Análisis de Fallas, de la División de Soporte al Producto de la empresa Ferreyros S.A.A.; que es una empresa de bienes de capital con 86 años de vida institucional, en la cual una de sus líneas comerciales es la venta de máquinas de movimiento de tierras, motores y repuestos de la marca Caterpillar; la cual se complementa y soporta con otra de reparaciones.

Ferreyros S.A.A. desde hace 66 años es el distribuidor en el Perú de la maquinaria y equipos marca Caterpillar; la cual a su vez es una empresa mundial dedicada a la investigación, desarrollo, fabricación y servicios post-venta de maquinaria para la minería, naval, construcción, energía, agricultura y forestación.

El tema se ha desarrollado tomando en cuenta aspectos técnicos, prácticos y de experiencia adquirida en los trabajos de mantenimientos y en la solución de los problemas y/o fallas en los motores de las máquinas y equipos Caterpillar, que pueden servir de marco referencial para los estudiantes y profesionales en ingeniería mecánica, para la investigación y análisis de la causa raíz de fallas en los motores diesel.

Finalmente se desarrollará un caso real de una falla del motor Caterpillar modelo 3516B, de un camión minero de 218 ton. modelo 793C.

## **CAPÍTULO II**

### **DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS**

#### **CATERPILLAR DE MOVIMIENTOS DE TIERRAS**

El movimiento de tierras son conjuntos de operaciones que se realizan en los terrenos naturales, a fin de modificar la naturaleza o aportar materiales útiles en las obras públicas, minería o industria.

En los casos más generales, las operaciones del movimiento de tierras son: Excavaciones o Arranque, Carga, Acarreo, Descarga, Extendido, Compactación y Servicios Auxiliares (rellenos, refinados, etc.); y que para su ejecución se requieren de diversas maquinarias, preparadas para dichas operaciones.

Las máquinas para movimientos de tierras son en general equipos autopropulsados, algunas de las cuales pueden efectuar más de una de las operaciones antes mencionadas.

Ver en el Anexo 01 información de la línea de productos Caterpillar (que incluye las máquinas de movimientos de tierras).

**2.1. Clasificación:** de acuerdo al tipo de operación a realizar se clasifican en los siguientes grupos:

**2.1.1. Para excavar y trasladar la carga:** son máquinas que efectúan las excavaciones o arranque de material al desplazarse; o sea, en excavaciones superficiales o en bancos; entre los cuales tenemos, los/las:

- Tractores: son máquinas que se trasladan sobre orugas (Fig. 2-1) o sobre ruedas. Remueven y empujan material con su cuchilla frontal. Su eficiencia se limita a desplazamientos de cortas distancias.

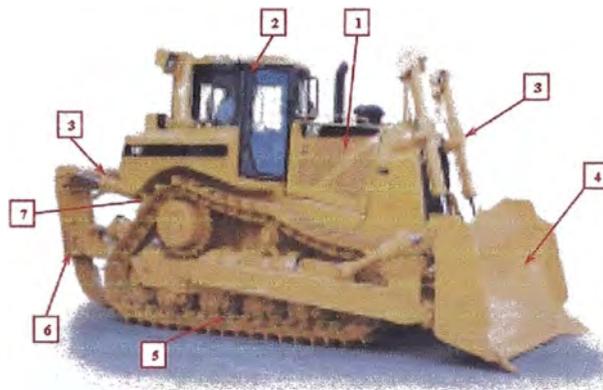


Fig. 2-1. Partes básicas de un tractor de orugas. (1) Motor. (2) Cabina del operador. (3) Cilindros hidráulicos. (4) Hoja. (5) Tren de rodaje. (6) Desgarrador. (7) Transmisión.

- Motoniveladoras (Fig. 2-2): Son máquinas diseñadas para realizar simultáneamente el arranque, transporte y extendido de tierras; así como, perfilar los taludes tanto de rellenos como de cortes.

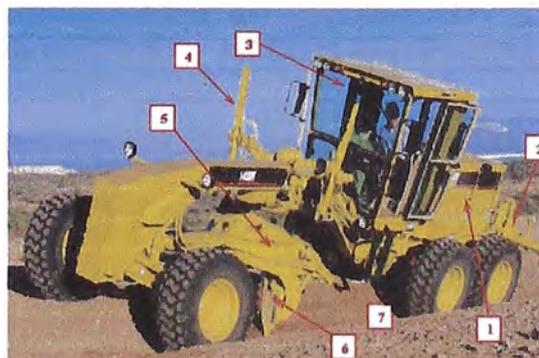


Fig. 2-2. (1) Motor. (2) Escarificador. (3) Cabina del operador. (4) Cilindros. (5) Círculo de la cuchilla. (6) Cuchilla. (7) Transmisión.

- Cargadores frontales (Fig. 2-3): Se utilizan para remover tierra relativamente suelta y cargarla en vehículos de transporte. Generalmente son articulados para permitir maniobras en un espacio reducido.



Fig. 2-3. (1) Motor. (2) Cabina del operador. (3) Cilindros hidráulicos. (4) Cucharón. (5) Transmisión

- Retroexcavadora (Fig. 2-4): Realizan la función combinada de la excavadora y el cargador frontal, pero para volúmenes reducidos de carga.



Fig. 2-4. (1) Motor. (2) Cabina del operador. (3) Cilindros hidráulicos. (4) Cucharón de la excavadora. (5) Cucharón del cargador.

**2.1.2. Para excavar en posiciones fijas, sin desplazarse:** Realizan excavaciones en desmontes o bancos. Cuando la excavación sale fuera de su alcance, el conjunto de la máquina se traslada a una nueva posición de trabajo, pero no excava durante este desplazamiento; y entre los cuales tenemos las:

- **Excavadoras hidráulicas:** Son máquinas sobre orugas (Fig. 2-5) o de ruedas accionadas por mando hidráulico, adecuadas para excavaciones en terrenos flojos y carga de material sueltos, en camiones o dumper.

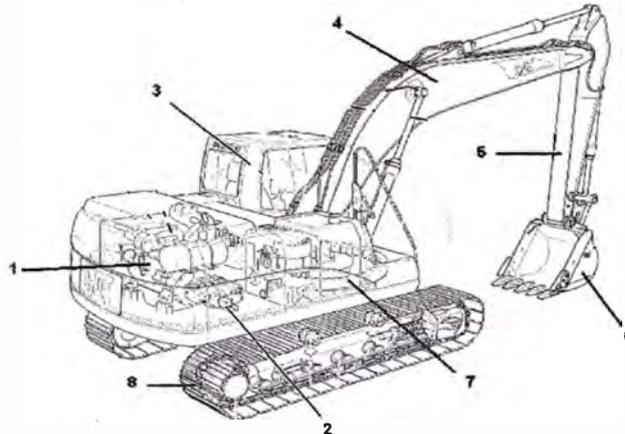


Fig. 2-5. (1) Motor. (2) Bomba hidráulica. (3) Cabina del operador. (4) Pluma. (5) Brazo. (6) Cucharón. (7) Tornamesa. (8) Tren de rodaje.

- **Palas mecánicas (Fig. 2-6):** Similares a las excavadoras sobre orugas, pero de mayor capacidad de carga.



Fig. 2-6. Pala mecánica cargando un camión de gran tonelaje.

**2.1.3. Para acarreo o transporte de material:** Transportan el material excavado a un vertedero o al lugar donde se utilizará; entre los cuales tenemos, los:

- Camiones volquetes (Fig. 2-7): Vehículos de tolva descubierta, limitado por cargas menores de 13 ton. por eje .



Fig. 2-7. (1) Motor. (2) Cabina del operador. (3) Tolva. (4) Transmisión.

- Camiones fuera de carretera: Vehículos de tolva basculante (Fig. 2-8 a y b), muy reforzada, para traslados de cargas de gran capacidad y que soportan cargas bruscas, terrenos accidentados, etc.

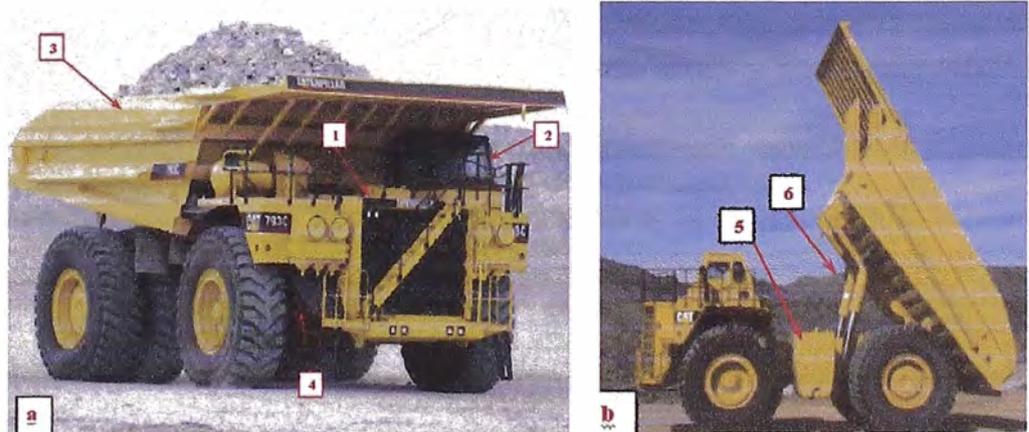


Fig. 2-8 a y b. Partes básicas del camión. (1) Motor. (2) Cabina del operador. (3) Tolva. (4) Convertidor de torque y transmisión. (5) Tanque hidráulico. (6) Cilindros hidráulicos.

# **CAPÍTULO III**

## **DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DIESEL**

### **CATERPILLAR**

#### **3.1. Descripción y funcionamiento**

Los motores diesel o de encendido por compresión, son motores térmicos de combustión interna en el cual el encendido se logra cuando se inyecta el combustible diesel pulverizado en una cámara de combustión (interior del cilindro) que contiene aire a temperaturas ambiente o elevada producida por la compresión.

La unidad básica del motor es el pistón, que se mueve hacia arriba y hacia abajo dentro de un cilindro. A medida que el aire se comprime dentro del cilindro, se inyecta combustible sobre la parte superior del pistón. A alta presión, el combustible se mezcla con el aire caliente y se inflama, causando la combustión. La fuerza de la combustión empuja hacia abajo el pistón y la biela, el cual efectúa el movimiento oscilante haciendo girar el cigüeñal y a la volante; transformándose así la energía química del combustible en energía mecánica, que es la que impulsa a los otros componentes de las máquinas (transmisión, sistema hidráulico, diferencial, mandos finales y ruedas).

Los motores diesel Caterpillar para las máquinas de movimientos de tierras son de 4 tiempos de ciclos de trabajo, en los que el ciclo termodinámico se completa en 4 carreras del pistón y 2 vueltas del cigüeñal; y en el que la renovación de la carga se controla mediante la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape.

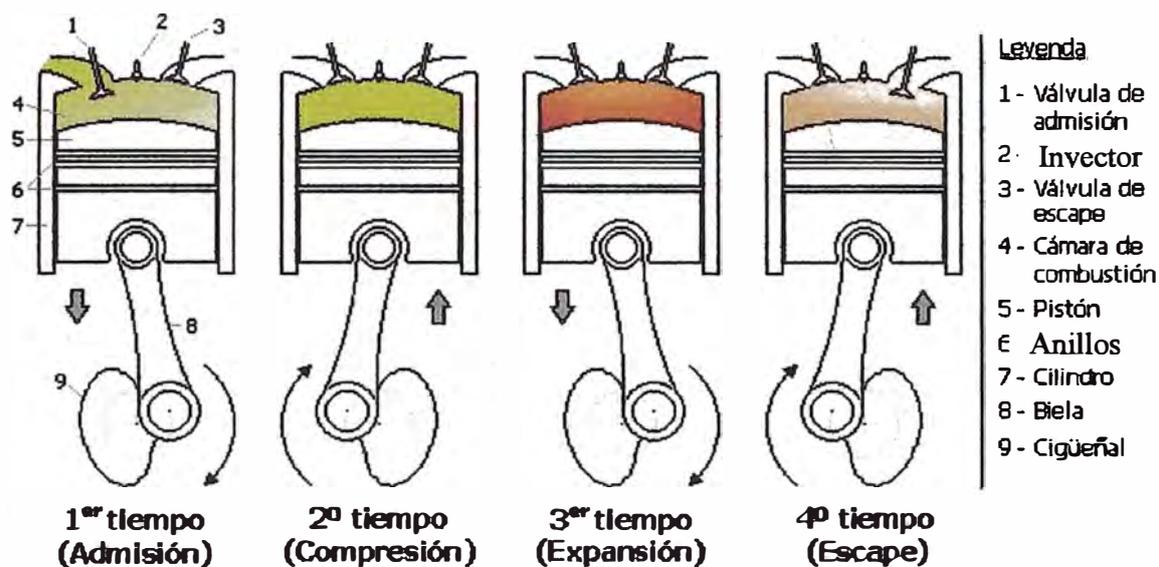


Fig. 3-1. Ciclo de funcionamiento del motor diesel de 4 tiempos.

En el primer tiempo que es la carrera de Admisión, el pistón se mueve hacia abajo aspirando el aire hacia la cámara de combustión. En el segundo tiempo que es la de Compresión, el aire es comprimido a una fracción mínima de su volumen original y la temperatura del mismo aumenta considerablemente hasta unos 537 °C. Cuando el pistón se acerca a la parte superior de su carrera se inyecta combustible, el cual se mezcla con el aire caliente comprimido, produciéndose la combustión. En el tercer tiempo que es la carrera de Expansión (Potencia), la fuerza de la combustión empuja el pistón y la biela, la que hace girar al cigüeñal y a la volante. En el cuarto tiempo que es la carrera de Escape, la fuerza de inercia creada por la rotación de la volante ayuda a continuar con la rotación del cigüeñal que empuja hacia arriba el pistón, forzando la salida de los gases quemados.

**3.2. Sistemas de los motores diesel Caterpillar:** constan de los siguientes sistemas:

**3.2.1 Sistema de Admisión y Escape:** El sistema de admisión de aire suministra aire limpio para la combustión del motor; y el sistema de escape hace salir los gases y el calor de la combustión, e impulsa el turbocargador.

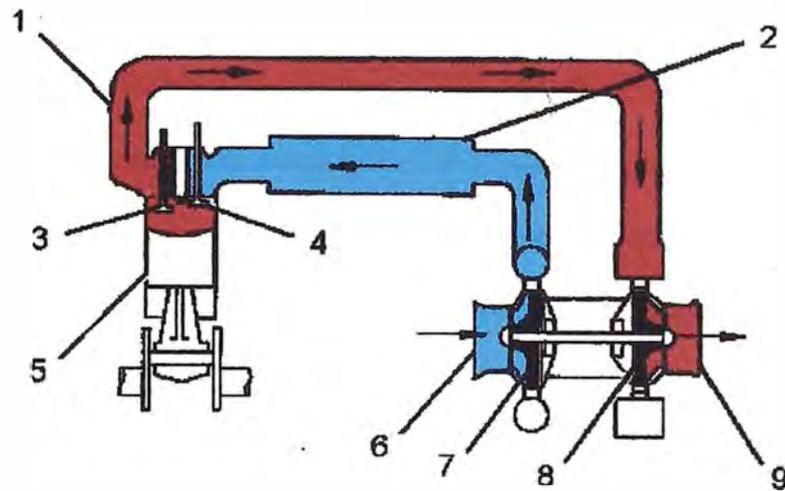


Fig. 3-2. Esquema del sistema de admisión y escape: (1) Múltiple de escape. (2) Enfriador de aire (Aftercooler). (3) Válvula de escape. (4) Válvula de admisión. (5) Cilindro. (6) Ingreso de aire (después del filtro de aire que no se muestra). (7) Rueda del compresor del turbocargador. (8) Rueda de la turbina del turbocargador. (9) Salida del escape (al silenciador).

El funcionamiento se inicia con el ingreso de aire a través del filtro de aire, el cual limpia el aire de las impurezas del ambiente. El aire luego es aspirado por la rueda del compresor del turbocargador.

La rotación de la rueda del compresor del turbocargador comprime el aire limpio e incrementa su presión y temperatura, y lo fuerza a fluir a través del enfriador de aire hacia el múltiple de admisión y hacia las válvulas de admisión en la culata del motor a la temperatura especificada para el buen

funcionamiento del motor. Las válvulas de admisión controlan el flujo de aire hacia cada cilindro del motor.

En cada cilindro hay válvulas de admisión y de escape. Las válvulas de admisión se abren cuando el pistón se mueve hacia abajo en la carrera de admisión. Luego el aire comprimido y enfriado, desde el múltiple de admisión es aspirado hacia el cilindro. La válvula de admisión cierra y el pistón empieza a moverse hacia arriba en la carrera de compresión. Cuando el pistón esta cerca de la parte más alta de la carrera de compresión, el combustible es inyectado dentro del cilindro. El combustible se mezcla con el aire e inicia la combustión. La fuerza de la combustión empuja el pistón hacia abajo en la carrera de potencia. Cuando el pistón se mueve otra vez hacia arriba ésa es la carrera de escape. Las válvulas de escape abren y los gases son empujados a través de las lumbreras de escape hacia el múltiple de escape. Después que el pistón completa la carrera de escape, las válvulas de escape se cierran y el ciclo (admisión, compresión, potencia, escape) se inicia otra vez.

Los gases de escape desde el múltiple de escape van hacia el lado de la turbina del turbocargador y causan que la rueda de la turbina del turbocargador gire. La rueda de la turbina esta conectada al eje que conduce a la rueda del compresor del turbocargador; por lo tanto ambas ruedas giran a la vez. Luego, los gases de escape van hacia afuera de la salida del escape y directo al sistema de escape (tubo de escape, silenciador).

**3.2.2 Sistema de alimentación de Combustible:** Suministra combustible limpio en cada cilindro, en la cantidad adecuada y en el momento preciso para lograr una combustión eficiente y satisfacer la demanda de potencia.

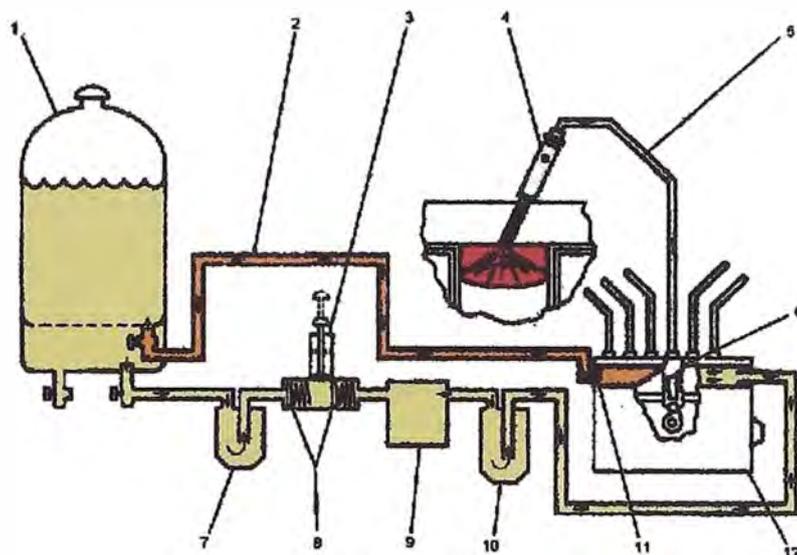


Fig. 3-3. Esquema de un sistema de combustible con inyector mecánico. (1) Tanque de combustible (2) Línea de retorno al tanque de combustible (3) Bomba de cebado (4) Inyector (5) Líneas de inyección de combustible (6) Bomba de inyección (7) Filtro primario (8) Válvula antiretorno (9) Bomba de transferencia (10) Filtro secundario (11) Válvula de purga constante (12) Carcasa de la bomba de inyección.

El funcionamiento se inicia cuando el combustible del tanque de combustible es succionado por la bomba de transferencia a través del filtro primario. De la bomba de transferencia, el combustible es impulsado a presión a través del filtro secundario hacia el múltiple de combustible en la bomba de inyección. Un orificio de purga constante esta en la línea de retorno de combustible, el cual permite un flujo constante de combustible a través de la línea de retorno hacia el tanque de combustible, lo que ayuda a mantener el combustible frío y libre de aire. La bomba de inyección obtiene combustible desde el múltiple de combustible y lo empuja a muy alta presión a través de las líneas de inyección hacia los inyectores.

Cada inyector tiene agujeros muy chicos en la punta que cambian el flujo de combustible a pulverizado muy finos que da buena combustión en el cilindro.

**3.2.3 Sistema de Lubricación:** Cumple 4 funciones principales en el motor; de limpieza, enfriamiento, lubricación y protector anticorrosivo de las piezas.

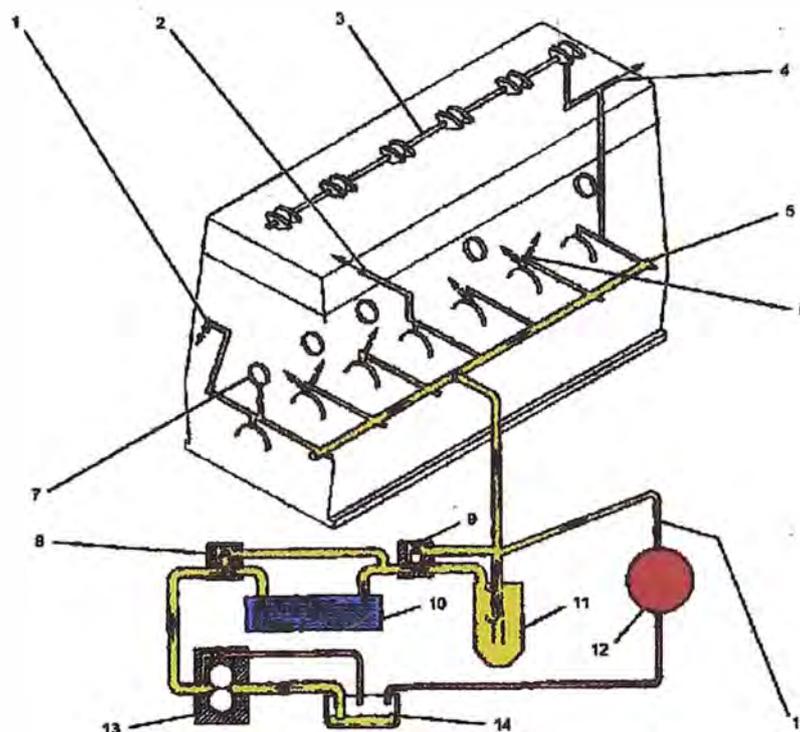


Fig. 3-4. Esquema del sistema de lubricación. (1) Pasaje de aceite hacia el engranaje loco frontal (2) Pasaje de aceite hacia la bomba de inyección (3) Eje de balancines (4) Conexión de presión de aceite (5) Múltiple de aceite (6) Surtidor de enfriamiento del pistón (7) Agujero para los cojinetes del eje de levas (8) Válvula de derivación del enfriador de aceite (9) Válvula de derivación del filtro de aceite (10) Enfriador de aceite del motor (11) Filtro de aceite (12) Turbocargador (13) Bomba de aceite (14) Cárter del motor (15) Línea de suministro de aceite al turbocargador.

El aceite del motor va desde el cárter a través de la campana de succión hacia la bomba de aceite del motor. La bomba de aceite impulsa el aceite hacia el enfriador de aceite del motor y luego hacia el filtro de aceite. Del

filtro, el aceite fluye hacia el múltiple de aceite del monoblock y hacia la línea de suministro de aceite al turbocargador. Luego el aceite es drenado de regreso al cárter a través de la línea de retorno de aceite del turbocargador.

**3.2.4 Sistema de Enfriamiento:** Sirve para mantener las temperaturas del motor a un nivel adecuado, extrayendo y disipando el calor excesivo generado por la combustión y la fricción. También ayuda a mantener la temperatura correcta de la transmisión y del sistema hidráulico de la máquina.

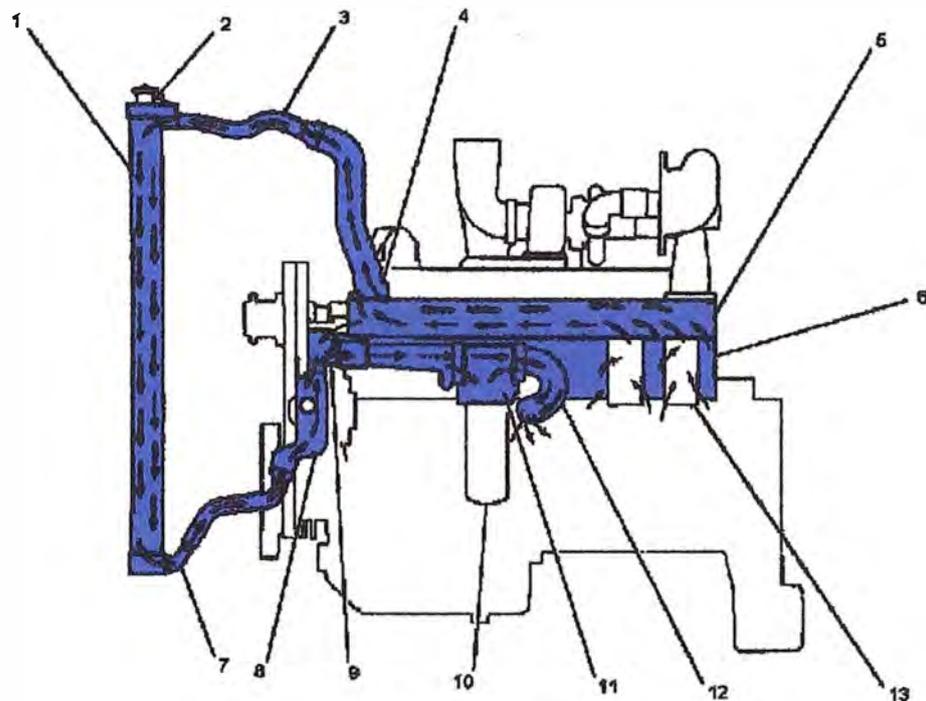


Fig. 3-5. Esquema del sistema de enfriamiento. (1) Radiador (2) Tapa de presión (3) Línea de entrada al radiador (4) Regulador de temperatura del refrigerante (termostato) (5) Culata (6) Bloque (7) Línea de entrada a la bomba de agua (8) Bomba de agua (9) Línea de derivación interna (10) Filtro de aceite del motor (11) Enfriador de aceite (12) Codo (13) Camisas

Estos motores tienen un sistema de enfriamiento presurizado, el cual da 2 ventajas. La primera ventaja es que el sistema de enfriamiento puede tener una operación segura a una temperatura más alta que el normal punto de

ebullición del agua, y la segunda ventaja es que previene la cavitación en la bomba de agua. Con éste tipo de sistema, es más difícil que se formen bolsas de agua o de vapor en el sistema de enfriamiento.

En operación normal (motor caliente) la bomba de agua envía refrigerante a través del enfriador de aceite del motor hacia el monoblock. El refrigerante fluye a través del monoblock hacia la culata y luego va hacia el regulador de temperatura (termostato). Cuando el termostato está abierto, el refrigerante a través de una manguera de salida ingresa al radiador donde el refrigerante es enfriado. Cuando el refrigerante llega al fondo del radiador, éste fluye a través de una manguera a la entrada de la bomba de agua,

Cuando el motor está frío, el termostato está cerrado y el refrigerante no fluye hacia el radiador. Entonces el refrigerante va desde la carcasa del termostato de regreso a la bomba de agua a través de la línea de derivación.

En un motor con enfriador de aire, un tubo va desde la bomba de agua hacia la entrada del enfriador de aire para suministrarle el refrigerante necesario. Este refrigerante va a través del enfriador de aire y regresa al monoblock.

**3.2.5 Sistema Eléctrico:** La función principal es arrancar el motor. La función secundaria es suministrar electricidad para las luces, indicadores y componentes eléctricos de la máquina.

Los componentes principales son: Batería, alternador, motor de arranque.

### **3.3. Clasificación de los motores diesel:**

Los motores diesel pueden fabricarse en muchas configuraciones, pero para la mayoría, los componentes y las condiciones de operación son los mismos: altas temperaturas, cargas y esfuerzos elevados y largas horas de servicio esperadas.

Los motores diesel Caterpillar para máquinas de movimientos de tierras se fabrican con potencias desde 13 kW (miniexcavadoras Caterpillar modelo 301.5), hasta 2,513 kW (camiones mineros de 320 toneladas, modelo 797B). Ver Anexo 01

Los motores diesel Caterpillar se clasifican como sigue:

#### **3.3.1 Por la disposición constructiva de los cilindros:**

**En línea vertical:** los cilindros están ubicados uno a continuación del otro, alineados horizontalmente y que trabajan verticalmente. Pueden ser de 4, 6 y 8 cilindros, en función de la potencia del motor.

**En V :** los cilindros están ubicados a 90°, unos a la izquierda y los otros a la derecha. Pueden ser de 8, 12, y 16 cilindros, en función de la potencia y espacio de instalación del motor.

**3.3.2 Por el sistema de arranque:** el motor para arrancar requiere que se provoque el movimiento giratorio del cigüeñal, para que así pueda iniciar el ciclo de trabajo. Entre los cuales se tiene el:

- **Sistema de arranque eléctrico:** se realiza mediante un motor eléctrico cuya fuente de energía son las baterías, y que transmiten el giro al cigüeñal a través de un piñón que engrana con los dientes del engranaje de la volante que va acoplada al cigüeñal.
- **Sistema de arranque neumático:** se efectúa mediante un motor accionado por aire cuya fuente de energía es el compresor de aire, y que transmite el giro al cigüeñal a través de un piñón que engrana con los dientes del engranaje de la volante que va acoplada al cigüeñal.

**3.3.3 Por su sistema de admisión y escape:** en función de la potencia del motor pueden ser:

- **De aspiración natural:** el llenado de aire a los cilindros es realizado por la aspiración natural del pistón al hacer vacío durante su carrera de admisión y a la presión atmosférica.
- **Sobrealimentados:** son motores que están dotados de turbocargadores, los cuales son accionados por los gases de escape y a través del compresor fuerzan el ingreso de aire a los cilindros a una presión mayor a la presión atmosférica.
- **Sobrealimentados y posenfriados:** constan de turbocargadores y posenfriadores para enfriar el aire de admisión. Los tipos de posenfriadores que se usan son: Por agua de las camisas (JWAC - Jacket

Water After Cooling), Aire a aire (ATAAC – Air To Air After Cooling) y de Circuito independiente (SCAC – Separate Circuit Alter Cooling).

**3.3.4 Por el combustible:** pueden ser,

- **Diesel;** que es un combustible destilado del petróleo crudo. Los motores diesel funcionan comprimiendo aire en el cilindro, al cual se le inyecta el combustible atomizado, produciéndose la combustión. La temperatura que se alcanza por la alta compresión es de 600 a 700 °C.
- **Otros;** como a gas, a gasolina, etc.; pero que no se aplican en los motores Caterpillar para máquinas de movimientos de tierras

**3.3.5 Por la inyección de combustible:** son de

- **Bomba de inyección, líneas e inyectores:** inyecta directamente el combustible pulverizado en la cámara de combustión, a través de la boquilla de los inyectores.
- **Inyector-bomba unitarios:** inyecta el combustible a mayor presión; no requiere de bomba de inyección y son de 3 tipos:
  - Activados y Controlados Mecánicamente (MUI – Mechanical Unit Inyector); mediante mecanismo de varillajes.

- Activados Mecánicamente y Controlados Electrónicamente (EUI – Electronic Unit Injector): requieren de un solenoide.
  
- Activados Hidráulicamente y Controlados Electrónicamente (HEUI – Hydraulic Electronic Unit Injector): requieren de una bomba hidráulica y un solenoide.

### 3.3.6 Por el sistema de enfriamiento: pueden ser

- **Convencional:** Transfiere el calor del refrigerante al aire. El flujo de refrigerante recorre todas las galerías internas del motor sustrayendo el calor excedente producto de la combustión y de las partes en movimiento, el cual luego es transferido al aire. Consiste de bomba de agua, termostato y radiador.
  
- **Sistema Avanzado de Enfriamiento Modular (AMOCS):** utiliza un sistema de dos pasadas del refrigerante por el radiador incrementando el área de transferencia de calor. Consiste de un radiador con núcleos modulares conectados a un solo reservorio y no tiene un tanque superior a remover.
  
- **Con intercambiador de calor:** Transfiere el calor del refrigerante a una fuente de refrigerante externo, como el enfriador de quilla (en aplicaciones marinas, donde el enfriador de quilla esta en contacto con el agua de mar, río, etc.), mazo de tubos o torres de enfriamiento.

## **CAPÍTULO IV**

### **TIPOS DE FALLAS MÁS COMUNES EN LOS MOTORES DIESEL**

#### **4.1. Tipos de fallas:**

Las fallas más comunes que se presentan en las partes de los motores diesel para máquinas de movimientos de tierras Caterpillar son debido a:

Desgastes Anormales.

Fracturas.

#### **4.2. Desgastes Anormales**

Es la pérdida progresiva del material de la superficie debido al movimiento relativo y el contacto entre superficies, y que han sobrepasado los límites permitidos de un desgaste gradual para los que han sido diseñados, cuando están funcionando, almacenados o en el transporte.

Al observar las piezas desgastadas es necesario determinar y anotar: donde se encuentra el desgaste, que tipo de desgaste se ha producido y que carga o condición de trabajo lo ha ocasionado.

Hay muchos tipos de desgastes, pero los más comunes que explican la gran mayoría de fallas por desgaste anormal en los equipos Caterpillar son 7:

- **Desgaste por Abrasión:** se producen cuando partículas duras y más grandes que la película de lubricante, sobresalen de un cuerpo de la superficie más dura (Fig. 4-1.) o se introducen (Fig. 4-2.) entre dos superficies móviles. Ésas partículas cortan las superficies blandas, las rayan y producen desechos secundarios.

Ejemplo de partículas abrasivas son: las virutas de acero, de aluminio, restos de pintura, tierra y otros materiales extraños duros.



Fig. 4-1. Desgaste abrasivo entre 2 cuerpos.



Fig. 4-2. Desgaste abrasivo entre 3 cuerpos.

A continuación superficies de partes de motor con desgastes abrasivos.



Fig. 4-3. Cojinete de bancada .



Fig. 4-4. Cojinetes de turbocargador

- **Desgaste por Adherencia:** es el que más rápido se desarrolla y se produce cuando dos superficies móviles entran en contacto sin adecuada lubricación, ni refrigeración. Al rozar una superficie con la otra generan calor por fricción y elevan la temperatura de la superficie hasta el punto de fusión y se adhieren.



Fig. 4-5. Camisa de pistón



Fig. 4-6. Eje de bomba de aceite

- **Desgaste por Erosión:** se producen cuando los fluidos de movimiento rápido acarrear partículas que chocan contra las superficies a alta velocidad y ocasionan un impacto muy fino y daño por abrasión (Fig. 4-6)

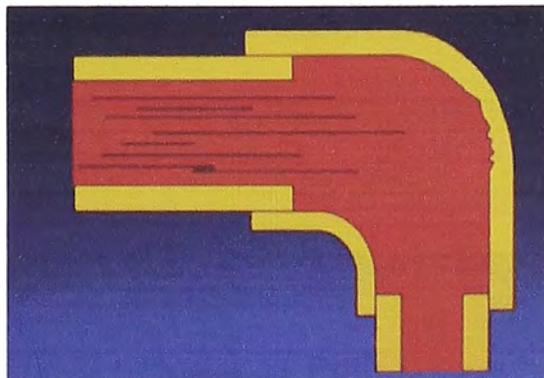


Fig. 4-7. Esquema de como se produce el desgaste por erosión.

- **Desgaste de Erosión por Cavitación:** se produce cuando se revientan (implotan) las burbujas gaseosas que contienen los líquidos, contra las superficies metálicas. Esto ocurre cuando las burbujas entran en las áreas de alta presión, y que al reventar producen un chorro de fluido que da contra las superficies metálicas a velocidades supersónicas. Esto forma a veces grietas finas que se unen entre si hasta que pequeñas partículas se desprenden, dejando el metal con picaduras.

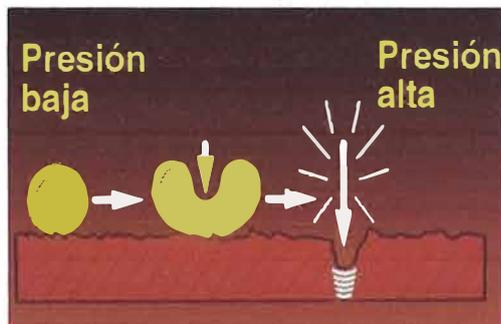


Fig. 4-8. Secuencia de la erosión por cavitación.



Fig. 4-9. Erosión en la camisa del motor

- **Desgaste por Fatiga por Esfuerzos de Contacto:** se produce cuando una superficie se desliza (contacto deslizante) o rueda (contacto por rodadura) contra otra, desarrollando elevados esfuerzos, movimiento de las superficies y grietas por fatiga en una o ambas superficies, con posterior desprendimiento de material.

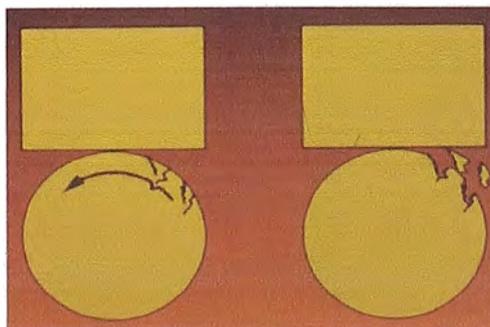


Fig. 4-10. Fatiga por contacto deslizante.

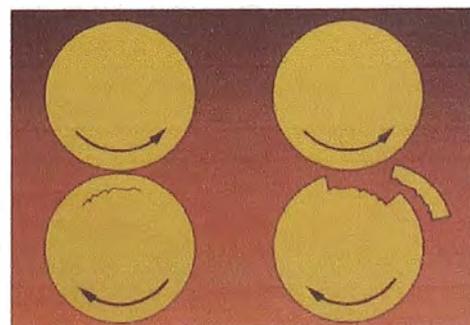


Fig. 4-11. Fatiga por contacto por rodadura

**Desgaste por Corrosión:** se produce por un cambio químico y ocasiona un deterioro de la superficie metálica. Toda corrosión es de naturaleza electroquímica; actividad que requiere de la presencia de un cátodo (área menos activa del metal) y un ánodo (área más activa) rodeados por un electrolito.

A continuación mencionaremos algunos de los tipos de corrosión:

- Corrosión General: se produce cuando un electrólito entra en contacto con el metal.

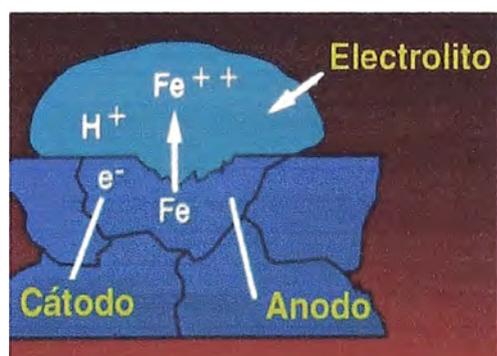


Fig. 4-12. Corrosión general



Fig. 4-13. Corrosión en tapa de biela

- Corrosión Galvánica: se produce cuando 2 metales diferentes están dentro de un electrólito; y la corrosión empezará por el metal más activo (ánodo).

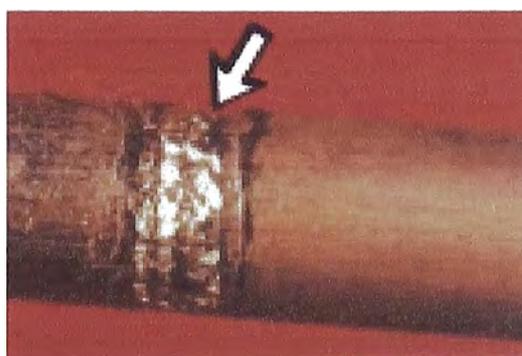


Fig. 4-14. Corrosión en un tubo de cobre del enfriador de aceite.

- Corrosión por Alta Temperatura: se produce cuando la superficie caliente del metal está expuesta al aire y se oxida.



Fig. 4-15. Protector térmico de turbocompresor

- **Desgaste por Corrosión por Rozamiento**: se produce cuando dos piezas que deben encajar exactamente tienen cierto espacio para moverse, produciéndose una soldadura por resistencia en las pequeñas irregularidades de la superficie.

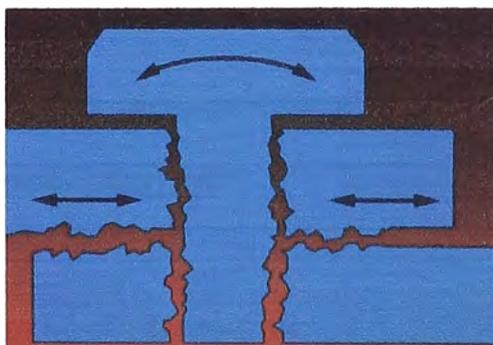


Fig. 4-16. Esquema de como ocurre la corrosión por rozamiento.



Fig. 4-17. Corrosión por rozamiento en una tapa de biela.

### 4.3. Fracturas

Se denominan a las superficies irregulares que se producen cuando las piezas de metal se rompen. La superficie de ruptura tiene características determinadas que a veces son más visibles en una cara que en la otra.

En las fracturas generalmente se tienen en cuenta cinco términos relacionados con ellas:

- **Concentradores de esfuerzos:** son irregularidades físicas que se encuentran en la superficie o en el interior de las piezas, y que incrementan los esfuerzos ya existentes. Irregularidades que pueden ser geométricas (radios de curvatura, cambios de sección, agujeros, etc.), por defecto de material (inclusiones, bolsas de contracción, fisuras, etc.), por defecto de manufactura (solapas de forja, grietas por templado, etc.) y por abuso o mala manipulación (ralladuras, muescas, abolladuras, picaduras, etc.)
- **Puntos de inicio:** son los lugares donde empiezan las grietas o donde comienza a romperse el material. Con frecuencia coinciden con los concentradores de esfuerzos.
- **Fractura final:** es el lugar donde termina la grieta o la última parte donde se rompe el material.
- **Fracturas rápidas:** son producidas por cargas de impacto o sobrecargas; por lo general son ásperas al tacto, y son el resultado de otro factor.
- **Fracturas lentas:** son las producidas por las cargas cíclicas excesivas o la reducción de la resistencia de la pieza; por lo general son suaves al tacto y se asocian con la causa principal.

Las fracturas están asociadas al tipo de carga, entre las cuales tenemos las:

- a) **Sobrecargas:** son cargas grandes rápidamente aplicadas, pero no tan rápidas como las cargas de choque o de impacto.
- b) **Cargas cíclicas:** son cargas repetidas sobre una parte durante su operación y normalmente son mucho más bajas que las cargas de impacto o sobrecargas.

#### 4.3.1 Clasificación de las fracturas: las fracturas pueden clasificarse en:

- **Fracturas Frágiles:** producidas por cargas de impacto o de choque que exceden la máxima resistencia de diseño de la pieza. Por lo general, es resultante y no la causa de la falla; se desarrollan muy rápidamente (se quiebran en una fracción de segundo), son rugosas (ásperas al tacto), oscuras o cristalinas, y con escasas deformaciones plásticas (si juntamos las dos partes, la pieza tendrá el aspecto original) – Ver Fig. 4-18.

En los metales labrados, al rotarlos a la luz, la superficie brillará como los diamantes. Los más blandos tienden a formar espiguillas (chevrons), cuyos vértices indican el punto de inicio; las más duras rara vez lo forman.

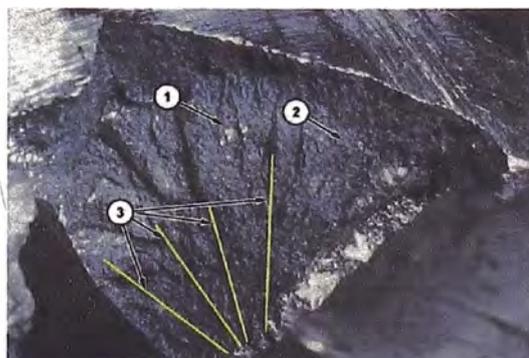


Fig. 4-18. Fractura frágil en la falda de un pistón.  
(1) Rugosa y oscura. (2) Sin deformación plástica.  
(3) Espiguillas.

En los materiales fundidos; la superficie es rugosa, opaca y oscura, casi nunca tiene espiguillas haciendo muy difícil localizar el punto de inicio.



Fig. 4-19. Fractura quebradiza en una pieza de fundición

- **Fracturas dúctiles:** son fracturas rápidas debido a sobrecargas que exceden la máxima resistencia de diseño de la pieza, pero que se producen más lentamente que las frágiles o quebradizas; por lo general son resultantes y no causantes de la falla.

La superficie de ruptura es áspera y oscura, con deformación plástica (la pieza cambia de forma y tamaño) y con labios cortantes (las aristas exteriores de fractura sobresalen); y algunas veces con apariencia leñosa.

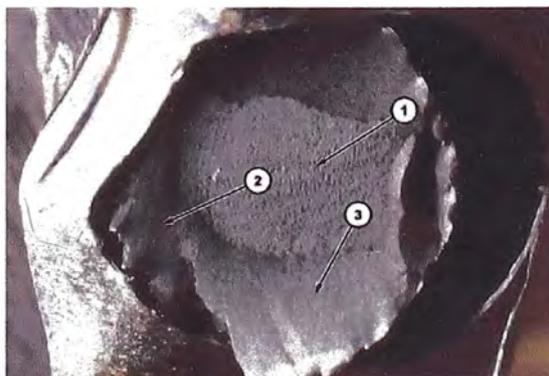


Fig. 4-20. Fractura dúctil en la falda de un pistón.  
(1) Rugosa y oscura. (2) Con deformación plástica.  
(3) labios de corte.

- **Fracturas por Fatiga:** son fracturas lentas que se producen cuando las cargas cíclicas afectan a los concentradores de esfuerzos. El metal no es capaz de tolerar fuerzas localizadas en los granos de dicho concentrador de esfuerzos y forma una o más grietas (marcas de trinquetes (ratchet marks)), y crecen lentamente, dejando marcas semicirculares como las de un “oleaje” (marcas de playa).

Por lo general la superficie de la ruptura es plana, lisa y de color claro, la fractura final puede ser quebradiza o dúctil y son causantes de la falla.

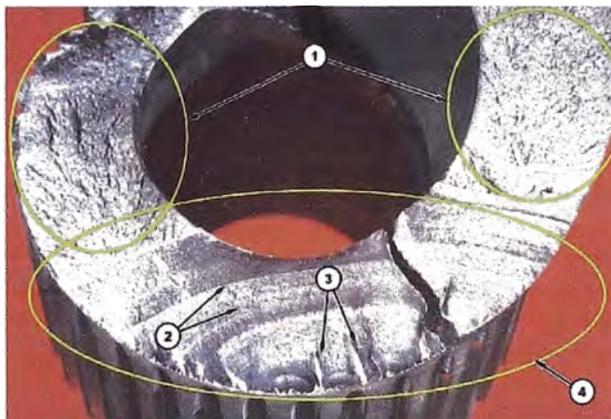


Fig. 4-21. Identificación de una fractura por fatiga.  
 (1) Área de la fractura final. (2) Marcas de playa.  
 (3) Trinquetes. (4) Área de la fractura por fatiga.

Las fracturas por fatiga pueden ser de:

- **Bajos ciclos:** que implican cargas más altas que la normal durante el tiempo que la parte estuvo fallando, y progresan rápidamente. Se caracterizan por presentar en la superficie de fractura:
  - \* Marcas de trinquetes pronunciadas.
  - \* Marcas de playa notorias y distanciadas; y varios puntos de inicio.

- \* Superficie de la fatiga relativamente rugosa.
- \* Fractura final grande.



4-22. Fractura por fatiga de bajos ciclos.

- **Altos ciclos:** implican de bajas a normales cargas durante el tiempo que la parte estuvo fallando, y toman largo tiempo. Se caracterizan por presentar en la superficie de fractura:
  - \* Marcas de trinquetes leves.
  - \* Marcas de playa poco perceptibles en el punto de inicio.
  - \* Superficie de fatiga muy suave y de color gris plata reflectiva.
  - \* Fractura final pequeña.



Fig. 4-23. Fractura por fatiga de altos ciclos.

**Tipos de fractura por fatiga:** los más comunes son:

**Fractura por Fatiga Axial o de Tracción:** son producidas por cargas de tracción. Se inician en varios lugares sobre la superficie y se propagan hacia el interior.



Fig. 4-24. Fractura por fatiga de tracción.

- **Fractura por Fatiga por Flexión:** son producidas por carga de flexión. Se inician en un punto, se propagan a lo largo del eje y se rompen en el punto directamente opuesto.



Fig. 4-25. Fractura por fatiga por flexión.

**Fractura por Fatiga por Flexión Reversible:** se deben a cargas de flexión reversible (alternativo). Se inician en 2 puntos diametralmente opuestos, y se propagan hacia el interior en el mismo plano transversal, con fractura final en el centro de la sección.

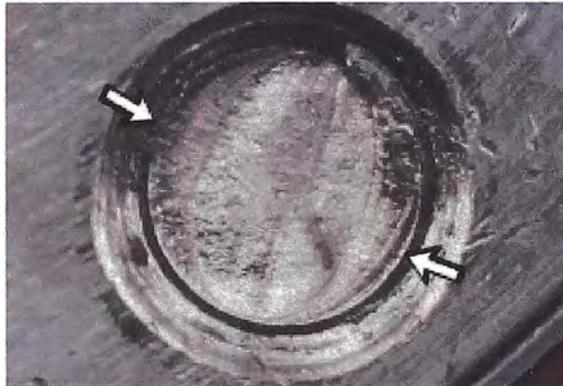


Fig. 4-26. Fractura por fatiga por flexión reversible

**Fractura por Fatiga por Flexión Giratoria:** se deben a cargas de flexión sobre una parte que esta rotando o de una carga giratoria sobre una parte estacionaria. La flexión causa una o más grietas en la superficie, que crece hacia adentro y a través de la sección. La fractura final puede estar en cualquier lugar entre el centro y la superficie de la pieza.



Fig. 4-27. Fractura por fatiga por flexión giratoria.

- **Fractura por Fatiga Torsional:** son producidas por cargas de torsión o de giro.



Fig. 4-27. Fractura por fatiga por torsión.

En el Anexo 02, se presentan diversos esquemas de las marcas características en las superficies de fracturas por fatiga de ejes.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS CAUSA RAÍZ COMO HERRAMIENTA INVALUABLE PARA DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE MOTORES DIESEL

La causa raíz es la condición específica que inició la falla o el problema en un producto, el cual es identificado mediante la aplicación de un análisis de falla.

El análisis de falla es un proceso de inspección cuidadosa y ordenada del producto y de los datos que conducen a la identificación de la causa raíz de la falla y cómo resolverlos o evitar que ocurran. Este proceso es mucho más fácil, si antes que se presenten los problemas nos familiarizamos con la máquina, su historial de mantenimientos y los tipos de fallas.

Para que un producto funcione correctamente depende de tres partes principales: el fabricante, el distribuidor y el usuario. Cada uno tiene responsabilidades de trabajo importantes y específicas que se deben cumplir para que el producto tenga el funcionamiento y rendimiento como se espera.

**El fabricante;** tiene la responsabilidad del diseño y suministro de las partes con los materiales apropiados y del ensamble, así como de compartir con el distribuidor la identificación y corrección de los problemas del producto.

**El distribuidor;** tiene responsabilidades de la venta de las máquinas, del mantenimiento y de la venta de repuestos. Las ventas incluyen asegurar que cada usuario obtenga las pautas apropiadas y que comprenda los requisitos de la instalación, aplicación y mantenimiento del producto; y los de mantenimiento de dirigir análisis rápidos de problemas y su eficaz identificación y corrección.

**El usuario;** es responsable de los mantenimientos, operación, aplicación del producto y de ayudar en la identificación del problema.

Con frecuencia los usuarios no cumplen con las instrucciones que se indican y/o recomiendan en los manuales de operación y mantenimiento, por lo que asistiéndolos oportunamente se les puede ayudar a orientar técnicamente, responder a sus consultas, de tal modo que aseguramos que son conscientes de sus responsabilidades, preparándonos así para analizar las fallas y determinar rápidamente sus causas. Por ello cuando se produce una falla en un producto, su identificación rápida requiere por lo general: previo conocimiento del producto, de la instalación y de las operaciones del usuario; así como de sus prácticas de mantenimiento y de una buena y eficaz comunicación entre el fabricante, distribuidor y usuario.

Una vez producida y reportada la falla, los miembros del equipo de análisis de falla procederán a investigar la falla. Entre los miembros del equipo se encuentran el/los analistas de fallas, el personal de operación y mantenimiento, el personal de línea y de respaldo del distribuidor, y el personal de línea y de respaldo del usuario.

### **5.1. Incidentes apoyados por los hechos**

La recopilación y registro de los datos y hechos reales y no supuestos que estén relacionados con la falla, son de ayuda importante para identificar la causa raíz de la falla.

Los hechos son informaciones que inicialmente han sido percibidos por los sentidos de la visión (documentos de operación, de mantenimientos; fugas de aceite, roturas, etc.), del olfato (aceite cocinado, quemadura de mangueras, etc.), del tacto (alta temperatura, viscosidad del aceite, etc.) y/o del oído (reporte de los operadores y/o mecánicos; golpeteo metálico, zumbido en el turbocompresor, etc.); los que en el menor tiempo posible deberán ser corroborados con cuidadosas pruebas de laboratorio e inspección visual de las informaciones antes mencionadas.

Para obtener todos los hechos necesarios para el análisis de las fallas, es necesario seguir el correcto procedimiento de la inspección visual. Al respecto a continuación presentamos una lista de pasos que ha sido desarrollada por Caterpillar, para éste fin:

**1. Recopilación de antecedentes:** que consiste en obtener los hechos importantes de la información acerca de las reparaciones, mantenimientos, operación y aplicación, a través de :

- **Entrevistas a los operadores, técnicos de mantenimiento y otras personas;** que son los que podrían tener conocimientos de la recepción, arranque inicial y operatividad de la máquina, problemas recientes o reparaciones.

- **Inspecciones del sitio de trabajo;** es recomendable para observar las condiciones ambientales, las del terreno y de los talleres; aplicación de la máquina, calidad de los técnicos de mantenimiento u otros factores que pudieron contribuir a la falla.
  - **Registros escritos;** que complementan y corroboran los detalles de alguna información que no son confiable de la memoria de los entrevistados; para ello, sirve de gran ayuda revisar el archivo de la historia de la máquina, de los registros de mantenimiento y de las reparaciones, ordenes de trabajo e informes de servicio.
2. **Prepararse para inspeccionar las piezas;** que consiste en obtener todas las piezas relacionadas con la falla, preferentemente en el sitio de trabajo donde se produjo la falla o en el taller de mantenimiento donde fue desarmada; identificándolas, localizando su ubicación en la máquina, y finalmente, protegiendo las superficies delicadas de las partes falladas. De éste modo los hechos valiosos no se perderán, ni se destruirán.
3. **Inspeccionar las piezas;** se deben realizar en las condiciones como fueron desarmadas, es decir antes de limpiarlas. Al limpiar las piezas demasiado pronto, se pueden remover información necesaria para ayudar a resolver la falla. El primer examen debe hacerse sin la ayuda de un instrumento de magnificación. Luego necesitará iluminación adecuada para examinar a fondo y observar cuidadosamente todas las superficies tanto por dentro como por fuera, los desgastes, fracturas y otras fallas. Luego, usar un elemento de aumento en las áreas de interés especial y registrar toda la información observada.

4. **Limpiar apropiadamente las piezas;** consiste en decidir limpiar las piezas involucradas en la falla, cuyas superficies pueden contener señales importantes que están escondidas por la suciedad o el aceite, utilizando técnicas apropiadas de limpieza (con material de cerdas suaves y solvente, no con abrasivos, ni con sustancias químicamente corrosivas; y secarlas con aire comprimido), de modo que no se dañen las superficies, ni destruyan los hechos.
5. **Inspeccionar las piezas limpias;** etapa en el cual se vuelven a inspeccionar las piezas con más detalle.
6. **Proteger las piezas para su almacenamiento;** éste es el paso final del procedimiento, en el cual se protegen individual y adecuadamente las piezas para el almacenamiento y/o transporte, evitando así la corrosión, roces y/o golpes.

## 5.2. Métodos de diagnóstico

Son técnicas utilizadas para llevar a cabo un análisis de falla, que ayudan a identificar la causa raíz de un problema y/o falla.

Para resolver un problema y/o falla podemos tener diversas opciones, las cuales tienen diversos grados de impacto en los recursos que se requieren para aplicarlas. Dependiendo de la magnitud se pueden emplear alguno de las siguientes técnicas:

- 5.2.1. **Método de los “ 5 Porqués”:** es una técnica de preguntas y respuestas, utilizada para explorar la relación causa / efecto sobre una falla particular.

El principio de éste método se basa en considerar que al aplicar 5 preguntas, se puede llegar a establecer a un nivel satisfactorio la causa raíz de una falla. Esto no quiere decir que no se pueda continuar haciendo preguntas, sin embargo, la verdadera clave al utilizar esta técnica es fomentar la solución de las fallas, evitando las suposiciones y trampas lógicas en lugar de seguir la cadena de causalidad directa.

**5.2.2. Método de las “ 5 M”:** la aplicación de éste método sigue un orden para considerar las causas de las fallas, partiendo de la premisa que éstas están agrupada según cinco criterios: **Máquina – Mano de Obra – Métodos – Materiales – Medio Ambiente.**

Las 5 M suelen ser generalmente un punto de referencia que abarca casi todas principales causas de un problema, por lo que constituyen los brazos principales del diagrama causa-efecto.

**5.2.3. Método de la Lluvia o Tormenta de Ideas (Brainstorming):** consiste básicamente en que todos los participantes expongan sus ideas, que las mismas sean anotadas, luego comentadas, para finalmente llegar a las conclusiones y mejor solución de las fallas. La idea es que un grupo de gente puede lograr un nivel más alto de la creatividad (de la sinergia), que la suma de los participantes por separado.

**5.2.4. Método del Diagrama Causa-Efecto** : también llamado “Diagrama de Ishikawa“ o “Diagrama de Espina de Pescado” (inventado por el Dr. Kaoru Ishikawa); es una técnica gráfica con apariencia de una espina de pescado, ampliamente utilizada, que permite apreciar con claridad las relaciones entre un problema o falla, y las posibles causas que pueden estar contribuyendo para que ello ocurra.

El análisis de la causa-efecto puede dividirse en 3 etapas:

- Definición del efecto que se desea analizar.
- Construcción del diagrama causa-efecto
- Análisis causa-efecto del diagrama construido.

La definición del efecto representa la base de un eficaz análisis. Cuanto más definido se encuentre éste, más directo y rápido podrá ser el análisis de las causas.

La construcción del diagrama causa-efecto se realiza de la siguiente manera:

- Definir claramente el efecto (problema, falla) que va a ser analizado.
- Dibujar una flecha horizontal que corresponderá al eje central, apuntando a la derecha, y escriba el efecto al interior de un rectángulo localizado en la punta de la flecha.

- Haga una lluvia de ideas (Brainstorming) para identificar el mayor número posible de causas que pudieron estar contribuyendo a generar el efecto.
- Identificar y agrupar las causas principales o más generales en categorías (una forma muy utilizada es por el método de las 5 M), escribiéndolas en un recuadro y conectarlas por líneas inclinadas que convergen hacia el eje central.
- Para comprender mejor el problema, buscar y añadir subcausas, o haga otros diagramas de causa-efecto para cada una de las causas principales encontradas. Éstas se escriben al final de unas líneas, paralelas a la del eje central y conectadas con la línea principal correspondiente (las inclinadas).
- Se pueden añadir causas subsidiarias para las subcausas de cada categoría a lo largo de su línea inclinada, si es necesario.
- Para cada causa pregunte **Porque** 5 veces (o al menos 2 o hasta que ya no tenga más repuestas); lo que asegurará que la cadena causal tiene sentido lógico y operativo.
- El resultado de la utilización de éste método, es un diagrama ordenado de posibles causas (teorías) que contribuyen a un efecto.

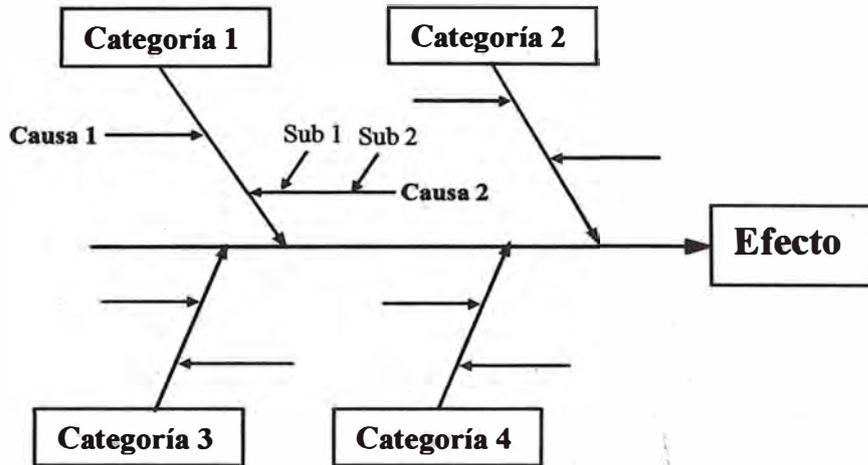


Fig. 5-1. Diagrama Causa – Efecto.

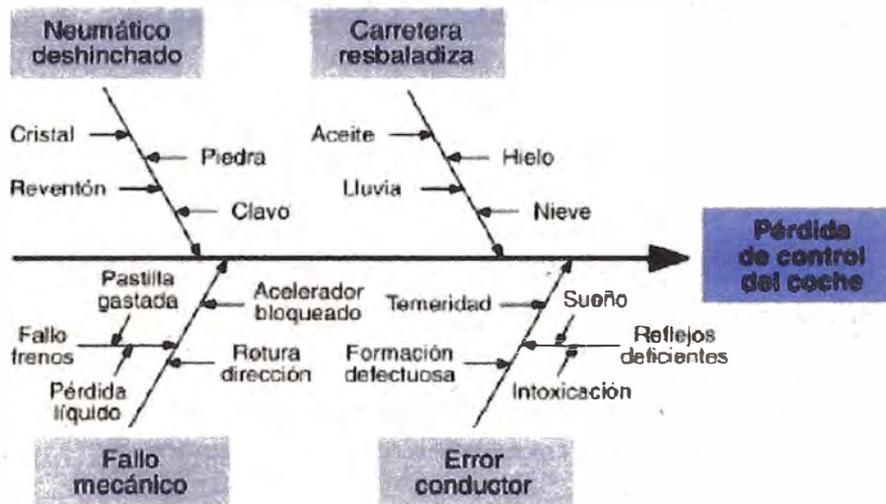


Fig. 5-2. Diagrama Causa – Efecto de la pérdida de control de un carro.

**5.3. Análisis lógico en la eliminación de variables no relacionados con la causa raíz de la falla.**

Un efectivo proceso lógico del análisis de las variadas causas enunciadas en los métodos de diagnóstico reduce el reemplazo innecesario de repuestos, la pérdida de tiempo por indebido procedimiento de diagnóstico e insatisfacción del usuario por

reparaciones incompletas o defectuosas. Para ello es importante utilizar adecuados tipos de estrategias de localización de problemas o falla (efecto), conociendo como aplicarlos o que estrategias no son importantes.

A continuación mencionamos algunas estrategias que Caterpillar utiliza para ayudar a encontrar la causa y solución de las fallas; como son los basados en el:

- **Enfoque del disparador – “Reemplazador de partes”**: son los que resultan en reemplazar partes y pruebas que son ejecutadas casualmente y no en un orden particular. Su éxito generalmente es por suerte.
- **Enfoque de la búsqueda cuidadosa – “Probar todo”**: en éste caso todos los componentes individuales son probados sin un orden en particular. La falla puede ser encontrada, pero el proceso puede consumir mucho tiempo y puede entraparse con sistemas complejos
- **Enfoque por sistemas – “Buscar por el esquema”**: usa los diagramas o esquemas para proporcionar al técnico de mantenimiento una ruta del sistema. A veces el técnico paraliza en la primera parte del sistema que ha visto, porque posiblemente puede ser la causa de la falla. El no tiende a seguir todas las posibles causas para determinar la verdadera causa raíz del problema.
- **Enfoque de dividir por la mitad – “Dividir el sistema en dos”**: el área conteniendo la falla es dividido por la mitad y es probado así para determinar en que mitad está el problema.

- **Enfoque basado en el conocimiento – “Describir el sistema”**: el técnico conceptualiza la falla en los sistemas, para ayudar a idear significativas y productivas pruebas a fin de comprobar las teorías. El técnico hace preguntas para reducir el foco de las causas más probable de la falla, lo que acelera el proceso de solución de las fallas y mejora la eficiencia. Esta estrategia incorpora parte de todas las estrategias.

Es muy importante seguir un proceso lógico y no encerrarse en una estrategia en particular, dado que a través de ellas se descartarán las causas que no están relacionadas con la causa raíz de la falla, y se facilitará la identificación de la causa raíz .

#### **5.4. Aplicación del análisis de falla que permita identificar la causa raíz**

Una manera organizada de aplicar el análisis de falla que ha desarrollado Caterpillar es mediante ocho pasos, que ayudan a efectuar un análisis del problema de la calidad. Si se deja de hacer solo uno de los pasos o se implementan desordenadamente, se puede identificar erróneamente la causa raíz, aplicar una medida de corrección inadecuada (solución de los “efectos” del problema y no de sus “causas”), y elevados costos y paralizaciones.

De los ocho pasos describiremos brevemente los cinco primeros, que son los que conducirán a identificar la causa raíz (los tres restantes corresponden a las acciones correctivas y seguimiento de las mismas):

**Paso 1: Definir la falla clara y concisamente.-** Consiste en enfocar el área afectada, para lo cual se requiere tener el cuadro exacto de cual es en realidad el problema y escribir los detalles concienzudamente y con claridad. Normalmente los reportes de las fallas describen los resultados y a partir de ahí se deberá empezar la búsqueda de la causa de la falla.

**Paso 2: Organizar la acumulación de datos.-** Para ello es importante pensar en las razones lógicas de la falla, para así buscar primeramente los hechos en esas áreas, con lo cual será más fácil y más rápido acumular datos o hechos con más probabilidad de poder encontrar la causa raíz.

Si no se tiene cuidado en éste proceso puede usarse una “idea preconcebida” o decir automáticamente que se conoce la causa original de la falla, por que se vieron resultados iguales en otros casos y ello llevarnos por el camino equivocado de la investigación.

Antes de recolectar y anotar datos, debemos estar conscientes que podemos recibir información ilegítima. La información que normalmente se recibe puede ser de cinco tipos diferentes:

- Falsas : Siempre equivocada.
- Suposiciones: A menudo equivocadas.
- Opiniones : Considerar la credibilidad de la fuente.
- Intuiciones: Conducen a exageraciones y errores.
- HECHOS : Son los datos reales que se deben buscar.

**Paso 3: Observar y documentar los datos (hechos).**- Los datos deben observarse desde el momento que se reporta la falla, luego en el proceso de desmontaje y/o desarmado y finalmente después de limpiarse adecuadamente las piezas de toda materia extraña. Para ello son esenciales una lupa, una buena lámpara y personal capacitado.

Los datos se documentan e identifican con mayor facilidad si se prepara con anticipación el equipo necesario, como: papel y lapicero, cámara fotográfica con flash, baterías, herramienta para cortar filtros, wincha metálica, marcador de metal, regla metálica, micrómetro, pie de rey, punzón, imán y microscopio.

**Paso 4: Pensar lógicamente sobre los datos.**- Pensar con base en los hechos, puede acortar el proceso de análisis de falla e impartir más precisión. Al ponerle “etiquetas de identificación” a los hechos, determinamos lo que ha pasado y hacia donde debemos dirigirnos a continuación.

Reunir los datos en las áreas planeadas ayudará a depurar o a eliminar datos, separando los resultados y dejando solo los que son causas originales. Veamos tres depuraciones o “filtraciones” básicas que se usan con frecuencia:

**La primera filtración,** consiste en examinar las piezas falladas para determinar si sugieren una causa original o un resultado. Cuando se encuentra una causa raíz, todos los daños pueden explicarse lógicamente; pero cuando se obtiene un resultado, algunos daños permanecen sin explicarse.

**La segunda filtración,** consiste en observar el “patrón” que sigue el problema; el cual puede ser continuo, periódico o esporádico.

- **Patrón continuo:** el problema esta constantemente en todas las condiciones.

**Patrón periódico:** muestra un problema que esta presente solo bajo ciertas condiciones y que el producto opera normalmente el resto del tiempo. Los problemas periódicos son por lo general el resultado de temperaturas, combustible, tiempo o condiciones de operación rigurosas.

**Patrón esporádico:** muestra que el problema se presenta irregularmente y al azar. Éstos son más difíciles de resolver, por que la razón para que se produzcan no esta fácilmente identificada. Las condiciones irregulares tales como; terreno blando, clima frío o caliente, humedad, etc. pueden causar patrones esporádicos.

**La tercera filtración,** determina la tendencia del problema, y pueden ser:

Estable: la severidad del problema permanece igual.

- Más severa: el problema se vuelve muy severo.

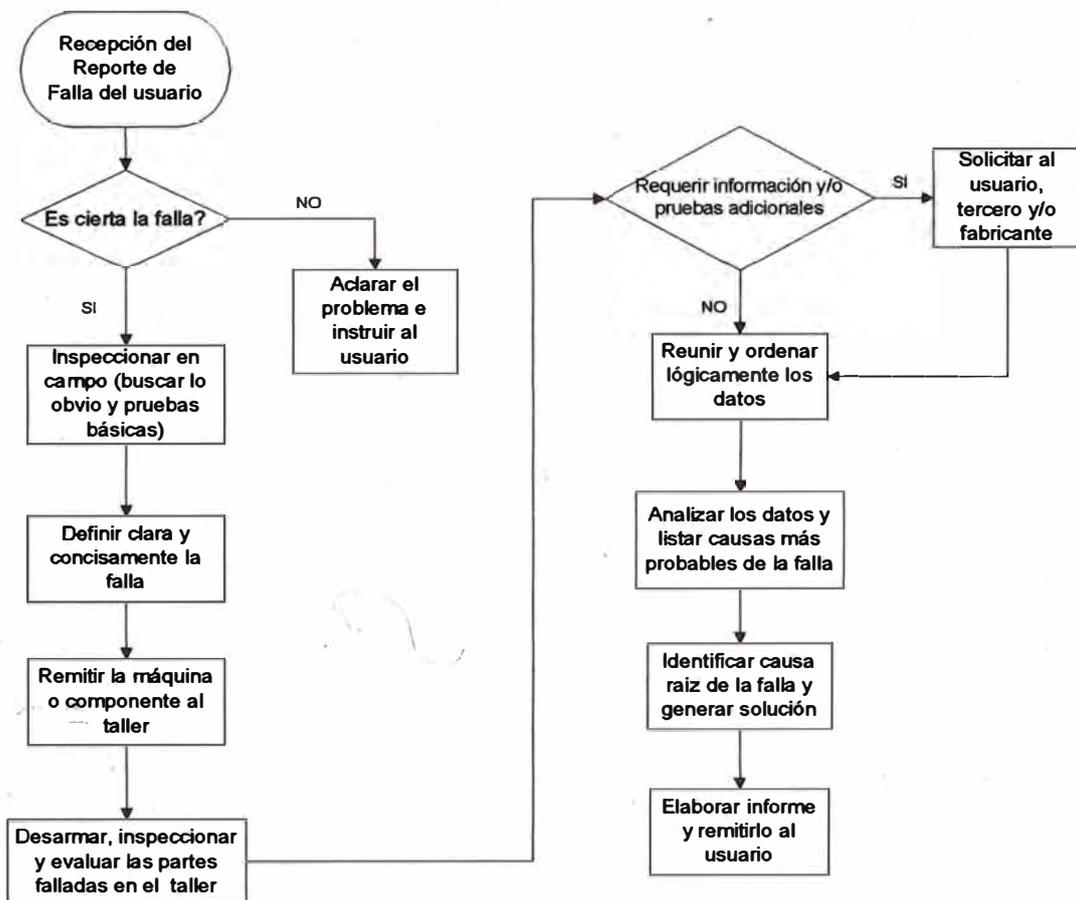
Menos severa: el problema se vuelve menos severo.

**Paso 5: Identificar la causa raíz más probable.-** Éste paso consiste en hacer una lista de causas raíz posibles que pudieran producir la falla, comenzando de las más probable y terminando con la menos probable. Luego; se comparan cada una de las posibles causas raíz con la declaración del problema y los hechos. Cuando se considere la causa raíz

correcta, todos los hechos conjugarán entre si y se identificará la falla. Si ninguna de las posibles causas se relaciona con los “hechos”, la causa raíz correcta pueda que no haya aparecido en la lista, la declaración de la falla pudo haber estado equivocado o se puede haber recopilado datos erróneos. En éste caso, es necesario volver a verificar esos datos y también ayuda consultar con otros miembros del equipo de análisis de falla.

Después de identificar la causa raíz más probable y quién es el responsable, debemos comprobar por segunda vez preguntándonos: “Es posible que la falla haya sido causada por otra parte”. La doble comprobación nos ayuda a considerar las posibilidades de que la causa original se haya pasado por alto.

### 5.5. Procedimiento para identificar las fallas en los motores Diésel



Basado en la experiencia, en el diagrama de flujo se ha plasmado un procedimiento práctico para realizar un análisis de falla. El objetivo es usar los pasos del proceso basado en la naturaleza de la falla. El problema puede ser tan obvio que el técnico puede identificar el problema y la causa raíz inmediatamente; o requerir de una investigación organizada para identificar la causa raíz. Sin embargo, hay otros problemas que no son tan obvios que puede tomar al técnico varias horas de labor física y mental, para llegar a la conclusión y reparar acertadamente la falla.

El primer paso en el procedimiento es verificar que el problema verdaderamente existe identificando la falla y los síntomas, y hablando con el operador que operaba el equipo.

La información inicial puede ser recibido desde un Jefe de Servicio o por comunicación telefónica del usuario, jefe del sitio de trabajo, ingeniero, operador o por otro medio. Esta información no siempre es tan completa, ni detallada como para diagnosticar la falla, por lo que informándose además del modelo, número de serie y número de arreglo de la máquina, se puede adquirir su carpeta histórica, manual de servicio, boletines, herramientas y repuestos apropiados.

Luego se efectúa siempre una inspección visual para buscar algo obvio. Realizar pruebas para verificar lo básico, lo simple, rápido y económico, debe ser la filosofía que guíe nuestras decisiones.

No gastar demasiado tiempo verificando lo básico porque el propósito es eliminar las causas obvias de la falla y no efectuar extensas pruebas. La inspección visual ayudará a identificar que otros recursos pueden ser requeridos para investigar más la falla.

Basado en la información reunida y la inspección visual, recursos adicionales pueden ser requeridos para investigar más la falla. Hay varias fuentes disponibles para encontrar informaciones que ayudan a conocer más el sistema y problemas precisos de la máquina, tales como la literatura técnica del fabricante (manuales, herramientas de diagnóstico, etc.) y a través del internet recurriendo a experiencias de otros técnicos y empleados del mundo que trabajan con esas máquinas.

Si las verificaciones básicas para resolver la falla no han resultado, empezar con una lista de posibles fallas tal que una investigación más detallada pueda proseguir. La pista de posibles fallas puede ser encontrada en la guía de resolución de problemas en la información de mantenimiento de la máquina, en el que también podrá identificarse todos los sistemas y componentes que pueden estar causando la falla.

La información deberá ser escrita en un orden cronológico de acuerdo a la manera en la que se quiera verificar o probar la máquina. Orden que debiera ser “para verificar primero, el más fácil y más barato”.

En éste paso se debe recolectar todos los datos necesarios para asegurar que todos los requerimientos son cumplidos con una prueba (si es posible). Si algún riesgo esta involucrado, o la máquina no es operable, o la prueba no revela la información requerida, será necesario obtener datos de otras fuentes.

Con los datos de pruebas recolectados, compararlos con algunos datos de referencia y analizarlos, siendo muy cuidadosos de las ideas preconcebidas. El análisis de los datos incluye el rendimiento de los componentes evaluados, entender como se relacionan los

sistemas y componentes, como funcionan correctamente los componentes, y como reacciona el sistema si un componente falla.

Nunca corregir la falla sin identificar la causa. El análisis de los datos debiera identificar la falla; pero si la causa aún no está clara, serán necesarias más pruebas, recolección de datos y nuevos análisis.

Después de identificar el / los componentes que sospecha ser el causante de la falla, efectuar el ajuste, reparación o cambio del / los componentes correspondientes.

Cuando repare una máquina nunca asuma que la nueva parte está bien. Instalar la parte nueva o reparada y regresar el sistema de la máquina a su configuración original.

Después de completar la reparación siempre verificar que la máquina está operando correctamente, y completar la documentación respectiva (reporte de mantenimiento describiendo la falla, la causa y que fue requerido para repararlo), que servirá como base de datos para futuros usos.

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE LA FALLA DEL MOTOR DIESEL CATERPILLAR MODELO 3516B, INSTALADO EN UN CAMIÓN MINERO DE 218 TON. MODELO 793C.

#### 6.1. Datos técnicos del motor Caterpillar.

- Modelo: 3516B
- Potencia: 1,715 kw / 1750 rpm.
- Torque: 11,170 N.m / 1300 rpm
- Cilindros: 16 en V; distribuidos en el bloque en 2 bancos de 8 cilindros cada uno.
- Diámetro del cilindro: 170 mm  
Carrera del pistón: 215 mm
- Cilindrada: 78 litros  
Relación de compresión: 14:1
- Tipo de inyección de combustible: Inyectores bomba accionados eléctricamente.
- Tipo de aspiración de aire: Sobrealimentados con 4 turbocompresores y Pos-enfriados con 2 núcleos enfriadores de aire con refrigerante.
- Tipo de enfriamiento: Sistema presurizado con refrigerante y radiador  
Refrigerante: Mezcla de agua con inhibidor de corrosión (glicol, etc.). Para trabajos en la altura se añade el aditivo anticongelante.

## 6.2. Recopilar antecedentes e incidentes apoyado por lo hechos-

### 6.2.1. Reporte de la falla:

- Fecha de la falla: 02 de agosto 2007
- Fecha de instalación del motor: 13 de septiembre 2005
- Horas de la máquina: 46,775.
- Horas de operación del motor: 12,133
- Reparación anterior: Julio-Agosto 2005
- Síntomas de la falla: Fuga de aceite y rotura del bloque a la altura del cilindro N° 4.

**6.2.2. Historial de mantenimientos:** obtenidos de los registros del usuario desde el 13/09/05 cuando se instaló el motor en el camión hasta su cambio el 03/08/07

Work Order	Desc	Raise Date	Equip No
YA37470	Cambio de motor	13/09/2005	14107
Y261585	PM50-CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR Y FILTROS	15/09/2005	14107
180509	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 500 HRS (PM2)	22/09/2005	14107
180883	CALIBRACION DE VALVULAS	27/09/2005	14107
Y263671	EVALUAR FUGA DE REFRIGERANTE BBA AUX(BL)	08/10/2005	14107
Y263672	EVALUAR FUGA OIL SALIDA FILTROS MOTOR(BL)	08/10/2005	14107
182127	CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	13/10/2005	14107
182670	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 1000 HRS (PM3)	20/10/2005	14107
185147	Reparar base de portafiltro de aire	18/11/2005	14107
Y267161	CAMBIO INDICADOR MEC. NIVEL COMBUSTIBLE	23/11/2005	14107
186812	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 2000 HRS (PM4)	07/12/2005	14107
186844	cambio de batería	07/12/2005	14107
Y268340	cambio de sello tapa de balancines #14	08/12/2005	14107
188533	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 500 HRS (PM2)	29/12/2005	14107
YA51713	Evaluación ruido de motor	05/01/2006	14107
YA51971	Cambio de baterías	07/01/2006	14107
YA52404	Temperatura alta del pos enfriador del	11/01/2006	14107
YA52922	Cambio sensor temperatura refrigerante	16/01/2006	14107
190079	Inspeccionar tren de balancines	19/01/2006	14107

192559	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 1500 HRS (PM2)	17/02/2006	14107
194154	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 2000 HRS (PM4)	08/03/2006	14107
194255	Desmontaje,inspección bomba aceite motor	09/03/2006	14107
YA60049	Cambio sello tapa balancin #14	16/03/2006	14107
195120	SENSOR TEMPERATURA AFTERCOOLER DELANTERO	17/03/2006	14107
195173	problema electrico de sensor de aftercoo	18/03/2006	14107
195800	CALIBRACION DE VALVULAS	24/03/2006	14107
Y279487	WA-CAMBIAR GASKET DE CULATA #08	25/05/2006	14107
YA70468	Revisar sensor presión aceite motor	23/06/2006	14107
202887	CAMBIO DE SELLO TAPA BALANCINES 13	24/06/2006	14107
YA70862	Evaluacion de perdida de fuerza	27/06/2006	14107
Y280900	Cambiar empaque culata # 15	29/06/2006	14107
205915	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 1000 HRS (PM3)	03/08/2006	14107
Y283200	CAMBIO SELLO TUBO REFRIGERACION	11/08/2006	14107
Y283777	CAMBIO DE GASKET DE CULATA # 11	21/08/2006	14107
Y283778	CAMBIO DE GASKET DE CULATA # 3	21/08/2006	14107
207310	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 1500 HRS (PM2)	24/08/2006	14107
Y284297	CAMBIAR EL ARRANCADOR NEUMATICO	02/09/2006	14107
Y284736	CAMBIO DE AFTERCOOLER FISURADOS	12/09/2006	14107
208833	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 2000 HRS PM4	21/09/2006	14107
YA80049	Perdida de fuerza	28/09/2006	14107
YA80155	Cambio de Harnes de Inyector N°13	29/09/2006	14107
210855	MANTENIMIENTO PREVENTIVO PM2 - 500 HRS	19/10/2006	14107
212446	CALIBRACION DE VALVULAS	08/11/2006	14107
212447	CAMBIO DE REGULADOR DE AGUA-TERMOSTATO	08/11/2006	14107
212453	MANTENIMIENTO PREVENTIVO PM3 - 1000 HRS	08/11/2006	14107
213410	WA-CAMBIO DE RESORTES VALVULAS MOTOR	18/11/2006	14107
214867	MANTENIMIENTO PREVENTIVO PM2 - 1500 HRS	06/12/2006	14107
YA88486	Cambiar codo de aceite bomba principal	13/12/2006	14107
YA89293	Fuga de refrigerante culata N 1	20/12/2006	14107
YA89755	TEMPERATURA ALTA REFRIGERANTE	23/12/2006	14107
Y293870	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 2000 HRS PM4	27/12/2006	14107
YA90200	Rotura de Turbo de Baja Posterior	27/12/2006	14107
217135	cambio turbocompresor de baja delantero	28/12/2006	14107
217454	Cambiar turbo de alta izquierdo	30/12/2006	14107
YA92105	Evaluacion por perdida de potencia	12/01/2007	14107
YA92397	evaluacion de sistema electrico	15/01/2007	14107
220682	MANTENIMIENTO PREVENTIVO PM2 - 500 HRS	31/01/2007	14107
YA96115	Perdida de Fuerza	14/02/2007	14107
Y298078	CAMBIAR GASKET A CULATA NRO. 13	21/02/2007	14107
Y298081	CAMBIAR GASKET DE CULATA NRO.10	21/02/2007	14107
222929	MANTENIMIENTO PREVENTIVO PM3 - 1000 HRS	22/02/2007	14107
YA98226	CAMBIO DE BATERIAS	05/03/2007	14107
Y299038	CAMBIAR GASKET DE CULATA # 2	07/03/2007	14107
Y2100053	MANTENIMIENTO PREVENTIVO PM2 - 1500 HRS	22/03/2007	14107
Y2101295	PRESURIZACION DE CULATAS	11/04/2007	14107
YA103384	Reparar fuga de combustible	14/04/2007	14107

YA103606	Perdida de potencia	16/04/2007	14107
228554	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 2000 HRS PM4	19/04/2007	14107
229664	cambio cañeria d combustible culata 10	30/04/2007	14107
YA107005	EVALUACION POR PERDIDA DE FUERZA	15/05/2007	14107
YA107902	evaluacion fuga refrigerante culata 9	22/05/2007	14107
231721	CAMBIO DE REGULADOR DE AGUA-TERMOSTATO	24/05/2007	14107
231722	CAMBIO DE RADIADOR	24/05/2007	14107
231723	INSPECCION EJE DE LEVAS	24/05/2007	14107
231724	CALIBRACION DE VALVULAS	24/05/2007	14107
Y2104688	CAMBIO DE CULATA # 06	27/05/2007	14107
Y2106102	MANTENIMIENTO PREVENTIVO PM3 - 1000 HRS	14/06/2007	14107
234333	CALIBRACION DE VALVULAS	24/06/2007	14107
YA114108	Evaluacion por perdida de fuerza	08/07/2007	14107
YA114137	Cambio de inyector de combustible N 1	08/07/2007	14107
Y2108104	MANTENIMIENTO PREVENTIVO PM2 - 1500 HRS	12/07/2007	14107
YA115986	PRESENCIA DEHUMO NEGRO	24/07/2007	14107
YA116841	perdida de fuerza	02/08/2007	14107
Y2109490	CAMBIO DE RADIADOR	03/08/2007	14107
Y2109491	CAMBIO DE MOTOR	03/08/2007	14107

Los registros nos informan que el usuario cumplió con efectuar los mantenimientos preventivos programados y la atención oportuna de algunos problemas que se presentaron durante su funcionamiento, lo que garantiza el buen cuidado del motor.

**6.2.3. Reportes electrónicos:** obtenidos de los módulos de control electrónico que tiene el motor y el camión.

- Eventos registrados en el módulo del control electrónico (ECM) del motor:  
que son indicadores que alertan al operador que alguno de los parámetros de operación del motor están por arriba o por debajo de lo especificado, y que pueden afectar el funcionamiento del motor y ocasionar alguna falla.

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Veces</b>	<b>Primera</b>	<b>Última</b>
3516B 793 (7TR01154) – Reloj de diagnóstico = 36,330				
E098	Anulación de la prelubricación del motor	51	921	36035
E035	Alerta de pérdida de caudal de refrigerante	7	16997	36034
E017	Alerta de alta temperatura de refrigerante del motor	8	26428	36029
E095	Alerta de restricción del filtro de combustible	11	26835	35985
E038	Alerta de baja temperatura de refrigerante del motor	15	7825	35707
E092	Presión de refuerzo por encima de lo normal	5	32747	34558
E093	Presión de refuerzo por debajo de lo normal	11	21430	34553
E190	Alerta de exceso de velocidad del motor	21	22733	33327
E100	Alerta de baja presión de aceite del motor	4	5066	5066

#### Historial de Sobrevelocidades

Rango( RPM )	Recuento de casos
2200	21
2400	0
2600	0
2800	0

No se observan eventos de sobrevelocidad críticas.

En éstos reportes se observan alertas de alta temperatura del refrigerante, de exceso de velocidad y de baja presión de aceite del motor, que no son perjudiciales por la cantidad de veces que se presentaron y ser de nivel 1.

- Eventos registrados en el Sistema de administración de información vital (VIMS) del camión; el cual es un módulo de control electrónico que recibe y almacena con mayores detalles la información de los módulos de control electrónico de los sistemas que tiene el camión (Motor, Tren de fuerza, Frenos, Hidráulico).

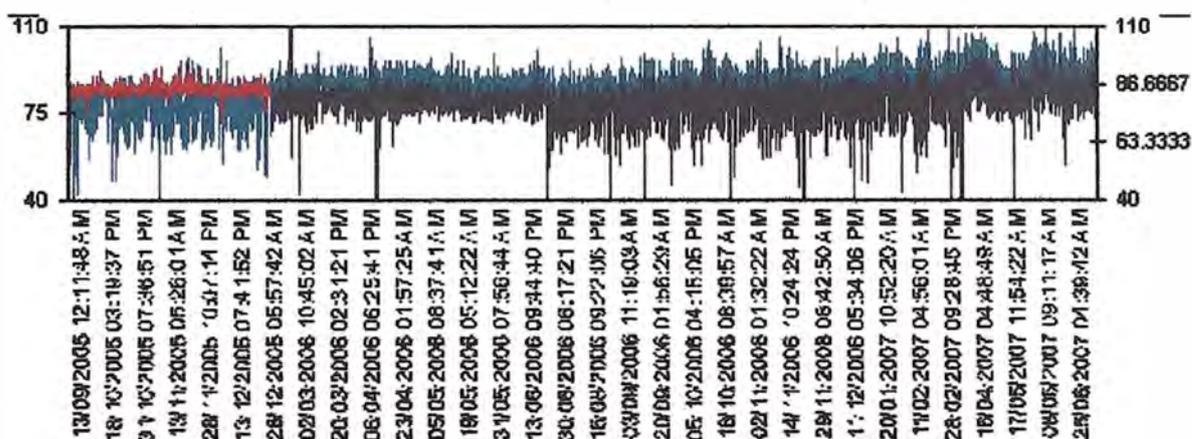
Event Category	Event ID	Event Description	Normal	Limit	Units	Event Duration	Veces	SMH Primera	SMH Última
2	25	Eng Cool Temp	113.00	107.00	°C	00:11:47	93	33,946	46,773
2	1227	Fuel Lvl	MID-49	CID-96	FMI-4	00:01:14	382	31,939	46,692
1	1719	Engine Derate	30.00	1.00	%	00:26:45	34	34,231	46,550
3	48	Eng Cool Lvl		Low		01:35:31	20	39,830	46,480
2	888	Eng Cool Lvl		Low		00:12:55	11	39,830	46,480
3	50	Eng Oil Lvl		Low		00:30:28	5	32,240	46,480
2	1800	Eng Prelube	MID-36	CID-338	FMI-11	01:26:44	25	31,929	46,480
2	117	Inj-Cyl 6	MID-36	CID-6	FMI-5	00:00:28	1	46,480	46,480
3	949	Eng Cool Flow		Low		00:05:53	14	42,073	46,479
2	702	Eng Cool Temp	114.00	110.00	°C	00:00:16	9	39,570	46,474
1	18	Fuel Filtr		Plugged		00:09:19	33	33,344	46,430
2	84	Fuel Lvl	MID-49	CID-96	FMI-3	00:00:36	5	33,568	46,319
2	172	R Afrctr Temp	114.00	107.00	°C	00:10:48	29	32,241	46,152
3	46	Afrctr Lvl		Low		00:30:56	13	32,184	45,301
2	47	Afrctr Lvl		Low		00:25:13	11	39,666	45,301
3	1415	Afrctr Lvl		Shutdown		00:04:20	7	39,830	45,300
2	83	Fuel Lvl	8.25	10.00	%	00:04:19	20	32,047	45,195
2	138	Boost Pres	MID-36	CID-273	FMI-3	00:09:53	8	44,999	45,046
2	124	Inj-Cyl 13	MID-36	CID-13	FMI-5	00:24:14	479	40,295	40,320
3	1410	Eng Cool Lvl		Shutdown		00:00:04	1	39,830	39,830
2	815	Lt Exh Temp	MID-36	CID-827	FMI-8	00:04:06	14	38,373	38,383
2	29	Eng Oil Pres	MID-36	CID-100	FMI-3	00:05:15	1	38,364	38,364
2	906	Ether Inj Ctrl	MID-36	CID-545	FMI-5	125:26:02	13	31,927	36,169
2	170	F Afrctr Temp	112.00	107.00	°C	00:00:03	1	35,823	35,823
2	1417	F Afrctr Temp	151.00	107.00	°C	00:00:17	64	32,241	35,099
2	1143	Hi Boost Pres	1.00	1.00		00:15:24	1	34,231	34,231
1	1467	Cnkcase Pres	3.90	3.60	kPa	00:00:17	1	32,184	32,184
2	269	Inj-Cyl 16	MID-36	CID-16	FMI-6	00:00:27	1	32,184	32,184

Se observan eventos iguales a los del ECM del motor pero con mayor detalle.

- Reporte de tendencias del motor obtenidas del VIMS : permite observar el comportamiento de los parámetros de operación de la temperatura de refrigerante, de la presión de aceite, de las temperaturas de escape, etc. en el motor, durante el funcionamiento del motor y de la máquina.

- Tendencia de la temperatura del refrigerante:

INC	Trend	Type	Condition	Rate	Met	Average	Status	Min	Max
	Boost Pressure	avg	Engine Loaded	60.00	kPa	260.48		136.50	281.50
I	Eng Cool Temp	avg	Engine Running	60.00	°C	85.06		71.00	94.00
	Eng Oil Pres	avg	Engine High & Coob 74	60.00	kPa	438.60		420.50	466.00
	Eng Oil Pres	min	Engine High & Coob 74	60.00	kPa	405.68		360.00	477.00
	Eng Oil Pres	avg	Engine Low & Coob 74	60.00	kPa	308.05		271.00	352.50
	Engine Oil Pres	min	Engine Low & Coob 74	60.00	kPa	251.26		209.00	436.00
	F Aftercooler Temp	max	Engine Loaded	60.00	°C	80.44		18.00	127.00
	Left Exh Temp	max	Engine Loaded	60.00	°C	664.43		445.00	835.00
D	R Aftercooler Temp	max	Engine Loaded	60.00	°C	85.27		19.00	112.00



Se observa un ligero incremento de la temperatura del refrigerante del enfriador de aire y con mayor fluctuación después de junio del 2006.

**6.2.4. Historial de los análisis de las muestras de aceite del motor:** son los resultados de los análisis que se efectúan a las muestras de aceite que se obtienen del motor y permiten evaluar las tendencias de desgastes de los metales, la viscosidad, contaminación con otros fluidos (agua, combustible).

Para ilustrar el caso, se muestran los resultados de los análisis de aceite del motor realizados entre el 26/05/07 y el 09/08/07; es decir de los 2 últimos meses antes de la falla.

S. Date	Oil Hrs.	SMU	Cu	Fe	Cr	Pb	Sn	Al	Si	Na	K	Ni	B	Ca	Mg	Mn	P	Zn
09/08/2007	88	45944	5	7	0	1	0	0	4	3	1	0	0	2207	258	1	1267	1073
31/07/2007	692	45618	17	12	0	1	0	0	3	3	1	0	0	2347	257	0	1297	1164
25/07/2007	536	45650	23	10	0	1	0	0	3	3	1	0	0	2125	265	0	1118	1163
17/07/2007	436	45539	11	19	0	1	0	0	2	2	1	0	0	2378	272	0	1111	1203
12/07/2007	308	46320	10	14	0	1	1	0	3	3	1	0	0	2177	282	0	1147	1262
27/06/2007	523	46012	10	22	0	1	0	0	2	6	1	0	0	2401	283	0	1170	1102
23/06/2007	426	45915	9	22	1	2	1	0	4	8	1	3	0	2334	243	0	1030	1123
14/06/2007	252	45741	1	9	0	0	0	0	2	5	1	0	0	2216	274	0	1162	1037
07/06/2007	254	45554	16	6	0	1	0	0	2	8	1	0	0	2032	264	0	1079	1269
03/06/2007	149	45449	16	12	0	1	0	0	4	40	2	4	7	2469	286	0	1165	1198
30/05/2007	66	45366	15	9	0	1	0	0	3	40	1	4	0	2131	235	0	1090	1152
26/05/2007	2765	45300	3	34	1	5	1	0	8	144	3	15	8	2523	274	0	1119	1075

S. Date	Oil Hrs.	SMU	W	F	G	Soc.	Oxid.	Nitr.	Sulf.	V. 40°C	V. 100°C	PQ
09/08/2007	88	45944	Neg	Neg	Neg	28	16	14	15	97.8	13.60	27
31/07/2007	692	45618	Neg	Neg	Neg	61	18	24	21		13.70	24
25/07/2007	536	45650	Neg	Neg	Neg	41	14	17	15	99.8	13.70	23
17/07/2007	436	45539	Neg	Neg	Neg	80	27	35	39	97.8	13.80	31
12/07/2007	308	46320	Neg	Neg	Neg	69	24	29	31	99.9	13.60	27
27/06/2007	523	46012	Neg	Neg	Neg	92	27	37	43	100.2	14.00	28
23/06/2007	426	45915	Neg	Neg	Neg	86	29	41	48	100.1	14.00	28
14/06/2007	252	45741	Neg	Neg	Neg	63	22	29	29	99.9	13.80	32
07/06/2007	254	45554	Neg	Neg	Neg	29	11	13	12		13.60	25
03/06/2007	149	45449	Neg	Neg	Neg	50	19	26	25	99.9	13.40	22

No se observan tendencias elevadas de desgaste de plomo (Pb), estaño (Sn), ni de aluminio (Al), previo a la falla; pero si de cobre (Cu) y 01 de sodio (Na).

### 6.3. Inspección ocular de las partes dañadas del motor.



Motor que ingresó al taller con rotura del bloque a la altura de la ventana de inspección del cilindro N° 4.

- **Turbocompresores:**



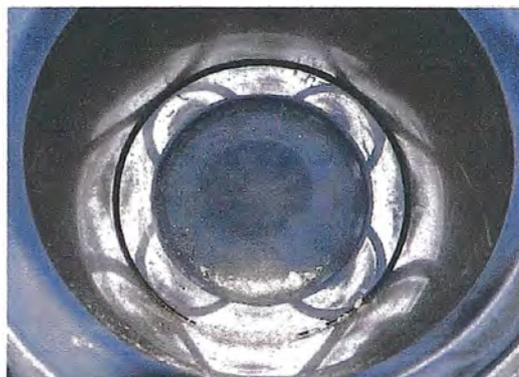
Presentaron desgastes abrasivos no severos. Sin daños en los álabes de la turbina, ni en el del compresor.

- **Culatas:**



Las 16 culatas no presentaron fisuras, ni desgastes anormales. Pero las válvulas tuvieron excesivo desgastes en los vástagos y cambio de color por altas temperaturas.

**- Pistones:**



La corona del pistón N° 3 se encontró con marcas de impacto contra las cabezas de las válvulas, las cuales se encontraron flexionadas. Esto indicaría un aumento en el desplazamiento del conjunto pistón-biela.



La falda del pistón N° 3 se encontró fracturada y con dos zonas marcadas por desgastes abrasivos (una superior con rayas por desgastes abrasivos y una inferior pulida por rozamiento contra la camisa).

Las superficies de la fractura a la altura del alojamiento del seguro del pin se encontraron frotadas, al igual que las superficies laterales. Esto indicaría que el pistón estuvo trabajando por algún tiempo con la falda rajada y que luego llegó a abrirse; lo cual explicaría el rozamiento anormal observado en la falda.

- **Bielas:**



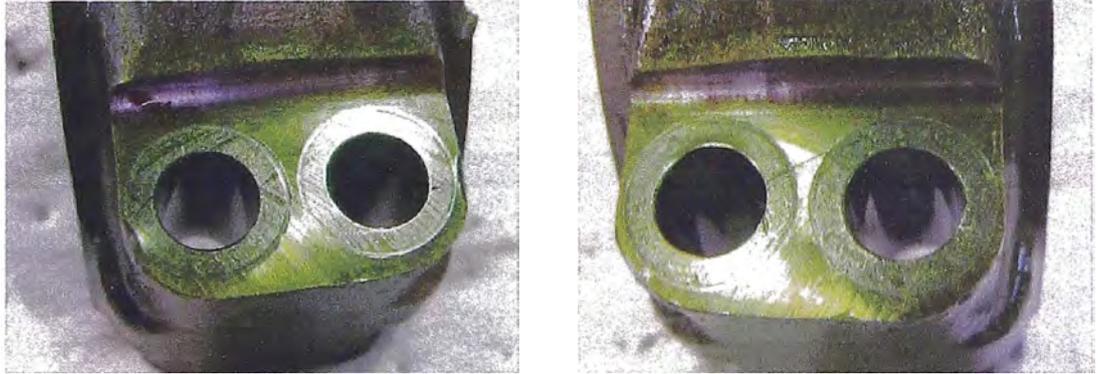
La biela del cilindro N° 3 se encontró con fractura frágil.



Los 4 pernos de la tapa de biela del cilindro N° 3, también se encontraron fracturados; de los cuales 2 presentaban fracturas dúctiles (las cabezas de los pernos no se encontraron).



Perno con fractura dúctil por tracción y el otro perno con fractura por fatiga de flexión reversible de bajo ciclo y alta carga (notorias marcas de playa).



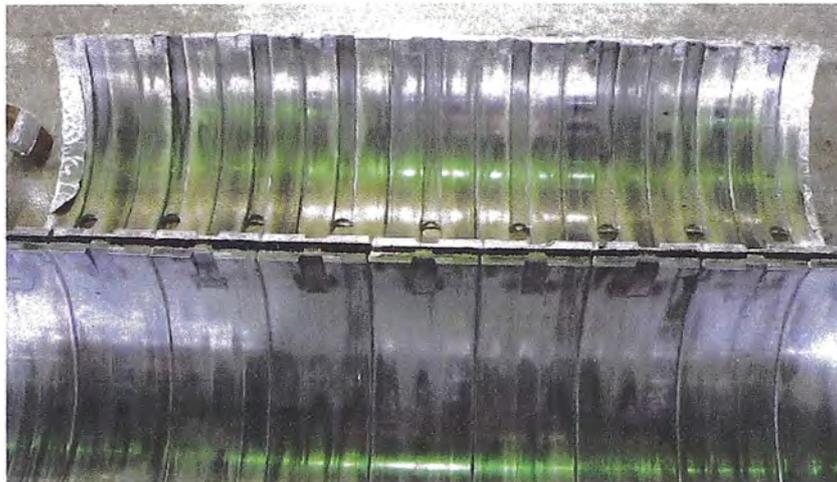
Los alojamientos de los pernos de la tapa de biela sin desgastes anormales, solo con ligera corrosión por rozamiento (fretting) en el asiento de la cabeza del perno, que debió producirse antes de terminar de fracturarse los pernos.

- **Cojinetes de biela:**



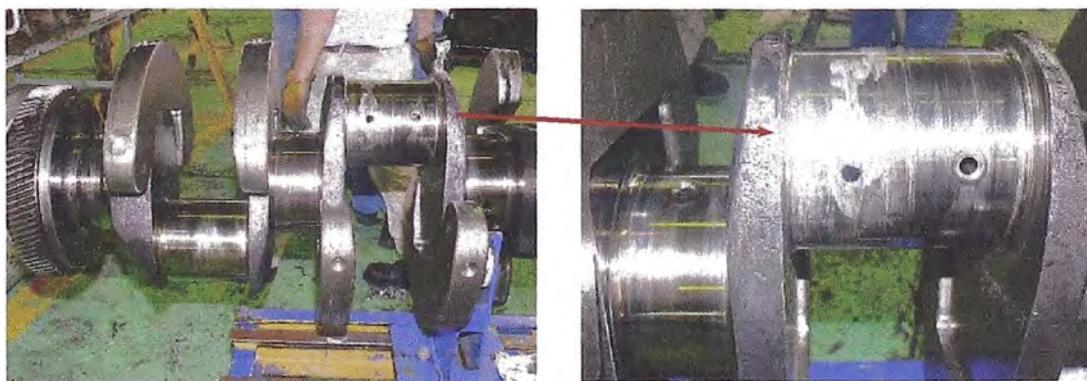
Los cojinetes de biela de los cilindros N° 3 y N° 4 se encontraron recalentados y laminados. Esto es indicativo que los metales se empezaron a girar antes que se abra la tapa de biela N° 3; es decir antes que se rompan los pernos de la tapa.

- **Cojinetes de bancada:**



Los cojinetes de bancada se encontraron con desgastes de las capas de plomo-estaño, principalmente en la zona de carga (tapas). El metal de bancada N° 2 por donde fluye el aceite que lubrica a los metales de biela N° 3 y N° 4 no presenta un patrón de desgaste diferente.

- **Cigüeñal;**



Agarrotamiento con metal de los cojinetes en los puños de bielas de los cilindros N° 3 y N° 4. Mas dañado el del N° 3. No se observaron conductos de lubricación tapados o restringidos.

Cigüeñal se encontró rectificando a 0.050" en bancada y 0.025" en biela.

**6.4. Evaluación y pruebas de las partes relacionadas con la falla**

Se realizaron evaluaciones dimensionales para determinar los niveles de desgaste, que podrían haber generado la falla o que serían consecuencia del funcionamiento con el aceite contaminado una vez que se inicio la falla; a fin de poder determinar también su reusabilidad.

Para ilustrar éste paso mostraremos 2 evaluaciones de taller, los restantes podrán observarlos en el Anexo 03.

**- Pistones**



**EVALUACION DE PISTONES**  
0106 - EVALUACION - PISTON  
No. 01

Datos Generales | Detalle | Firma | Seguimiento | Observaciones | Archivos | Imágenes/Archivos

**MEDIDAS SEGUN ESPECIFICACIONES**

TIPO DE PISTON	TIPO DE ANILLO	DIAMETRO DEL PIN
Un Cuerpo / Dos Cuerpos	Keystone	2.7544"

**MEDIDAS OBTENIDAS EN EL BANCO DE PRUEBAS**

PIS TON Nº	RAYADURA DE ANILLO		DAÑOS EN EL PISTON					PIN		REQUIERE TRABAJO EXTERIOR
	SUPERIOR	INTERMEDIO	RAYADURAS	PICADURAS	INCRUSTAC.	OTROS	FUERA DE SERVICIO	DIAMETRO	DAÑOS	
1	OK	OK	SI	NO	NO	NO	NO	2.7540"	NO	-
2	OK	OK	-	-	-	SI	SI	2.7534"	SI	-
3	-	-	SI	-	SI	SI	SI	-	-	-
4	-	-	SI	-	SI	SI	SI	-	-	-
5	OK	OK	-	-	-	SI	SI	2.7539"	-	-
6	MAL	MAL	-	-	-	-	SI	2.7536"	SI	-
7	OK	OK	-	-	-	SI	SI	2.7536"	SI	-
8	-	-	-	-	-	SI	SI	-	-	-
9	OK	OK	SI	NO	NO	NO	NO	2.7540"	NO	-
10	-	-	-	-	-	SI	SI	-	-	-
11	MAL	MAL	-	-	-	SI	SI	2.7537"	SI	-
12	MAL	MAL	-	-	-	SI	SI	2.7536"	SI	-
13	OK	OK	-	-	-	SI	SI	2.7535"	SI	-
14	MAL	MAL	-	-	-	-	-	2.7536"	SI	-
15	MAL	MAL	-	-	-	SI	SI	2.7535"	SI	-
16	MAL	MAL	-	-	-	SI	SI	2.7537"	SI	-

**OBSERVACIONES**

- Estos pistones vienen a su tercera reparación a 14000 horas de trabajo.
- Los pistones #s 08, 10 son de un cuerpos. Estos pistones quedan F/S por encontrarse con los deflectores fijos.
- El resto de pistones son de dos cuerpos.
- El pistón # 03 llegó roto al área, trabajado con la biela rota. F/S.
- El pistón # 04, la corona muestra signo de berrido en la superficie de las bocinas de pin, la falda muestra fuertes golpes y daños en sus superficies. Pistón F/S.
- Los pistones #s 11, 12, 15, 16 F/s por encontrarse con desgaste en la ranura del anillo de compresión.
- Los pines #s 01, 06, 07, 11, 12, 13, 14, 15, 16 F/S por encontrarse con los Ø de las medidas fuera de tolerancia técnica.
- Los pines #s 03, 04, 08, 10 F/S por mejoras.
- Los pistones #s 02, 05, 07, 13, F/S por no encontrarse el Ø de las bocinas de corona fuera de tolerancia para el trabajo.
- Los pistones #s 08, 14 F/S por encontrarse con desgaste en el canal del anillo compresión.
- Los pistones #s 01, 09 serán reutilizados por encontrarse OK para el trabajo. De igual forma sus respectivos pines.
- Se solicitarán 14 pistones mejorados, con sus pines, anillos y seguros de pistón. De igual forma anillos y seguros de pin para pistones antiguos (02).

- Cigüeñal



EVALUACION DE CIGUEÑAL  
0110 - EVALUACION - CIGUEÑAL  
No. 01

Detos Generales | Detalle | Firma | Seguimiento | Observaciones | Archivos | Imágenes/Archivos |

**MEDIDAS SEGUN ESPECIFICACIONES**

PUNOS	DIAMETRO +/- TOLERANCIA	CONICIDAD	DUREZA	RADIO (MAX. - MIN.)	ENORANAJE FRONTAL/POSTERIOR
BANCADA	Std. -.050" = 6.2492+-.001"	001"	58 --- 64 Shore	7.00 Mm	F. 2V-2895 P.121-5725
BIELA	Std. -.025" = 5.2902 +-.001"	001"	56 --- 64 Shore	7.00 Mm.	---

**MEDIDAS OBTENIDAS EN EL BANCO DE PRUEBAS**

**DE BANCADA**

PUR Nº	DESVIACION		CONICIDAD	DUREZA				RADIO		FUNDIDO	PICADURA	RAYADURA
	± 0°	± 90°		1	2	3	4	1	2			
1	6.2494"	6.2494"	OK.	59	59	59	59	7.00	7.00	NO	NO	SI
2	6.2496"	6.2496"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI
3	6.2497"	6.2497"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI
4	6.2499"	6.2499"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI
5	6.2500"	6.2500"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI
6	6.2498"	6.2498"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI
7	6.2497"	6.2497"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI
8	6.2496"	6.2496"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI
9	6.2495"	6.2495"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI

**DE BIELA**

PUR Nº	DIAMETRO		CONICIDAD	DUREZA				RADIO		FUNDIDO	PICADURA	RAYADURA
	± 0°	± 90°		1	2	3	4	1	2			
1	5.2905"	5.2907"	OK.	59	59	59	59	7.00	7.00	NO	NO	SI
2	5.2906"	5.2907"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI
3	5.2904"	5.2902"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI
4	5.2908"	5.2906"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI
5	5.2908"	5.2906"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI
6	5.2905"	5.2907"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI
7	Deform.	medo.	Deform.	De	for.	ma	do	-	-	SI	NO	SI
8	5.2907"	5.2909"	"	59	59	59	59	"	"	NO	NO	SI

**EVALUACION DE LA DEFLEXION DEL CIGUEÑAL**

	BANCADA					
	1º APOYOS	LECTURAS	2º APOYOS	LECTURAS	3º APOYOS	LECTURAS
1	-	-	-	-	-	-

BRIDA	
FRONTAL	-
POSTERIOR	-

CIGUEÑAL	
FUERA DE SERVICIO	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
REQUIERE TRABAJO EXTERIOR	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO

EVALUACION	
INICIAL	SI.

No. DE FORJADO	
4P-2616	

THRUST FACE / BANCADA	
Valor Mínimo	2.931
Valor Máximo	2.939"
Lectura	2.939"

**OBSERVACIONES**

Cigüeñal con los muñones de bielas y bancada rectificadas en -.050", y los de bielas en -.025" con las medidas dentro las tolerancias respectivas a excepción del muñon de biela #. 7 el cual se encuentra deformado por recalentamiento afectando los radios de curvatura y las paredes laterales.

No se realiza medidas de Flexion al no considerar necesario.

Engranajes en buenas condiciones.

Resultado de Magneflux de los engranajes SIN RAYADURAS, se reemplazan los pernos de acople.

### **6.5. Análisis causa raíz de la falla.**

La falla principal del motor se centró en el agarrotamiento de los metales de biela de los cilindros N° 3 y 4; hechos que dieron inicio a la falla catastrófica del motor, luego que fallaran los pernos de sujeción de la tapa de biela N° 3, provocando golpes de ésta biela contra el bloque, hasta culminar con su rotura.

El tipo de fractura hallado en los pernos de la biela progresó de manera rápida, condicionado por el mayor espacio que generaron los metales girados y laminados, lo que sobrecargó a los pernos por tensión y uno de ellos por flexión reversible.

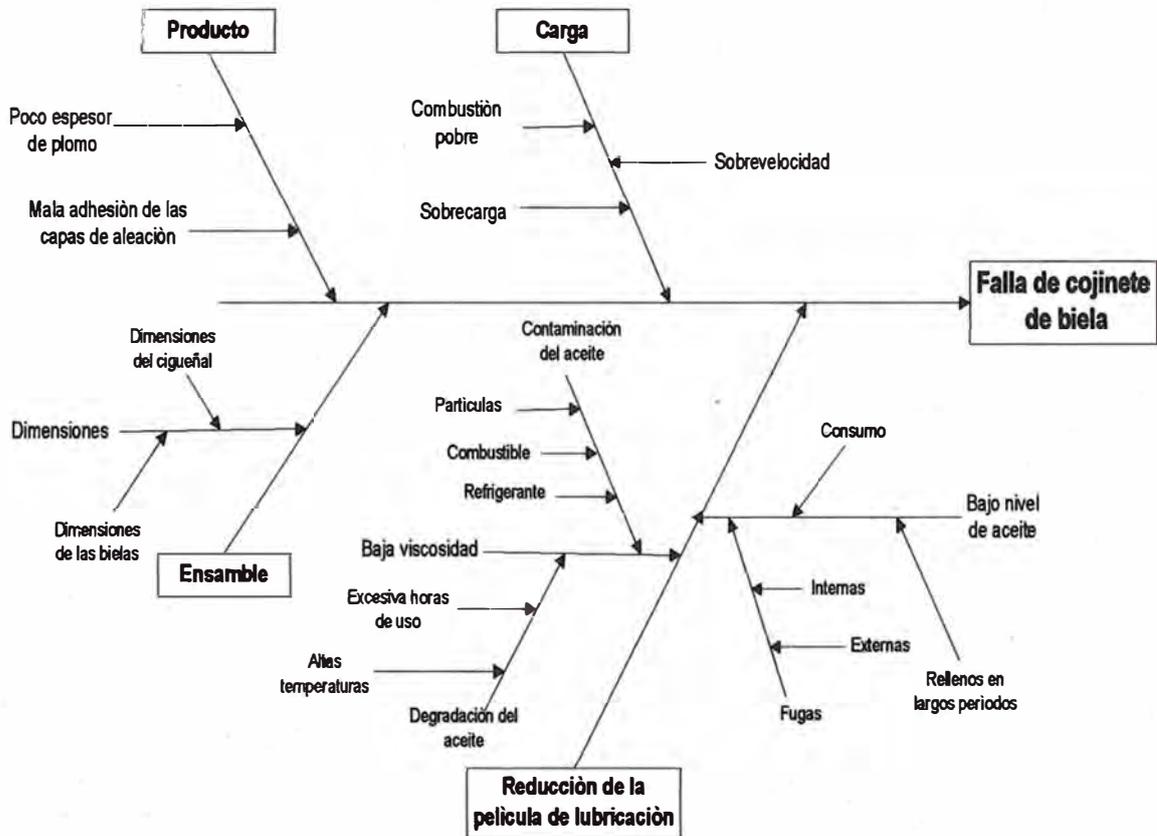
Durante el desarmado no se halló material contaminante obstruyendo las líneas de lubricación del bloque, ni del cigüeñal, que llevan el aceite hasta esos metales.

Se analizó la posibilidad de que el perno de biela que se encontró fatigado empezara la secuencia de falla, sin embargo se encontraron las siguientes incongruencias que desestimaron esta posibilidad:

- a) Para que se abra la tapa de biela es necesario que se rompan los dos pernos que sujetan la tapa por lado. Como el otro perno fracturado es del tipo dúctil (es producido por una carga de tensión súbita), ello no habría permitido al metal de biela girarse en su alojamiento y recalentarse como se encontró.
- b) Las marcas de playa son pronunciadas, lo que indica que el tiempo de propagación fue relativamente corta y no de 12,133 hrs.

No se ha descartado la existencia de una sobrecarga puntual en el cilindro N° 3 a consecuencia de una traba hidráulica o impactos con las cabezas de válvulas, lo cual ocasionaría una sobrecarga puntual en ese cojinete de biela, acelerando su desgaste.

A continuación utilizaremos el diagrama causa-efecto, para plantear y analizar las probables causas que conllevaron a la falla del motor



## Desarrollo de la Espina de Pescado

	Causa Raíz	Comentario
PRODUCTO	Espesor de la capa de plomo estaño	Los metales analizados no presentan defectos en el material. No se pudo analizar los metales fallados por estar muy dañados.
	Adhesión entre capas	Los metales analizados no presentan defectos en el material. No se pudo analizar los metales fallados al haber perdido las capas
CARGA	Sobrevelocidad	Eventos en el rango de 2200 a 2400 RPM (21 casos). 10 % por arriba De la alta en vacío, que no debió afectar a las partes del motor.
	Mala Combustion	Pistones, Camisas con desgastes. Varios eventos de trabajos con altas temperaturas
	Sobrecargas del motor	Consumo promedio de 44.93 gal/hr que equivale a un factor de carga promedio de 37.15%. No estuvo sobrecargado.
	Arranques en seco	Algunos eventos de anulación de pre-lube (51). Se descarta porque el desgaste de metales es focalizado y no generalizado
ARMADO	Dimensiones - Cigüeñal	Se encontraron dentro de especificaciones. Se descarta
	Dimensiones - Biela	Se encontraron dentro de especificaciones. Se descarta
	Ajuste Pemos de Biela	Existen procedimientos establecidos realizados por técnicos calificados
	Limpieza Asientos de metales	Se encontraron dentro de especificaciones. Se descarta
REDUCCION CAPA DE ACEITE	Dilución - Combustible	Muestras de aceite no muestran problemas con la viscosidad
	Dilución - Refrigerante	La muestra del 26/05 indica la presencia de Na 144 y los valores de plomo se incrementaron a 5ppm
	Degradación -Extensión cambios de aceite	Muestras de aceite no muestran problemas con la viscosidad. No se ha podido analizar la composición del aceite.
	Degradación - Altas temperaturas	Muestras de aceite no muestran problemas con la viscosidad
	Baja Presión - Fugas Internas	Tendencias de presiones dentro de especificaciones. No hay eventos de bajos niveles de aceite durante operación, sin embargo se observa que estos han estado trabajando cerca al rango inferior
	Baja Presión - Fugas Externas	Tendencias de presiones dentro de especificaciones. No hay eventos de bajos niveles de aceite durante operación
	Bomba de aceite	Muestras de aceite no muestran problemas con la presión.

Lo descrito nos conduce a indicar que la falla se habría originado por un problema del cojinete de biela del cilindro N° 3, la cual durante el funcionamiento del motor perdió material debido a un desgaste por debilitamiento del material y/o pérdida de adherencia de las capas de cobre-estaño y aluminio; ocasionando la siguiente secuencia de hechos:

1. El desgaste del cojinete incrementó la luz y por consiguiente el juego entre la biela-cojinete-cigüeñal, por lo cual la biela empezó a golpear, al cojinete y éste contra el cigüeñal, produciendo:

- Cargas excesivas a los pernos de la tapa de biela.
  - Giro del cojinete hasta superponerse ambas mitades.
  - Adhesión del material del cojinete en el puño del cigüeñal.
  - Incremento de la carrera del pistón, cuya corona impactó con las cabezas de las válvulas.
2. La sobrecarga en los pernos de biela ocasionó la fisura en la raíz (zona más débil por ser concentrador de esfuerzos normales) en uno de ellos y posterior fractura de fatiga por flexión reversible. Al fallar ése perno, el contiguo se sobrecargó más aún con cargas de tracción, produciéndole el estiramiento (deformación plástica) y posterior fractura dúctil.
  3. Al quedar gradualmente la tapa de biela sin los 2 pernos de un lado, ésta quedó suelta, y con la fuerza centrífuga produjo un movimiento tipo bisagra con cargas muy altas a los otros 2 pernos de la biela, doblándolos y ocasionándoles la fractura dúctil.
  4. Cuando la tapa de biela por un momento quedó prácticamente colgando, ésta impactó en la parte inferior de la camisa, partes laterales del cigüeñal y laterales del bloque, ocasionando las fracturas correspondientes.
  5. Los otros daños encontrados en los pistones, caña de biela, otros cojinetes, etc. fueron consecuencia de las partículas metálicas sueltas en la parte interna del bloque y de la contaminación del aceite respectivamente.

### 6.6. Costo aproximado de la reparación

- <u>Mano de Obra</u>		US\$	18,474.00
Mano de Obra	13,800.00		
Materiales	3,174.00		
Prueba en el dinamómetro	1,250.00		
- <u>Repuestos (Ver en el Anexo 04 la relación valorizada)</u>		US\$	224,776.20
- <u>Trabajos Exteriores (Reacondicionamiento de partes)</u>		US\$	13,150.00
			<hr/>
	Valor Venta Total	US\$	256,400.20
	IGV (19%)	US\$	48,716.04
	Precio de Venta Total	US\$	305,116.23

**Nota:** El precio de un motor nuevo es aproximadamente US\$ 475,000 + IGV; es decir el costo de la reparación equivaldría al 53.98% de un motor nuevo.

### 6.7. Recomendaciones:

1. Verificar y registrar los parámetros de operación y del buen funcionamiento de los componentes de un motor o máquina, que son adquiridas en condición de usados; así como el análisis concienzudo de todos los fluidos.

## CONCLUSIONES

1. La aplicación del análisis causa raíz en la empresa Ferreyros, le ha permitido brindar buen soporte técnico para mejorar los procesos de reparación en sus talleres y ayudar a los usuarios a prevenir fallas repetitivas en los motores diesel.
2. La experiencia en la identificación del origen de las fallas en los diversos sistemas de los motores diesel, ha conllevado a desarrollar un procedimiento práctico y sencillo para tal fin.
3. El conocimiento de las fallas más comunes en los motores diesel Caterpillar, permite al usuario prever de un stock de repuestos de protección, para utilizarlos en una pronta corrección de algún problema diagnosticado mediante el monitoreo de condiciones, antes de convertirse en una falla mayor.
4. Profundizar y especializar el conocimiento del funcionamiento y estimación de la vida útil de las piezas y/o componentes de los sistemas del motor diesel.
5. Evita reparaciones costosas y baja disponibilidad operativa de las máquinas al aplicar las medidas correctivas y recomendaciones que se derivan de identificar la causa raíz más probable de la falla.

6. Plantear alternativas de solución o informar detalladamente al fabricante de los problemas de diseño o de fabricación que que son las causas de fallas, para que se revisen y planteen las soluciones técnicas correspondientes.
7. El éxito en la identificación de la causa raíz de la falla, es incentivar que todas las áreas que participan en el proceso (usuario, gerencia, técnico de campo, talleres, logística, etc.) estén comprometidos en su ejecución y mejora continua.
8. Fortalecer la importancia y cumplimiento de los programas de mantenimientos preventivos recomendado por el fabricante y monitoreo de condiciones de los motores, lo que redundará en la disminución de la cantidad de fallas, dará mayor seguridad en la operación de las máquinas; y por consiguiente se reducirá los costos de los mantenimientos correctivos e incrementará la rentabilidad de la máquina.
9. Mejora la operatividad de las flotas de máquinas y la producción.
10. Crear registros de base de datos históricos para en el futuro decidir la adquisición de motores y/o máquinas con menores probabilidades de fallas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Motores de Combustión Interna – Análisis y Aplicaciones.  
EDWARD F. OBERT.
2. Motores de Combustión Interna  
JAIME GILARDI.
3. Introducción a los Motores Diésel  
CAPACITACIÓN TÉCNICA DE CATERPILLAR - FORM TSCB6005.
4. Motores Diésel – Su funcionamiento y Desgaste  
CAPACITACIÓN TÉCNICA DE CATERPILLAR - FORM TSCB6006.
5. Curso de Análisis de Fallas Aplicado I de Caterpillar.  
CATERPILLAR REFERENCE BOOK ( 11 Módulos )
6. ASM Handbook , Volume 11 – Failure Análisis and Prevention  
ASM INTERNATIONAL.
7. Construcciones Industriales - 5º Ingeniería Industrial  
JUAN CHEMÉ TARIFONTE - ANDRÈS GONZÁLEZ AGUILAR  
INTERNET – <http://grupos.unicon.es/gidai/asignaturas/CI/MMT.pdf>.
8. Enciclopedia Wikipedia  
INTERNET – <http://es.wikipedia.org>.

# **ANEXOS**

## **ANEXO 01**

### **LÌNEA DE PRODUCTOS CATERPILLAR**



# ● Caterpillar® Product Line

## Table of Contents



<b>Articulated Trucks</b> .....	7	<b>Pipelayers</b> .....	5
<b>Backhoe Loaders</b> .....	3	<b>Power</b>	
<b>Compactors – Landfill, Soil</b> .....	6	<b>Engines</b> .....	11
<b>Excavators – Hydraulic Excavator,     Mass, Front Shovel, Demolition, Wheel</b> .....	4	<b>Generator Sets</b> .....	14
<b>Forest Products</b> .....	8	<b>Gas Engines</b> .....	15
<b>Feller Bunchers</b> .....	8	<b>Electrical Systems</b> .....	15
<b>Forest Machines</b> .....	8	<b>Rental Products</b> .....	15
<b>Forwarders</b> .....	9	<b>Scrapers – Wheel-Tractor</b> .....	6
<b>Knuckleboom Loaders</b> .....	9	<b>Skid Steer Loaders</b> .....	3
<b>Skidders – Track, Wheel</b> .....	8	<b>Telehandlers</b> .....	4
<b>Track Harvesters</b> .....	9	<b>Track-Type Tractors</b> .....	5
<b>Wheel Loaders</b> .....	8	<b>Track Loaders</b> .....	6
<b>Integrated Toolcarriers</b> .....	3	<b>Underground Mining Equipment</b>	
<b>Material Handlers – Track, Wheel</b> .....	5	<b>Articulated Trucks</b> .....	7
<b>Motor Graders</b> .....	6	<b>Load/Haul/Dump</b> .....	7
<b>Multi Terrain Loaders</b> .....	3	<b>Wheel Dozers</b> .....	6
<b>Off Highway Trucks</b> .....	7	<b>Wheel Loaders</b> .....	3
<b>Off Highway Tractors</b> .....	7		
<b>Paving Equipment</b>			
<b>Asphalt Paving Equipment</b> .....	10		
<b>Cold Planers</b> .....	10		
<b>Compactors – Vibratory Soil,         Asphalt, Pneumatic</b> .....	10		
<b>Road Reclaimers</b> .....	10		



## Backhoe Loaders



Model	Net Power		Operating Weight		Dig Depth	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	m
416D	74	55	15,257	6900	14'5"	4390
420D/420D IT	89	66	15,772	7150	14'5"	4390
430D/430D IT	97	72	16,217	7355	15'3"	4689
446D	102	76	19,666	8939	16'10"	5142

## Skid Steer Loaders



Model	Power		Rated Operating Capacity		Operating Weight	
	hp	kW	lb	kg	lb	kg
216B	49	37	1,400	635	5,709	2589
226B	57	42	1,500	680	5,834	2646
232B	49	37	1,750	793	6,661	3021
236B	70	52	1,750	793	7,007	3178
242B	57	42	2,000	907	6,802	3085
246B	78	58	2,000	907	7,142	3239
248B	76	57	2,000	907	7,321	3320
252B	70	52	2,500	1134	7,832	3552
262B	78	58	2,700	1225	7,861	3565
268B	76	57	2,700	1225	7,995	3626

## Multi Terrain Loaders



Model	Net Power		Operating Weight	Operating Capacity	Ground Pressure	
	hp	kW			psi	kg
247B	57	42	6,668	3024	1,367	620
257B	57	42	7,559	3428	1,615	732
267B	70	52	9,371	4250	2,030	920
277B	78	58	9,411	4269	2,065	936
287B	78	58	10,275	4660	2,520	1143

## Integrated Toolcarriers



Model	Power		Operating Weight		Bucket Range	
	hp	kW	lb	kg	yd <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
IT14G	96	72	18,629	8450	1.57-1.83	1.2-1.4
IT38G Series II	180	134	30,183	13,691	3.0-3.25	2.3-2.5
IT62G Series II	210	157	40,909	18,556	4.0-4.25	3.1-3.25

## Wheel Loaders



Model	Power		Operating Weight		Bucket Capacity	
	hp	kW	lb	kg	yd <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
904B	52	39	9,811	4450	0.78	0.6
906	68	51	10,935	4960	1.05	0.8
908	76	57	13,316	6040	1.31	1.0
914G	96	72	17,527	7950	1.57-1.83	1.2-1.4
924G	129	96	24,990	11,340	2.2-3.6	1.7-2.8
924Gz	129	96	23,920	10,850	2.2-2.7	1.7-2.1
928Gz	143	107	27,140	12,310	2.6-3.0	2.0-2.3
930G	149	111	28,725	13,029	2.6-6.5	2.1-5.0
938G Series II	180	134	29,657	13,452	3.0-4.0	2.3-3.0
950G Series II	196	146	39,198	17,780	3.5-4.5	2.7-3.5
962G Series II	210	157	40,889	18,547	3.75-5.0	2.9-3.8
966G Series II	260	194	50,137	22,748	4.5-5.5	3.4-4.25
972G Series II	285	213	56,180	25,490	5.0-6.0	3.8-4.7
980H	318	237	68,489	31,066	5.0-8.0	3.8-6.1
988H	475	354	109,249	49,546	8.2-9.2	6.3-7.0
990 Series II	625	466	168,617	76,484	11.0-12.0	8.4-9.2
992G	800	597	209,783	94,927	15.0-16.0	11.5-12.3
994F	1,438	1072	430,858	195,434	18.5-42.0	14.0-32.0

## Waste Handling Arrangements

Model	Flywheel Power		Operating Weight		Bucket Capacity	
	hp	kW	lb	kg	yd <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
IT38G Series II WHA	180	134	30,183	13,691	3.0-3.25	2.3-2.5
IT62G Series II WHA	210	157	40,909	18,556	4.0-4.25	3.1-3.25
924G HL WHA	129	96	26,228	11,897	6.5	5.0
924G Hook-On WHA	129	96	26,038	11,811	6.5	5.0
924G Pin-On WHA	129	96	26,038	11,811	6.5	5.0
924Gz WHA	129	96	24,276	11,011	2.2	1.7
928Gz WHA	143	107	28,236	12,808	2.9	2.2
930G WHA	149	111	29,073	13,187	4.0-6.5	3.1-5.0
938G Series II WHA	180	134	31,113	14,113	5.5	4.21
950G Series II WHA	196	146	41,136	18,659	6.8	5.2
962G Series II WHA	210	157	43,142	19,569	6.8	5.2
966G Series II WHA	260	194	51,671	23,444	8.5	6.5
972G Series II WHA	285	213	56,328	25,557	8.5	6.5
980H WHA	318	237	68,489	31,066	13.7	10.5

## Excavators



Model	Net Power		Operating Weight		Max Reach/Depth	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	m
301.5	17.4	13	3,825	1735	12'9"/7'8"	3.89/2.33
301.6	17.4	13	3,946	1790	12'9"/7'8"	3.89/2.33
301.8	17.4	13	4,112	1865	12'9"/7'8"	3.89/2.33
302.5	22.9	17.1	6,135	2783	16'2"/9'8"	4.93/2.95
303 CR	27.1	20.2	7,540	3420	18'1"/10'11"	5.50/3.33
304 CR	37	27.3	9,899	4490	19'11"/12'4"	6.08/3.75
305 CR	43	32	11,001	4990	20'7"/12'11"	6.27/3.93
307C	54	41	15,895	7210	22'1"/15'3"	6.74/4.6
307C SB	54	41	18,479	8390	24'4"/15'5"	7.44/4.7
308C CR	54	41	17,730	8040	22'3"/15'5"	6.84/4.7
311C U	79	59	26,410	11,980	26'7"/18'4"	8.1/5.6
312C	90	67	28,350	12,860	28'4"/19'10"	8.6/6.0
312C L	90	67	28,970	13,140	28'4"/19'10"	8.6/6.0
314C CR	90	67	32,190	14,610	28'4"/19'6"	8.6/6.0
314C LCR	90	67	32,590	14,810	28'4"/19'6"	8.6/6.0
315C	110	82	36,160	16,400	30'0"/21'6"	9.1/6.6
315C L	110	82	36,930	16,750	30'0"/21'6"	9.1/6.6
316C L	125	93	43,320	19,650	31'7"/22'6"	9.6/6.9
316C LN	125	93	42,660	19,350	31'7"/22'6"	9.6/6.9
320C	138	103	43,400	19,700	35'2"/25'1"	10.7/7.6
320C L	138	103	46,300	21,000	35'2"/25'1"	10.7/7.6
320C U	138	103	49,200	22,300	35'2"/25'1"	10.7/7.6
320C LU	138	103	50,700	23,000	35'2"/25'1"	10.7/7.6
321C LCR	138	103	52,911	24,000	31'9"/21'9"	9.69/6.62
322C L	165	123	53,400	24,200	34'4"/23'8"	10.5/7.2
325C L	188	140	63,100	28,600	34'7"/23'4"	10.5/7.1
330C L	247	184	77,400	35,100	38'2"/26'7"	11.64/8.09
345C L	345	257	99,150	44,970	42'6"/29'3"	12.96/8.9
365C L	404	302	145,430	65,960	46'1"/31'0"	14.04/9.64
385C L	513	382	187,360	84,980	56'5"/38'7"	17.2/11.75

## Mass Excavators



Model	Power		Operating Weight	Bucket Capacity Range
	hp	kW		
385B L ME	513	382	191,470	86,930

## Front Shovels



Model	Power		Operating Weight	Bucket Capacity Range
	hp	kW		
5030B FS	513	382	192,900	87,500

## Wheel Excavators



Model	Power		Operating Weight		Max Reach/Depth*	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	m
M313C	115	86	32,520	14,750	29'8"/18'5"	9.05/5.6
M315C	121	91	36,710	16,650	30'11"/18'10"	9.41/5.75
M316C	138	103	40,120	18,200	30'11"/19'5"	9.41/5.92
M316C	151	113	43,420	19,700	31'7"/20'4"	9.62/6.2
M322C**	164	122	50,045	22,700	33'9"/21'3"	10.29/6.47

\* Maximum digging depth with longest boom/stick options  
 \*\* Material handler versions of the M322C available



## Demolition Excavators

Model	Net Power		Operating Weight		Max Reach/Height	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	m
325C UHD	172	128	78,264	35,500	35'1"/58'0"	10.7/17.7
330C L	247	184	80,248	36,408	33'1"/30'1"	10.1/9.2
330C UHD	243	181	106,900	48,490	45'2"/69'10"	13.8/21.3
345C UHD*	345	257	135,584	61,500	54'1"/85'1"	16.5/26.0
345C UHD*	345	257	145,284	65,900	59'4"/91'2"	18.1/27.8
365C UHD	404	301	189,156	85,800	70'10"/108'11"	21.8/33.2
385C UHD*	512	382	202,604	91,900	60'0"/98'5"	18.3/30.0
385C UHD*	512	382	208,116	94,400	79'4"/119'0"	24.2/36.3
385C UHD*	512	382	212,745	96,500	82'7"/129'11"	25.2/39.6

\* 85'4" (26 m) boom  
 \* 91'10" (28 m) boom  
 \* 98'5" (30 m) boom  
 \* 118'1" (36 m) boom  
 \* 131'2" (40 m) boom

## Telehandlers



Model	Power		Operating Weight	Rated Capacity		Lift Height		
	hp	kW		lb	kg			
TH210	83	61	12,450	5647	4,850	2200	170"	5.2
TH215	83	61	12,668	5746	5,500	2500	18'1"	5.5
TH220B	97.9/117.5	73.1/87.6	14,700	6670	5,500	2500	20'0"	6.0
TH330B	97.9/117.5	73.1/87.6	15,500	7020	7,000	3200	24'0"	7.0
TH350B	97.9	73.1	18,700	8480	6,600	3000	36'0"	11.0
TH360B	97.9	73.1	20,800	9440	7,000	3200	44'0"	13.0
TH460B	97.9	73.1	23,700	10,760	9,000	4000	44'0"	13.0
TH520B	97.9	73.1	26,700	12,100	11,000	5000	44'0"	13.0
TH580B	97.9/117.5	73.1/87.6	27,465	12,458	10,000	4540	56'0"	17.0

## Track Material Handlers



Model	Net Power		Operating Weight		Max Reach/Height	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	m
320C MH	138	103	56,280	25 530	40'8"/44'11"	12.4/13.7
325C MH	188	140	76,350	34 630	46'4"/49'6"	14.1/15.1
325C MH	188	140	76,350	34 630	50'10"/53'6"	15.5/16.3
330C MH	247	184	96,600	43 815	48'1"/49'3"	14.6/15.0
330C MH	247	184	96,600	43 815	52'2"/53'10"	15.9/16.4
345C MH	345	257	123,580	56 100	54'2"/54'6"	16.5/16.6
345C MH	345	257	124,350	56 450	59'0"/59'0"	18.0/18.0
365C MH	404	301	165,000	74 900	56'0"	17.1
365C MH	404	301	165,000	74 900	65'0"	19.8
385C MH	513	383	195,000	88 500	57'0"	17.4
385C MH	513	383	195,000	88 500	72'0"	21.9

\* With large unloading front



## Track-Type Tractors

Model	Power		Operating Weight		Blade
	hp	kW	lb	kg	
D3G XL**	70	52	16,227	7351	VPAT
D3G LGP**	70	52	17,160	7784	VPAT
D4G XL**	80	60	17,317	7855	VPAT
D40 LGP**	80	60	18,073	8198	VPAT
D5G XL**	90	67	19,662	8919	VPAT
D5G LGP**	90	67	20,434	9269	VPAT
D5N XL†	115	86	28,258	12 818	VPAT
D5N LGP†	115	86	30,131	13 665	VPAT
D6N XL (FTC)†	145	108	34,209	15 517	VPAT, SU
D6N XL (DS)†	145	108	35,467	16 085	VPAT, SU
D6N LGP (FTC)†	145	108	38,879	17 832	VPAT
D6N LGP (DS)†	145	108	40,173	18 219	VPAT
D6R Series II Std.*	165	123	40,400	18 325	S, SU, A
D6R Series II XL*	185	138	41,252	18 709	SU, A, PAT
D6R Series II XW*	185	138	43,888	19 904	SU, A, PAT
D6R Series II LSP††	185	138	45,086	20 451	S, PAT
D7R Series II Std.*	240	179	54,582	24 758	S, SU, U, A
D7R Series II XR*	240	179	55,852	25 334	S, SU, U, A
D7R Series II LSP††	240	179	59,299	26 897	S
D8T**	310	231	84,850	38 488	SU, U, A
D9T**	410	306	105,600	47 900	SU, U
D10T**	580	433	145,507	66 001	SU, U
D11R**	850	634	230,100	104 590	SU, U
D11R Carrydozer**	850	634	248,600	113 000	CD

\* Available with MS ripper, counterweight

\*\* Available with MS ripper, SS ripper, counterweight

† Available with MS ripper

†† Available with counterweight

Winch available for D3G to D10T

## Wheel Material Handlers



Model	Net Power		Operating Weight		Max Reach/Height	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	m
M313C Ind*	115	86	32,520	14 750	26'0"/28'0"	7.9/8.5
M315C Ind*	121	91	36,710	16 650	27'6"/29'6"	8.3/8.9
M316C Ind*	138	103	40,120	18 200	27'6"/29'6"	8.3/8.9
M318C Ind*	151	113	43,420	19 700	28'0"/28'3"	8.5/8.6
M318C MH	151	113	47,311	21 460	36'0"/40'11"	11/12.5
M322C MH	164	122	54,530	24 690	40'11"/43'8"	12.5/13.3
M325C MH	173	128	66,140	30 000	47'0"/52'4"	14.3/16.0
M325C MH	173	128	66,140	30 000	51'3"/56'3"	15.6/17.1
M325C L MH	188	140	81,570	37 000	47'0"/54'9"	14.3/16.6
M325C L MH	188	140	81,570	37 000	51'3"/58'4"	15.6/17.8
W345B MH Series II	321	239	141,650	64 250	54'0"/54'8"	16.5/16.7

\* Industrial Stick

## Waste Handling Arrangements

Model	Power		Operating Weight		Blade
	hp	kW	lb	kg	
D5N XL WHA	115	85	28,690	13 013	VPAT
D5N LGP WHA	115	85	29,649	13 447	VPAT
D6N XL (FTC) WHA	145	108	35,444	16 077	VPAT, SU
D6N XL (DS) WHA	145	108	36,923	16 748	VPAT, SU
D6N LGP (FTC) WHA	145	108	39,203	17 782	VPAT
D6N LGP (DS) WHA	145	108	41,153	18 667	VPAT
D6R Series II WHA	165	123	45,370	20 600	S, SU
D7R Series II WHA	240	179	61,500	27 920	S, SU, U
D8T WRA	310	231	85,150	38 660	SU, U
D9T WRA	410	306	109,180	49 567	SU, U
D10T WRA	580	433	144,986	65 764	U

## Pipelayers



Model	Power		Operating Weight		Lifting Capacity	
	hp	kW	lb	kg	lb	kg
561N	110	82	35,804	16 240	40,000	18 145
572R Series II	240	179	67,000	30 391	90,000	40 800
583R	305	228	98,650	44 748	140,000	63 504
589	420	313	150,920	68 456	230,000	104 330

## Track Loaders



Model	Power		Operating Weight*		Bucket Capacity	
	hp	kW	lb	kg	yd <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
939C GP	90	67	20,908	9484	1.5	1.2
953C GP	128	95	33,389	15,145	2.4	1.85
963C GP	158	118	43,096	19,589	3.2	2.45
973C GP	230	172	58,932	26,731	4.2	3.2

\* Includes GP bucket plus long hold-on teeth and segments

### Waste Handling Arrangements

Model	Power		Operating Weight*		Bucket Capacity	
	hp	kW	lb	kg	yd <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
953C WHA GP	128	95	34,033	15,437	3.5	2.7
963C WHA GP	158	118	44,606	20,233	5.5	4.2
973C WHA GP	230	172	63,639	28,866	7.25	5.58

\* Includes GP Landfill bucket with bottom cutting edge



## Landfill Compactors

Model	Net Power		Operating Weight		Blade Width Over End Bits	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	mm
816F	240	179	52,364	23,748	120"	3657
826H	354	299	81,498	36,967	149"	4502
836H	468	349	118,348	53,682	170"	5193



## Soil Compactors

Model	Net Power		Operating Weight		Blade Width Over End Bits	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	mm
815F	240	179	45,765	20,755	12'4"	3761
825H	354	264	72,164	32,734	15'2"	4628



## Wheel Dozers

Model	Power		Operating Weight		Blade Width	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	mm
814F	240	179	47,877	21,713	11'9"	3596
824H	354	264	63,325	28,724	14'8"	4507
834H	498	372	103,849	47,106	16'7"	5074
844	625	466	156,120	70,815	17'9"	5418
854G	800	597	219,128	99,395	20'9"	6321

## Motor Graders



Model	Net Power		Optional		Operating Weight		Standard Blade Length	
	Standard hp	kW	hp	kW	lb	kg	ft	mm
120H	125	93	125/140	93/104	27,600	12,519	12	3658
135H	135	101	135/155	101/116	28,550	12,950	12	3658
12H	145	108	145/185	108/138	31,410	14,247	12	3658
140H	165	123	165/205	123/153	32,460	14,724	12	3658
143H	165/185	123/138	165/205	123/153	33,120	15,023	12	3658
160H	180	134	180/220	134/164	34,360	15,585	14	4267
163H	180/200	134/149	180/220	134/164	36,460	16,538	14	4267
14H	220	164	220/240	164/179	41,410	18,783	14	4267
16H	265	198	265/285	198/213	54,560	24,748	16	4877
24H*	500	373			140,000	63,502	24	7315

\* Ripper is standard on the 24H and included in the operating weight

## Wheel Tractor-Scrapers



Model	Power		Capacity struck/heaped		Top Speed Loaded	
	hp	kW	yd <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	mph	km/h
613C Series II	175	131	9/11	7/8	22	35
615C Series II	265	197	14/17	11/13	28	44
6216*	330/365	246/272	16/22	12/17	32	51
6236	330/365	246/272	18/23	14/18	32	51
6276*	(T) 330/365 (S) 225/249	246/272 168/186	16/22	12/17	32	51
6316*	450/485	336/362	24/34	18/26	33	53
6376*	(T) 450/485 (S) 249/274	336/362 186/204	24/34	18/26	33	53
6376 Coal Bowl*	(T) 450/485 (S) 249/274	336/362 186/204	41/50	31/38	34	55
661E*	550/605	410/452	32/44	25/34	33	53
667E*	(T) 590/605 (S) 400/440	410/452 298/328	32/44	25/34	33	53
667E Coal Bowl*	(T) 550/605 (S) 400/440	410/452 298/328	59/73	45/56	31	50

\* Auger configuration available

## Articulated Trucks



Model	Net Power		Operating Weight		Capacity	
	hp	kW	lb	kg	tons	m <sup>3</sup> /ton
725	301	225	49,075	22 260	26	23.6
730	317	237	50,375	22 850	31	28.1
730 Ejector	317	237	56,330	25 550	31	28.1
735	385	287	66,690	30 250	36	32.7
740	436	325	72,400	32 840	42	38
740 Ejector	436	325	78,505	35 610	42	38

## Off Highway Trucks



Model	Net Power		Capacity		Top Speed	
	hp	kW	ton	m <sup>3</sup> /ton	mph	km/h
769D	487	363	40.0	36.4	48.3	77.7
771D	487	363	45.0	41.0	35.6	57.3
773E	671	501	60.0	54.4	41.1	65.8
775E	730	544	70.0	63.5	41.1	65.8
777D	938	699	100.0	90.9	39.9	60.4
789C	1,348	1005	150.0	136.0	33.6	54.1
789C	1,790	1335	195.0	177.0	32.7	52.6
793C	2,166	1615	240.0	218.0	32.1	51.6
797B	3,370	2513	380.0	345.0	42.0	67.6

## Off Highway Tractors



Model	Net Power		Empty Weight		Typical Loads*	
	hp	kW	lb	kg	ton	m <sup>3</sup> /ton
776D	938	699	122,311	55 480	150	136
784C	1,348	1005	195,658	88 749	240	218

\* Application specific

## Underground Mining Equipment



### Articulated Trucks

Model	Net Power		Operating Weight		Body Range	
	hp	kW	lb	kg	yd <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
A030 Dump Truck	365	272	132,277	60 000	18.8-22.8	14.4-17.5
A045B Dump Truck	547	408	187,392	85 000	27.9-36.2	21.3-27.7
A055 Dump Truck	620	462	224,871	102 000	35.2-47.9	26.9-36.6

### Load/Haul/Dump

Model	Net Power		Operating Weight		Bucket Range	
	hp	kW	lb	kg	yd <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
R1300G Series II	139	104	50,816	23 050	3.14-4.45	2.4-3.4
R1600G	222	165	65,710	29 800	5.49-7.72	4.2-5.9
R1700G	242	180.5	84,880	38 500	6.0-11.4	4.6-8.8
R2500G	401	299	110,672	50 200	8.4-11.6	6.4-8.9
R2900G Xtra	417	311	123,679	56 100	10.6-15.2	8.2-11.6

## Forest Machines



Model	Power		Operating* Weight		Max Reach*	
	hp	kW	lb	kg	ft	m
320C FM	138	103	64,300	29 165	36	11.0
322C FM	168	125	72,555	32 910	40	12.2
329C FM	188	140	83,050	37 670	42	12.8
330C FM	247	184	97,973	44 440	45	13.7
345B II Logger	321	239	128,000	58 060	46-55	14.0-16.8

\* Operating weights and max. reaches are for HW machines. Operating weights do not include attachments.



## Skidders

### Track Skidders

Model	Net Power		Operating Weight		Track Length		Grapple Capacity Range	
	hp	kW	lb	kg	in	mm	ft <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
517 Grapple	120	89.5	40,450	18 364	114	2910	8.0	0.74
517 Cable	120	89.5	38,200	17 330	114	2910	8.0	0.74
527 Grapple	150	112	47,140	21 380	112	2846	9.0-10.0	0.84-0.93
527 Cable	150	112	38,000	17 235	112	2846	9.0-10.0	0.84-0.93



### Wheel Skidders

Model	Net Power		Operating Weight		Wheelbase		Grapple Capacity Range	
	hp	kW	lb	kg	in	mm	ft <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
525B	160	119	40,400	18 325	139.1	3533	12.5-14.4	1.16-1.34
535B	180	134	41,900	19 006	139.1	3533	14.4-16.6	1.34-1.54
545	200	149.1	44,600	20 230	151.0	3838	16.6-19.0	1.54-1.76

## Wheel Loaders



### Forest Machine Arrangements

Model	Power		Operating Weight		Full Turn Static Tipping Load	
	hp	kW	lb	kg	lb	kg
IT52G Series II*	210	157	40,380	18 316	24,890	11 290
950G Series II**	196	146	42,380	19 223	19,149	8686
966G Series II**	260	194	55,985	25 394	27,236	12 354
980H**	318	237	72,059	32 685	38,720	17 563

\* With Logging Forks  
\*\* With Mullyard Forks

## Feller Bunchers



### Track - Zero Tail Swing

Model	Rated Power*		Max Drawbar Pull		Max Reach (with Head)		Operating Weight (w/o Head)	
	hp	kW	lb	kg	ft	m	lb	kg
TK711	228	170.0	60,700	27 533	26.5	8.1	53,710	24 362
TK721	243	181.2	60,700	27 533	26.5	8.1	59,710	27 084
TK722	243	181.2	81,780	37 095	26.5	8.1	65,710	29 806
TK732	263	196.1	82,940	37 621	26.5	8.1	69,710	31 620

\* @ 2100 rpm



### Track - Full Tail Swing

Model	Rated Power*		Max Drawbar Pull		Max Reach (with Head)		Operating Weight (w/o Head)	
	hp	kW	lb	kg	ft	m	lb	kg
TK741	262	195.4	72,430	32 854	28.1	8.6	69,800	31 661
TK751	282	210.3	101,540	46 058	28.1	8.6	74,100	33 611
TK752	282	210.3	101,120	45 867	28.1	8.6	82,100	37 240

\* @ 2100 rpm



### Wheel Feller Bunchers

Model	Gross Power*		Wheelbase		Travel Speed**		Operating Weight (w/o Attachment)	
	hp	kW	in	cm	Low Range mph	High Range mph	lb	kg
TK340	175	130.5	101.5	255	0-5	0-14	25,300	11 476
TK350	200	149.1	113	287	0-5	0-14	27,275	12 372
TK360	225	167.8	113	287	0-5	0-14	27,775	12 600

\* @ 2200 rpm

\*\* Low Range: 8 km/5 mi  
High Range: 23.5 km/14.6 mi

## Forwarders



Model	Gross Power		Load Capacity		Loader Reach		Operating Weight	
	hp	kW	lb	kg	ft	m	lb	kg
TK434 (4-wheel)	125	93	16,000	7258	18.5	5.6	27,000	12,247
TK434L (4-wheel)	125	93	18,000	8165	18.5	5.6	29,000	13,154
TK436 (6-wheel)	125	93	24,000	10,866	18.5	5.6	31,000	14,062
TK45B (6-wheel)	170	127	30,000	13,608	18.5	5.6	36,000	16,330
TK45B (8-wheel)	170	127	32,000	14,515	18.5	5.6	44,515	17,237

## Track Harvesters



Model	Gross Power		Max Drawbar Pull		Max Reach		Operating Weight	
	hp	kW	ft-lb	kg-m	ft	m	lb	kg
TK001	165	123	34,500	4771.4	21	6.4	35,000	15,900
TK01HD	165	123	41,000	5670.3	21	6.4	35,000	15,900

Model	Rated Power*		Max Drawbar Pull		Max Reach (with Head)		Operating Weight (with Head)	
	hp	kW	ft-lb	kg-m	ft	m	lb	kg
TK011	228	170.0	60,700	27,533	32	9.8	25,300	11,476
TK021	243	181.2	60,700	27,533	32	9.8	27,275	12,372
TK022	243	181.2	81,780	37,095	32	9.8	27,775	12,600
TK032	263	196.1	82,940	37,621	32	9.8	69,340	31,450
TK041	262	195.4	72,430	32,854	37	11.3	64,000	29,030
TK051	282	210.3	101,540	46,058	37	11.3	67,900	30,800
TK052	282	210.3	101,120	45,867	37	11.3	75,900	34,430

\* @ 2100 rpm

## Knuckleboom Loaders



### Stationary Mount

Model	Gross Power		Max Reach		Operating Weight	
	hp	kW	ft	m	lb	kg
TK520 SM	75	55.9	27	8.2	35,086	15,915
TK520 SM/EHC	75	55.9	27	8.2	33,763	15,315
TK570 SM	100	74.5	32.6	9.9	41,766	18,945
TK570 SM/EHC	100	74.5	32.6	9.9	40,443	18,345

Note: Optional booms available

### Trailer Mount

Model	Gross Power		Max Reach		Operating Weight	
	hp	kW	ft	m	lb	kg
TK520	160	119	27	8.2	19,099	8663
TK540*	160	119	29	8.8	27,900	12,655
TK560*	160	119	32	9.8	32,200	14,606
TK570*	160	119	36	11	34,000	15,422
TK575*	160	119	36	11	34,000	15,422

\* Available with delimeter/slasher package  
Note: Optional booms available



## Vibratory Soil Compactors

Model	Net Power		Operating Weight		Drum Width	
	hp	kW	lb	kg	in	mm
CS-323C	83	62	9,680	4390	50	1270
CP-323C	83	62	10,190	4620	50	1270
CS-423E	83	62	14,875	6745	66	1676
CS-433E	100	75	14,875	6745	66	1676
CP-433E	100	75	15,750	7145	66	1676
CS-533E	130	97	23,900	10 840	84	2134
CS-553E	150	112	25,247	11 450	84	2134
CP-553E	150	112	26,195	11 880	84	2134
CS-573E	150	112	30,638	13 895	84	2134
CP-573E	150	112	31,035	14 075	84	2134
CS-633E	150	112	34,023	15 430	84	2134
CS-653E	173	129	37,710	17 100	84	2134
CP-653E	173	129	37,050	16 800	84	2134
CS-683E	173	129	41,460	18 800	84	2134



## Asphalt Paving Equipment

Model	Net Power		Operating Tractor Weight		Standard Paving Width	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	mm
AP-650B	130	97	30,655	13 917	8'0"	2400
AP-655C	174	130	34,000	15 420	8'0"	2400
AP-800D	130	97	28,990	13 162	8'0"	2400
AP-900B	153	114	31,850	14 445	10'0"	3000
AP-1000B	174	130	34,150	15 490	10'0"	3000
AP-1055D						
(Mobil-Trac™)	224	167	37,580	17 601	10'0"	3000
(Steel Track)	224	167	36,600	16 601	10'0"	3000
BG-225C	121	90	29,150	13 234	8'0"	2400
BG-230C	130	97	28,990	13 162	8'0"	2400
BG-240C	153	114	31,850	14 445	10'0"	3000
BG-260C	174	130	34,150	15 490	10'0"	3000
BG-265D						
(Mobil-Trac™)	224	167	37,580	17 601	10'0"	3000
(Steel Track)	224	167	36,600	16 601	10'0"	3000

### Screeds

Model	Standard Paving Width		Max Paving Width		Min Paving Width	
	ft-in	mm	ft-in	mm	ft-in	mm
Pavementer 108 (Diesel)	10'0"	3048	30'0"	9144	8'0"	2438
Extend-A-Mat 8-168 (Electric or Diesel)	8'0"	2438	20'2"	6146	6'0"	1828
Extend-A-Mat 10-208 (Electric or Diesel)	10'0"	3048	24'2"	7366	8'0"	2438
AS-2251 (Electric or Diesel)	8'2"	2500	20'5"	6200	6'2"	1900
AS-2301 (Electric or Diesel)	10'0"	3048	24'0"	7315	8'0"	2438



## Asphalt Compactors

Model	Net Power		Operating Weight		Drum Width	
	hp	kW	lb	kg	in	mm
CB-113	22	16.1	3,308	1500	35	880
CB-114	22	16.1	3,308	1500	31	800
CB-214E	32.7	24.4	5,400	2450	39	1000
CB-224E	32.7	24.4	5,800	2630	47	1200
CB-225E	32.7	24.4	5,070	2300	47	1200
CB-334E	50	37.3	8,731	3960	51	1300
CB-335E	50	37.3	8,092	3670	51	1300
CB-434D	83	62	16,280	7400	56	1422
CB-634D*	130	97	22,050	10 000	67	1700
CB-634D XW*	130	97	24,917	11 300	79	2000
CB-634D	145	108	28,160	12 800	84	2130

\* Available with Versa Vibe™ option



## Pneumatic Compactors

Model	Net Power		Operating Weight		Rolling Width	
	hp	kW	lb	kg	in	mm
PS-150C*	70	52	28,535	12 940	69	1750
PF-300C	100	75	50,820	23 100	76	1920
PS-300C	100	75	50,820	23 100	76	1920
PS-360C	105	98	55,115	25 000	90	2275

\* Heavy weight option available: 38,000 lb (17 273 kg)



## Cold Planers

Model	Net Power		Operating Weight		Cutting Width Standard		Max Working Depth	
	hp	kW	lb	kg	in	mm	in	mm
PM-201	650	486	86,360	38 165	83	2100	12	305



## Road Reclaimers

Model	Net Power		Operating Weight		Cutting Width Standard		Max Working Depth	
	hp	kW	lb	kg	in	mm	in	mm
RM-300	350	261	43,280	19 630	96	2438	20	508
RM-350B	500	373	53,680	24 350	96	2438	20	508

### C0.5 Engines

	hp	kW	BkW*
Industrial	11.0-13.7	8.2-10.2	-

### C0.7 Engines

	hp	kW	BkW*
Industrial	16.3-20.5	12.2-15.3	-



### C1.1 Engines

	hp	kW	BkW*
Industrial	23.3-28.1	17.4-21.0	-



### C1.5 Engines

	hp	kW	BkW*
Industrial	27.8-33.7	20.7-25.1	-



### C1.6 Engines

	hp	kW	BkW*
Industrial	35.5	26.5	-



### C2.2 Engines

	hp	kW	BkW*
Industrial	41.6-60	31-44.7	-

### C3.4 Engines

	hp	kW	BkW*
Industrial	57.6-80.5	43-60	-



### 3000 Engines

	hp	kW	BkW*
Petroleum	20-181	15-135	10-135
Marine	125-205	93-153	32-72



### 3054C/E, 3056E Engines

	hp	kW	BkW*
Industrial	67-180	50-134	-



### 3116 Engines

	hp	kW	BkW*
Petroleum	115-275	86-205	-



### C6.6 ACERT® Engines

	hp	kW	BkW*
Industrial	121-250	90-186	-

\* Generator set output in electrical kilowatts (BkW)

### 3126 Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	215-260	160-194	—
Petroleum	230	172	—
Marine	350-420	261-313	—

### 3126B Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	175-300	131-224	—
Petroleum	230-275	172-205	—

### C7 Engines



	hp	kW	EkW*
Marine	250-455	187-339	—

### C7 ACERT Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	200-250	149-186	—
On-Highway Vehicle	190-350	142-261	—

### 3300 Engines/ Generator Sets



	hp	kW	EkW*
Electric Power	—	—	164-250
Petroleum	85-335	63-250	112-250
Gas**	—	94-164	85-150

### C-9 Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	275-350	205-261	—
Marine	503	375	150-260

### C9 ACERT Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	275-375	205-280	—
On-Highway Vehicle	285-400	213-298	—
Marine	567	423	—

### C-10 Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	310-425	231-317	—
Petroleum	325-425	242-317	—

### C11 ACERT Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	325-450	242-336	—
On-Highway Vehicle	305-370	228-276	—
Petroleum	310-425	231-317	—

\* Generator set output in electrical kilowatts (EkW)  
\*\* Gas Ratings w/o fan

### C-12 Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	370-500	276-373	--
Petroleum	500	373	--

### C12 Engines



	hp	kW	EkW*
Marine	340-705	254-526	--

### C13 ACERT Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	385-520	287-388	--
On-Highway Vehicle	335-525	250-392	--
Petroleum	370-500	276-373	--

### C-15 Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	425-575	317-429	--

### C15 ACERT Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	440-595	328-444	--
On-Highway Vehicle	435-625	325-401	--
Petroleum	500-575	373-428	--
Marine	850	634	--

### C-16 Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	500-660	373-492	--
Petroleum	660	492	--

### C18 Engines



	hp	kW	EkW*
Marine	454-1001	339-747	275-550

### C18 ACERT Engines



	hp	kW	EkW*
Industrial	575-785	429-585	--

### C30 Engines



	hp	kW	EkW*
Marine	1500-1550	1119-1156	--

### C32 Engines



	hp	kW	EkW*
Marine	1100-1652	820-1232	--

\* Generator set output in electrical kilowatts (EkW)

### C32 ACERT Engines



	hp	kW	EkW*
Marine	1800	1343	—

### 3400 Engines/ Generator Sets



	hp	kW	EkW*
Industrial	270-1050	201-783	—
Electric Power	—	—	300-800†
Marine	250-1400	187-1044	200-590
Petroleum	500-900	373-671	150-725
Gas**	—	—	150-450

### 3500 Engines/ Generator Sets



	hp	kW	EkW*
Industrial	680-2100	507-1566	—
Electric Power	—	—	400-2250†
Marine	705-3000	526-2237	590-1825
Petroleum	915-2150	682-1604	400-2250
Gas**	—	—	210-2055

### 3600 Engines/ Generator Sets



	hp	kW	EkW*
Industrial	1998-6598	1490-4920	—
Electric Power	—	—	1375-4440†
Marine	2320-9652	1730-7200	1650-5200
Petroleum	2100-6172	1565-4604	1250-5320
Gas**	1500-4705	1193-3979	1155-3860

### CM Generator Sets



#### CM20 Engines

	hp	kW	EkW*
Electric Power	—	—	980-1470
Petroleum	1360-2320	1020-1710	980-1642

Alternator efficiency 96% at power factor 0.8

#### CM25 Engines

	hp	kW	EkW*
Electric Power	—	—	1730-2500
Petroleum	2410-3670	1850-2700	1776-2592

Alternator efficiency 96% at power factor 0.8

#### CM32 Engines

	hp	kW	EkW*
Electric Power	—	—	5590-7450
Petroleum	7416-9899	5530-7380	2794-7450

Alternator efficiency 97% at power factor 0.8

#### CM43 Engines

	hp	kW	EkW*
Electric Power	—	—	5240-10 475

Alternator efficiency 97% at power factor 0.8

Ratings for HFO application @ ISO conditions

### GCM34 Generator Set



	hp	kW	EkW*
Electric Power	—	—	5900
Petroleum	8180	6100	5917
Gas**	8180	6100	—

Alternator efficiency 97% at power factor 0.8, methanol no. ≥ 70

\* Generator set output in electrical kilowatts (EkW)

\*\* Gas Ratings w/o fan

† Electric power ratings are standby power at 60 Hz prime and/or continuous power. 50 Hz products are also available.

## Gas Engines

### G3300 Engines

	hp	kW	BkW*
Gas**	95-637	71-475	--

### G3400 Engines

	hp	kW	BkW*
Industrial	215-5045	160-3762	--
Gas**	95-637	71-475	--

### G3500 Engines

	hp	kW	BkW*
Industrial	215-5045	160-3762	--
Gas**	515-1675	384-1249	--

### G3600 Engines

	hp	kW	BkW*
Industrial	215-5045	160-3762	--
Gas**	1600-5045	1193-3762	--



## Olympian Generator Set

	hp	kW	BkW*
Electric Power	--	--	7-200
Gas**	--	--	11-125

## Electrical Systems



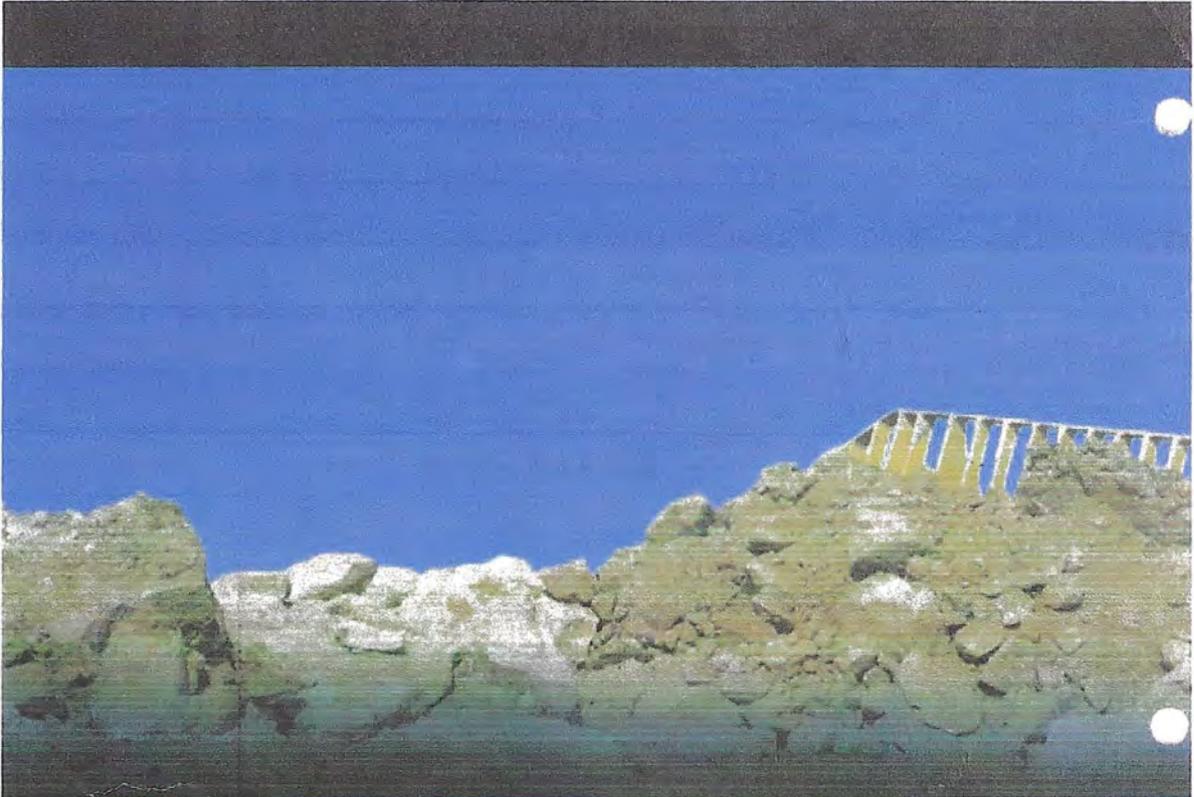
Uninterruptible Power Supply (UPS)	150 kVA – 3.6 MVA
Switchgear	Voltage Class Covered: 600 V, 5 kV and 15 kV Available Amp Range: 1000 A – 6000 A Applications: Emergency and utility paralleling, load management
Automatic Transfer Switches (ATS)	Voltage Class Covered: 600 V, 5 kV and 15 kV Applications and Available Amp Ranges: Open Transition: 40 A – 4000 A Closed Transition: 100 A – 4000 A By-Pass Open or Closed: 100 A – 4000 A



## Rental Products

Power Modules	7 – 1670 kW Diesel 50 Hz 20 – 2000 kW Diesel 60 Hz Up to 1250 kW Gas
Temperature Control Products	Chillers: 50 – 525 Tons Air Conditioners: 5 – 90 Tons
Turbines	5.2 MW Gas
Air Compressors	185 – 1500 cfm

\* Generator set output in electrical kilowatts (BkW)  
\*\* Gas Ratings w/o fan



**CATERPILLAR**

AECQ1042 09 (08-09)  
Replaces AECQ1042 051

Models and specifications are subject to change without notice.

[www.caterpillar.com](http://www.caterpillar.com)  
© 2009 Caterpillar  
All Rights Reserved.  
Printed in U.S.A.

CAT, CATERPILLAR, ACERT, their respective logos and "Caterpillar Yellow" as well as corporate and product identity used herein are trademarks of Caterpillar and may not be used without permission.

## **ANEXO 02**

**ESQUEMAS DE LAS MARCAS EN LAS SUPERFICIES DE  
LAS FRACTURAS POR FATIGA Y DE LAS FALLAS POR  
FATIGAS EN EJES– ASM HANDBOOK**

results plotted as a series of *S-N* curves. For design purposes, it is more useful to know how the mean stress affects the permissible alternating stress amplitude for a given life (number of cycles). This is usually accomplished by plotting the allowable stress amplitude for a specific number of cycles as a function of the associated mean stress. At zero mean stress, the allowable stress amplitude is the effective fatigue limit for a specified number of cycles. As the mean stress increases, the permissible amplitudes steadily decrease until, at a mean stress equal to the ultimate tensile strength of the material, the permissible amplitude is zero.

The two straight lines and the curve shown in Fig. 20 represent the three most widely used empirical relations. The straight line joining the alternating fatigue strength to the tensile strength is the modified Goodman law (Eq 2). Goodman's original law, which is no longer used, included the assumption that the alternating fatigue limit was equal to one-third of the tensile strength; this has since been modified to the relation shown in Fig. 20, using the alternating fatigue strength determined experimentally. Gerber found that the early experiments of Wöhler fitted closely to a parabolic relation, and this is known as Gerber's parabola (curve, Fig. 20). Gerber's law is given in Eq 3. The third relation, known as Soderberg's law (Eq 4), is given in Fig. 20 by the straight line from the alternating fatigue strength to the static yield strength. For many purposes it is essential that the static yield strength not be exceeded, and this relation is intended to fulfill the conditions that neither fatigue failure nor yielding occurs. The relations may be written mathematically as:

$$S_a = S \left[ 1 - \left( \frac{S_m}{S_u} \right) \right] \quad (\text{Eq 2})$$

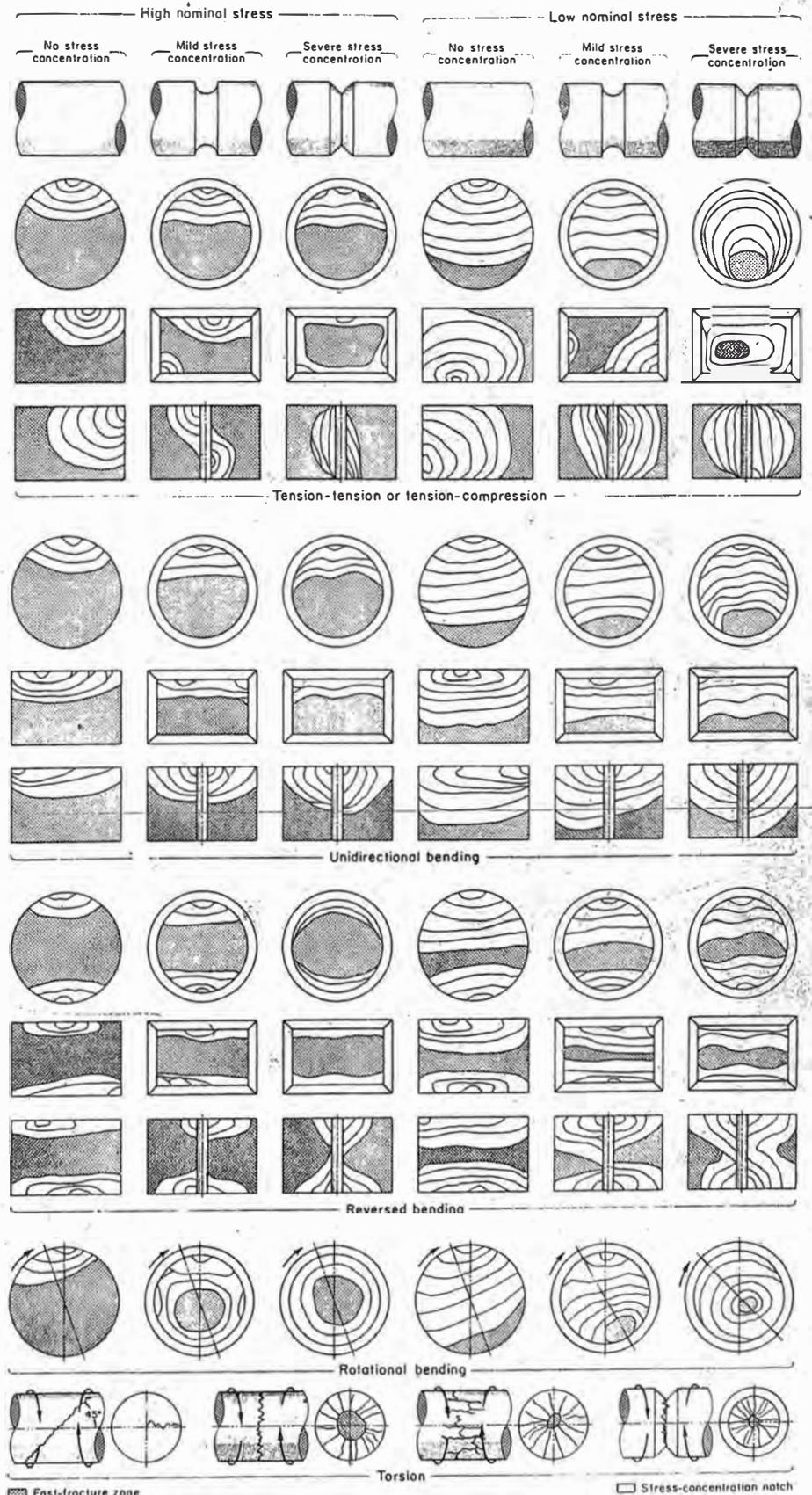
$$S_a = S \left[ 1 - \left( \frac{S_m}{S_u} \right)^2 \right] \quad (\text{Eq 3})$$

$$S_a = S \left[ 1 - \left( \frac{S_m}{S_y} \right) \right] \quad (\text{Eq 4})$$

where  $S_a$  is the alternating stress associated with a mean stress  $S_m$ ,  $S$  is the alternating fatigue strength,  $S_u$  is the tensile strength, and  $S_y$  is the yield strength.

An understanding of the Goodman, or constant-life, diagram has resulted in many varied and useful treatments for improving fatigue life. According to a constant-life diagram, increased tension decreases the fatigue life and increased compression increases it. Because most cracks originate at the surface of the part, placing the surface under compressive stress should be beneficial. Recognition of this has resulted in development of such surface treatments as nitriding, carburizing, shot peening, face rolling, and overstressing. When these treatments are properly applied, the sur-

**Fig. 18 Schematic of marks on surfaces of fatigue fractures produced in smooth and notched components with round, square, and rectangular cross sections and in thick plates under various loading conditions at high and low nominal stress**

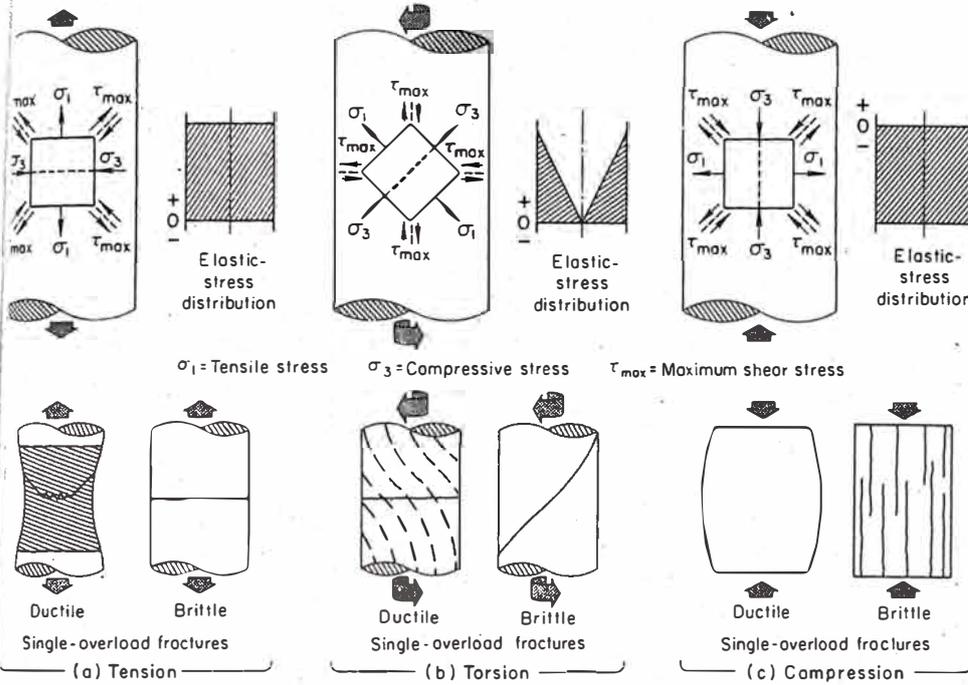


Fast-fracture zone

Stress-concentration notch

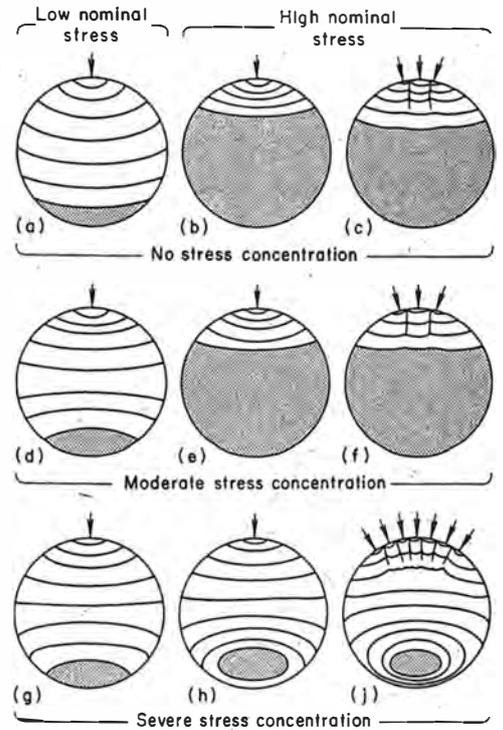
**Fig. 1 Free-body diagrams showing orientation of normal stresses and shear stresses in a shaft and the single-overload fracture behavior of ductile and brittle materials**

(a) Under simple tension. (b) Under torsion. (c) Under compression loading. See text for discussion.



**Fig. 2 Fatigue marks produced from single origins at low and high nominal stresses and from multiple origins at high nominal stresses**

Fatigue marks are typical for a uniformly loaded shaft subjected to unidirectional bending. Arrows indicate crack origins; final-fracture zones are shaded.



or lines on the shaft before twisting, or if the metal is hot etched to reveal grain-flow twisting. If a shaft loaded in torsion is assumed to consist of an infinite number of infinitely thin disks that slip slightly with respect to each other under the torsional stress, visualization of deformation is simplified. Torsional single-overload fracture of a ductile material usually occurs on the transverse plane, perpendicular to the axis of the shaft. In pure torsion, the final-fracture region is at the center of the shaft; the presence of slight bending will cause it to be off-center.

A brittle material in pure torsion will again fracture perpendicular to the tensile-stress component, which is now 45° to the shaft axis. The resulting fracture surfaces usually have the shape of a spiral.

The elastic-stress distribution in pure torsion is maximum at the surface and zero at the center of the shaft. Thus, in pure torsion, fracture normally originates at the surface, which is the region of highest stress.

**Compression.** When a shaft is loaded in axial compression (Fig. 1c), the stress system rotates so that the compressive stress,  $\sigma_3$ , is axial and the tensile stress,  $\sigma_1$ , is transverse. The shear stresses,  $\tau_{max}$ , are 45° to the shaft axis, as they are during axial tension loading.

In a ductile material overloaded in compression, shear stresses cause considerable deformation but usually do not result in fracture. The shaft is shortened and bulges laterally under the influence of shear stress. A brittle material loaded in pure compression, if it does not

buckle, again will fracture perpendicular to the maximum tensile-stress component. Because the tensile stress, is transverse, the direction of brittle fracture is parallel to the shaft axis.

The elastic-stress distribution in pure compression loading, in the absence of a stress concentration, is uniform across the section. If fracture occurs, it will likely be in the longitudinal direction, because compression loading increases the shaft diameter and stretches the metal at the circumference.

**Bending.** When a shaft is stressed in bending, the convex surface is stressed in tension and has an elastic-stress distribution similar to that shown in Fig. 1(a). The concave surface is stressed in compression and has an elastic-stress distribution similar to that shown in Fig. 1(c). Approximately midway between the convex and concave surfaces is a neutral axis, where all stresses are zero.

### Fatigue Failures

Fatigue in shafts can generally be classified into three basic subdivisions: bending fatigue, torsional fatigue, and axial fatigue. Bending fatigue can result from these types of bending loads: unidirectional (one-way), reversed (two-way), and rotating. In unidirectional bending, the stress at any point fluctuates. Fluctuating stress refers to a change in magnitude without changing algebraic sign. In reversed bending and rotating bending, the stress at any point alternates. Alternating stress refers to cycling between two stresses of opposite algebraic sign,

that is, tension (+) to compression (-) or compression to tension. Torsional fatigue can result from application of a fluctuating or an alternating twisting moment (torque). Axial fatigue can result from application of alternating (tension-and-compression) loading or fluctuating (tension-tension) loading. More complete information is available in the article "Fatigue Failures" in this Volume.

**Unidirectional-Bending Fatigue.** The axial location of the origin of a fatigue crack in a stationary cylindrical bar or shaft subjected to a fluctuating unidirectional-bending moment evenly distributed along the length will be determined by some minor stress raiser, such as a surface discontinuity. Beach marks (also called clamshell, conchoidal, and crack-arrest marks) of the form shown in Fig. 2(a) and (b) are indicative of a fatigue crack having a single origin at the point indicated by the arrow. The crack front, which formed the beach marks, is symmetrical relative to the origin and retains a concave form throughout. Both the single origin and the smallness of the final-fracture zone in Fig. 2(a) suggest that the nominal stress was low. The larger final-fracture zone in Fig. 2(b) suggests a higher nominal stress.

Figure 2(c) shows a typical fatigue crack originating as several individual cracks that

ultimately merged to form a single crack front. Such multiple origins are usually indicative of high nominal stress. Radial steps (ratchet marks) are present between crack origins.

Figures 2(d), (e), and (f) show typical fatigue beach marks that result when a change in section in a uniformly loaded shaft provides a moderate stress concentration. With a low nominal stress, the crack front changes from concave to convex before rupture (Fig. 2d). At higher nominal stresses, the crack front flattens and may not become convex before final fracture (Fig. 2e and f).

A change in section in a uniformly loaded shaft that produces a severe stress concentration will lead to a pattern of beach marks such as that shown in Fig. 2(g), (h), or (j). An example of a severe stress concentration is a small-radius fillet at the junction of a shoulder and a smaller-diameter portion of a shaft or at the bottom of a keyway. Such a fillet usually results in the contour of the fracture surface being convex with respect to the smaller-section side. The crack-front pattern shown in Fig. 2(g) was produced by a low nominal stress. The crack front in Fig. 2(h) developed more rapidly because of a higher stress in the peripheral zone. Multiple crack origins, high nominal stress, and unidirectional bending usually produce the beach-mark pattern shown in Fig. 2(j).

**Example 1: Unidirectional-Bending Fatigue Failure of an A6 Tool Steel Shaft.** The shaft shown in Fig. 3 was part of a clamping device on a tooling assembly used for bending 5.7-cm (2.25-in.) outer-diameter tubing on an 8.6-cm (3.375-in.) radius. The assembly contained two of these shafts, both of which failed simultaneously and were sent to the laboratory for examination. The maximum clamping force on the assembly was 54 430 kg (120 000 lb). The material specified for the shafts was a free-machining grade of A6 tool steel.

The shafts were subjected to a tensile stress imposed by the clamping force and a bending stress resulting from the nature of the operation. Unidirectional-bending stresses were imposed on one shaft when a right-hand bend was made in the tubing and on the other shaft when a left-hand bend was made. Approximately 45 right-hand and 45 left-hand bends were made per hour on the machine; the total number of bends made before the shafts failed was not known. The tensile stress on the shafts was also cyclic, because the clamping force was removed after each bend was made.

**Investigation.** Analysis of the steel, using wet chemical and spectroscopic techniques, showed that the composition was within specifications. The average hardness of the steel was 48 HRC. A 1.3-cm (0.505-in.) diam tensile specimen removed from the center of one of the shafts failed in a brittle manner at a tensile stress of 1572 MPa (228 ksi).

The microstructure of the steel was fine, dispersed, tempered martensite with elongated stringers of manganese sulfide. Also present

were spheroidized white particles that were identified as high-alloy complex carbides ( $M_6C$ ) corresponding to the double carbides  $Fe_4Mo_2C$  and  $Fe_4Cr_2C$ . Microscopic examination of the edge of the fracture surface at 100 and 1000 $\times$  revealed some nonmetallic oxide-sulfide segregation.

Visual examination of the fracture surface revealed both a smooth area and a coarse, granular area (View B, Fig. 3). The dull, smooth area is typical of some fatigue fractures and resulted as the crack was opened and closed by the bending stress. Beach marks on the smooth area of the fracture surface also indicate fatigue fracture. The coarse, bright, crystalline-appearing area is the final-fracture zone. The smooth-textured fatigue zone is relatively large compared with the crystalline-textured final-fracture zone, which indicates that the shaft was subjected to a low overstress. The final-fracture surface at bottom shows that a one-way bending load was involved.

The fatigue crack was initiated in a 0.25-mm (0.010-in.) radius fillet at a change in section ("Original design," Section A-A, Fig. 3). Cracking was nucleated by a nonmetallic inclusion that intersected the surface at a critical location in the fillet.

**Conclusions.** The shafts fractured in fatigue as the result of a low-overstress, high-cycle unidirectional-bending load. The small radius of the fillet at the change in section resulted in a stress concentration that, in conjunction with the oxide-sulfide inclusion that intersected the surface of the fillet, initiated a crack.

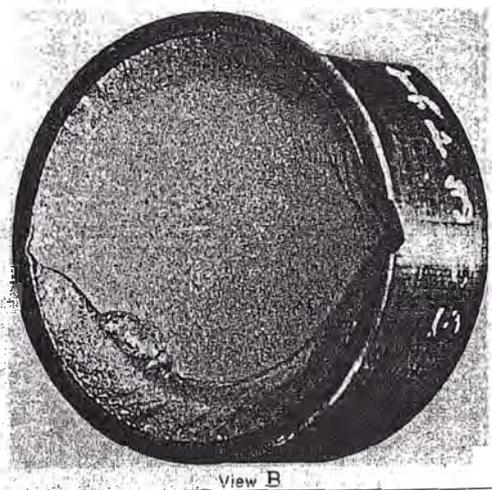
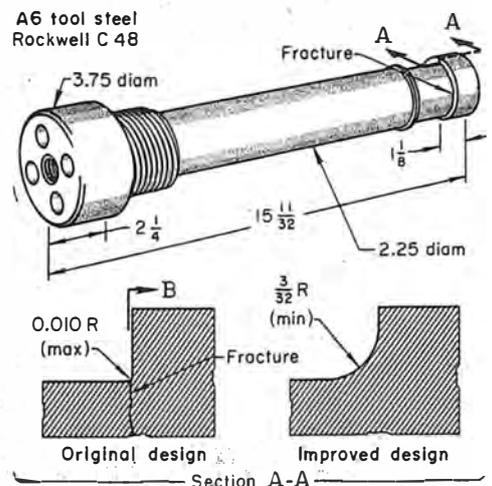
**Corrective Measures.** New shafts were made with a 2.4-mm (0.09-in.) radius fillet at the critical change in section ("Improved design," Section A-A, Fig. 3). The larger-radius fillet minimized stress concentration in this region and prevented recurrence of failure.

**Reversed-Bending Fatigue.** When the applied bending moment is reversing (alternating), all points in the shaft are subjected alternately to tension stress and compression stress; while the points on one side of the plane of bending are in tension, the points on the opposite side are in compression. If the bending moment is of the same magnitude in either direction, two cracks of approximately equal length usually develop from origins diametrically opposite each other and often in the same transverse plane. If the bending moment is greater in one direction than in the other, the two cracks will differ in length.

Figure 4 shows typical fatigue marks on the fracture surface of a stationary (nonrotating) shaft subjected to a reversing bending moment evenly distributed along its length. The crack origins (arrows) are shown diametrically opposite each other, but sometimes they are slightly displaced by minor stress raisers. The pattern shown in Fig. 4(a) is typical of that for a single-diameter shaft with no stress concentration. The bending moment is equal in both directions.

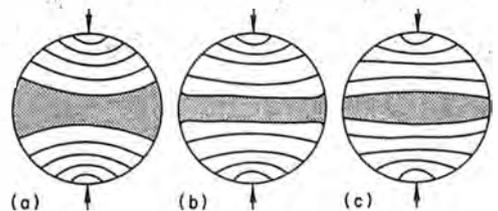
### Fig. 3 A6 tool steel tube-bending-machine shaft that failed by fatigue fracture

Section A-A: Original and improved designs for fillet in failure region. Dimensions are in inches. View B: Fracture surface showing regions of fatigue-crack propagation and final fracture



**Fig. 4 Typical fatigue marks on the fracture surface of a uniformly loaded nonrotating shaft subjected to reversed-bending stresses**

(a) No stress concentration. (b) Moderate stress concentration. (c) Severe stress concentration. Arrows indicate crack origins; shaded areas are final-fracture zones.



A large-radius fillet at a change in shaft diameter imposes a moderate stress concentration. Figure 4(b) shows the pattern on the surface of a fracture through such a fillet. A

small-radius fillet at a change in diameter results in a severe stress concentration. Figure 4(c) shows the typical pattern on the surface of a fracture through a small-radius fillet. The reason for the fatigue-pattern changes is that the fatigue crack propagates faster in more severe stress concentrations at each end than in the interior.

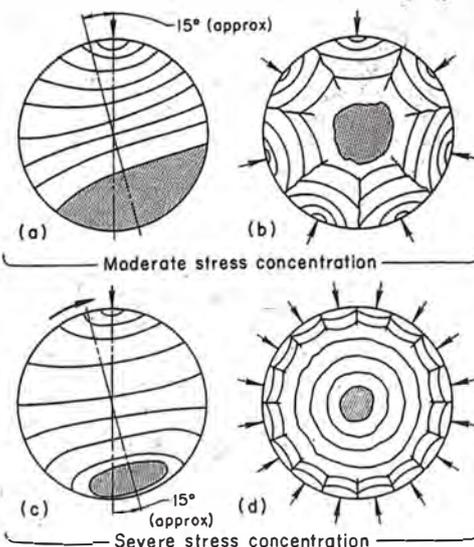
Under the above loading conditions, each crack is subjected alternately to tensile and compressive stresses, with the result that the surfaces of the crack are forced into contact with one another during the compression cycle, and rubbing occurs. Rubbing may sometimes be sufficient to obliterate many of the characteristic marks, and the crack surfaces may become dull or polished.

**Rotating-Bending Fatigue.** The essential difference between a stationary shaft and a rotating shaft subjected to the same bending moment is that in a stationary shaft the tensile stress is confined to a portion of the periphery only. In a rotating shaft, every point on the periphery sustains a tensile stress, then a compressive stress, once every revolution. The relative magnitude of the stresses at different locations is determined by conditions of balance or imbalance imposed on the shaft.

Another important difference introduced by rotation is asymmetrical development of the crack front from a single origin. There is a marked tendency of the crack front to extend preferentially in a direction opposite to that of rotation. The crack front usually swings around about 15° or more (Fig. 5a and c). A third difference arising from rotation is in the distribution of the initiation sites of a multiple-origin crack.

**Fig. 5 Typical fatigue marks on the fracture surface of a uniformly loaded rotating shaft**

Marks are produced from single and multiple origins (arrows) having moderate and severe stress concentration; shaded areas are final-fracture zones. Shaft rotation is clockwise.



In a nonrotating shaft subjected to unidirectional bending, the origins are located in the region of the maximum-tension zone (Fig. 2). In a nonrotating shaft subjected to reversed bending, the origins are diametrically opposite each other (Fig. 4). In rotary bending, however, every point on the shaft periphery is subjected to a tensile stress at each revolution; therefore, a crack may be initiated at any point on the periphery (Fig. 5b and d).

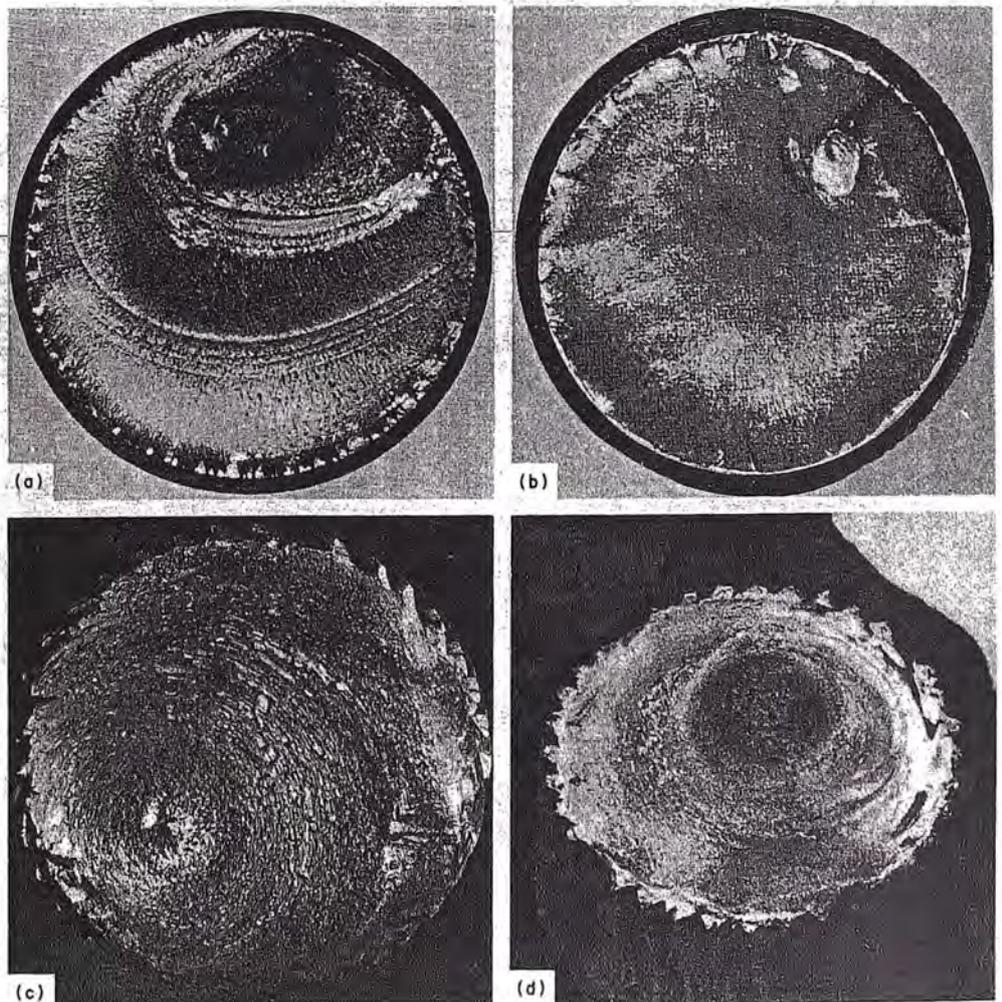
The crack surfaces are pressed together during the compressive component of the stress cycle, and mutual rubbing occurs. A common result of final fracture is that slight movement of one side of the crack relative to the other side frequently causes severe damage to the fracture surfaces and tends to obliterate many marks. However, although the high spots on one surface may rub the high spots on the other, the marks in the depressions are retained. Because the depressions are negative images of the damaged high spots on the opposing surface, they provide useful evidence; therefore, it is desirable to examine both parts of a cracked or fractured shaft.

The similarity in macroscopic appearance of fractures in shafts resulting from rotating-bending fatigue and from single overload torsional shear of a relatively ductile metal frequently results in misinterpretation. The fracture surface shown in Fig. 6(a) was the result of fatigue, as evidenced by the ratchet marks around the periphery and the pronounced beach marks. Under the low magnification of the fractograph shown in Fig. 6(b), beach marks are not visible, because they were obliterated by rubbing. The presence of ratchet marks around the periphery is also an indication of rotating-bending fatigue. However, the metal smearing apparent on the fracture surface and the twisting deformation of the shaft shown in Fig. 6(c) indicate torsional shear and would preclude mistaking this fracture for a fatigue fracture.

The fracture shown in Fig. 6(d) also exhibits a superficial similarity to a fatigue fracture. However, it is evident that this fracture was the result of torsional shear, because the entire fracture surface has a smooth texture and no well-defined final-fracture area.

**Fig. 6 Fracture surfaces of failed shafts**

(a) and (b) Failure by fatigue. (c) and (d) Failure by torsional shear. See text for discussion.



## **ANEXO 03**

**EVALUACIONES DIMENSIONALES DE PARTES DEL  
MOTOR DIESEL CATERPILLAR 3516B, INSTALADO EN  
UN CAMIÓN MINERO DE 218 TON. MODELO 793C**

## ANEXO 03

# EVALUACIONES DIMENSIONALES DE PARTES DEL MOTOR DIESEL CATERPILLAR 3516B, INSTALADO EN UN CAMIÓN MINERO DE 218 TON. MODELO 793C

### 1. Bielas



Centro de Reparación de Componentes

**EVALUACION DE BIELAS**  
0108 - EVALUACION - BIELA  
No. 07

Datos Generales | Detalle | Firma | Seguimiento | Observaciones | Archivos | Imágenes/Archivos

#### MEDIDAS SEGUN ESPECIFICACIONES

DIAMETRO DE TUNEL	TORSION (DESV. MAX.)	PARALELISMO (DESV. MAX.)	DISTANCIA ENTRE CENTROS	TORQUE DE PERNOS	LUZ ENTRE PIN Y BOCINA	PRESION DE RETENCION DE BOCINA
5.6310" +/- .0006"	.012"	.004"	.003"	65 lbft + 90°	.004"	3825 psi

#### MEDIDAS OBTENIDAS EN EL BANCO DE PRUEBAS

BIE LA N°	DESVIACION DIAMETRO TUNEL			DESVIACION		DISTANCIA ENTRE CENTROS	ESTADO CANAL GUIA	BIELAS F/S	ESTADO BOCINA	LUZ ENTRE PIN Y BOCINA	RETENCION DE BOCINA
	A	B	C	TORSION	PARALELISMO						
1	+ .0002"	-.0012"	-.0005"	OK	.0015"	.0006"	OK	NO	QUIÑE	OK	OK
2	+ .0009"	-.0020"	+ .0001"	OK	0	.0010"	OK	NO	QUIÑE	OK	OK
3	-	-	-	-	-	-	-	SI	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	SI	-	-	-
5	-.0002"	-.0008"	-.0004"	OK	.0005"	.0018"	OK	NO	QUIÑE	OK	OK
6	-.0014"	-.0009"	+ .0004"	OK	.0015"	.0008"	OK	NO	QUIÑE	OK	OK
7	+ .0002"	-.0005"	-.0007"	OK	0	.0030"	OK	NO	QUIÑE	OK	OK
8	-.0009"	-.0002"	+ .0010"	OK	.0025"	.0030"	OK	NO	QUIÑE	OK	OK
9	+ .0003"	-.0013"	0	OK	.0015"	.0030"	OK	NO	RAYADA	OK	OK
10	+ .0017"	-.0015"	+ .0003"	OK	.0015"	.0013"	OK	NO	RAYADA	OK	OK
11	+ .0003"	-.0012"	-.0005"	OK	.0035"	.0030"	OK	NO	QUIÑE	OK	OK
12	+ .0017"	-.0020"	+ .0001"	OK	.0015"	.0008"	OK	NO	RAYADA	OK	OK
13	-	-	-	-	-	-	-	SI	-	-	-
14	+ .0009"	-.0020"	-.0004"	OK	0	.0005"	OK	NO	RAYADA	OK	OK
15	+ .0009"	-.0009"	0	OK	0	.0015"	OK	NO	QUIÑE	OK	OK
16	+ .0016"	-.0014"	0	OK	.0035"	.0018"	OK	NO	RAYADA	OK	OK

#### OBSERVACIONES

- LA BIELA # 3 SE ENCUENTRA F/S , POR ENCONTRARSE CON DAÑOS EN EL CUERPO ( ADHERENCIA DE MATERIAL Y RECALENTAMIENTO ) .
- LA BIELA # 4 SE ENCUENTRA F/S , POR ENCONTRARSE CON DAÑOS EN EL CUERPO Y EN LA TAPA . ( ROTA , ADHERENCIA DE MATERIAL EN LA TAPA Y RECALENTAMIENTO )
- LA BIELA # 13 SE ENCUENTRA F/S , POR ENCONTRARSE CON DAÑOS EN LA TAPA ( ADHERENCIA DE MATERIAL Y RECALENTAMIENTO )
- LAS BIELAS # 1 , 2 , 5 , 6 , 7 , 8 , 9 , 10 , 11 , 12 , 14 , 15 Y 16 , SE ENCUENTRAN DENTRO DE LA TOLERANCIA TECNICA , EN LA MEDIDA DE LA DESVIACION DEL DIAMETRO DEL TUNEL , EN LA MEDIDA DE DESVIACION DE TORSION-PARALELISMO Y EN LA MEDIDA DE DISTANCIA ENTRE CENTROS . ADEMAS SE ENCUENTRA EN BUENAS CONDICIONES PARA SER REUSADAS .
- LAS BOCINAS PASARON LA PRUEBA DE RETENCION , PERO SE RECOMIENDA CAMBIARLAS PORQUE SE ENCUENTRAN RAYADAS Y CON QUIÑES .
- LOS PERNOS SE ENCUENTRAN EN BUENAS CONDICIONES , SE REUSARAN POR SER SU TERCERA REPARACION .

## 2. Camisas.



Centro de Reparación de Componentes

### EVALUACION DE CAMISAS

0107 - EVALUACION - CAMISETA

No. 01

Datos Generales | Detalle | Firma | Seguimiento | Observaciones | Archivos | Imágenes/Archivos |

#### MEDIDAS SEGUN ESPECIFICACIONES

DIAMETRO CAMISA	MAXIMO DESGASTE
6.693"	.008"

#### MEDIDAS OBTENIDAS EN EL BANCO DE PRUEBAS

CAMI N°	DESGASTE SUPERIOR		DESGASTE INFERIOR		DAÑOS EN LA CAMISA					REQUIERE TRABAJO EXTERIOR
	a 0°	a 90°	a 0°	a 90°	PICADURA INT.	PICADURA EXT.	RAYADURA	OTROS	FUERA DE SERVICIO	
1	+0.084"	+0.039"	+0.013"	+0.009"	SI	-	-	MANCHA	SI	-
2	+0.051"	+0.027"	+0.022"	+0.012"	-	-	-	GOLPE	SI	-
3	-	-	-	-	-	-	-	ROTA	SI	-
4	-	-	-	-	-	-	-	ROTA	SI	-
5	+0.061"	+0.04"	+0.022"	+0.012"	-	-	-	MANCHA	SI	-
6	+0.062"	+0.031"	+0.019"	+0.012"	-	-	-	-	SI	-
7	+0.063"	+0.033"	+0.016"	+0.006"	-	-	SI	-	SI	-
8	+0.034"	+0.022"	+0.014"	+0.01"	NO	NO	NO	-	NO	NO
9	+0.04"	+0.035"	+0.019"	+0.01"	-	-	SI	-	SI	-
10	+0.02"	+0.019"	+0.01"	+0.003"	-	SI	-	-	SI	-
11	+0.04"	+0.026"	+0.012"	+0.011"	SI	-	-	MANCHA	SI	-
12	+0.072"	+0.037"	+0.018"	+0.01"	-	-	-	-	SI	-
13	+0.055"	+0.044"	+0.016"	+0.013"	SI	-	-	MANCHA	SI	-
14	+0.057"	+0.024"	+0.014"	+0.007"	-	-	-	MANCHA	SI	-
15	+0.039"	+0.03"	+0.017"	+0.013"	NO	NO	NO	-	NO	NO
16	+0.071"	+0.042"	+0.021"	+0.015"	-	-	-	-	SI	-

#### OBSERVACIONES

- LAS CAMISAS # 1, 5, 11, 13 y 14. SALEN F/S POR PRESENTAR PICADURAS Y MANCHAS DE AGUA EN LA SUP. INTERNA.
- LA CAMISA # 2, SE DESCARTA F/S. YA QUE PRESENTA GOLPE EN LA SUP. INTERNA.
- LAS CAMISAS # 3 y 4. SE ENCUENTRAN ROTAS SALEN F/S.
- LAS CAMISAS # 9 y 10. SALEN F/S. YA QUE PRESENTAN DESGASTE, EN LA PESTAÑA. DE ACUERDO CON LA GUIA DE RELIABILIDAD LA TOLERANCIA MIN. ES DE .4972" PERO ESTA SE ENCUENTRA POR DEBAJO .4971"
- LAS CAMISETAS # 8 y 15 SE ENCUENTRAN EN BUENAS CONDICIONES, ASI COMO EN SUS MEDIDAS OK. ESTAS SERAN RE USADAS.
- LAS CAMISAS # 6, 7, 12 y 16, SE ENCUENTRAN CON PASO DE DESGASTE EN LA SUP. INTERNA Y SOBREPASA LA TOL. PARA SER RE USADA. SALEN F/S.

### 3. Eje de levas.

#### MEDIDAS SEGUN ESPECIFICACIONES

PUÑO DE APOYO EJE DE LEVAS			CAMON DE LEVA					
DIAMETRO		ACABADO SUPERFICIAL RUGOSIDAD	LIFT C = A - B			PERFIL		ACABADO SUPERFICIAL RUGOSIDAD
ADYACENTE A ENGRANAJE	INTERMEDIOS Y FINAL		ADMISION	ESCAPE	INYECCION	CONICO	PLANO	
3.617 +/- .001"	3.617 +/- .001"	<input checked="" type="radio"/> BUENO <input type="radio"/> MALO	.5020"	.5217"	.5406"	NO	SI	<input checked="" type="radio"/> BUENO <input type="radio"/> MALO

#### MEDIDAS OBTENIDAS EN EL BANCO DE PRUEBAS

APOYO N°	DIAMETRO		DEFLEXION	TOLERANCIA	ACABADO SUPERFICIAL
	ADYACENTE ENGRANAJE	INTERMEDIO Y FINALES			
1	3.6173	3.6173	---	---	BUENO
2	3.6174	3.6174	---	---	BUENO
3	3.6173	3.6173	---	---	BUENO
4	3.6173	3.6173	---	---	BUENO
5	3.6173	3.6173	---	---	BUENO
6	3.6173	3.6173	---	---	BUENO
7	3.6174	3.6174	---	---	BUENO
8	3.6176	3.6176	---	---	BUENO
9	3.6173	3.6176	---	---	BUENO

CAMON N°	LIFT C = A - B			ACABADO SUPERFICIAL
	ADMISION	ESCAPE	INYECCION	
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-

ENGRANAJE			
ESTADO	NUMERO	FORJADO	PERFIL DE CAMON
<input checked="" type="radio"/> BUENO		127 8258	PLANO
<input type="radio"/> MALO		127 8257	

#### OBSERVACIONES

REQUIERE TRABAJO EXTERIOR  SI  NO

STD FRONT LH

- Eje de levas se encuentra con sus medidas dentro de especificaciones y tolerancias.
- Físicamente presenta hendiduras en los lóbulos de todos los cilindros.

Antes de comenzar en el banco de pruebas E/S en posición de operación.

## **ANEXO 04**

**RELACIÓN VALORIZADA DE LOS REPUESTOS PARA  
LA REPARACIÓN DEL MOTOR DIESEL CATERPILLAR  
3516B, INSTALADO EN UN CAMIÓN MINERO DE  
218 TON. MODELO 793C**

**REPUESTOS PARA LA REPARACION GENERAL DEL MOTOR CAT 3516B, SERIE: 7TR1154**

ITEM	CANT.	NÚMERO PARTE	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL (US\$)
1	1	7C9597	FLANGE	54,72	54,72
2	1	7N5416	ELBOW	65,91	65,91
3	1	1378213	FLANGE	223,20	223,20
4	1	0R1039	DRIVE GP-FAN	5.508,68	5.508,68
5	2	6I0761	SPRING	116,21	232,41
6	1	8N9410	SPACER	15,86	15,86
7	1	9Y9385	PULLEY IDLER	620,13	620,13
8	1	1008029	PULLEY FAN	2.115,16	2.115,16
9	1	1N4381	TUBE	509,70	509,70
10	2	7E5269	DOWEL	16,15	32,30
11	2	7N2328	DOWEL	25,20	50,40
12	2	9M1974	WASHER/ARANDELA	0,13	0,25
13	14	2638955	PIN-PISTON	64,94	909,15
14	14	2780247	PISTON AS	822,26	11.511,57
15	14	2117826	LINER-CYLIND	197,58	2.766,05
16	13	1181655	BEARING	26,11	339,43
17	3	1440725	ROD AS	1.287,67	3.863,01
18	1	0R8498	CAMSHAFT AS	1.526,31	1.526,31
19	1	0R8499	CAMSHAFT AS	1.475,01	1.475,01
20	1	0R8500	CAMSHAFT AS	1.526,31	1.526,31
21	1	0R8501	CAMSHAFT AS	1.475,01	1.475,01
22	16	5P0076	BOLT/PERNO	2,33	37,30
23	1	0R9737	CRANKSHAFT A	29.299,03	29.299,03
24	15	3S1307	BOLT	2,87	43,05
25	1	1155160	BLOCK GP	45.095,86	45.095,86
26	16	5B7890	PLUG/TAPON	4,26	68,21
27	1	7C7909	ELBOW	42,19	42,19
28	9	7C8199	FLANGE	53,26	479,37
29	1	7N5487	WASHER/ARANDELA	7,36	7,36
30	2	2032163	SPACER-HIGH	16,46	32,91
31	16	10R1275	INJ GP FUEL	749,13	11.986,13
32	3	9S8009	PLUG	11,30	33,89
33	1	1215815	BRACKET	31,33	31,33
34	2	1582251	SHAFT AS-WHE	7.467,38	14.934,75
35	1	2W9723	SHAFT/EJE	241,77	241,77
36	1	0R9576	PUMP GP WTR	721,11	721,11
37	1	0R9851	MOTOR GP	1.816,19	1.816,19
38	1	1078769	SILENCER	286,03	286,03
39	1	1720208	LUBRICATOR VALVE	125,81	125,81
40	1	2297339	SLEEVE	120,87	120,87
41	1	0R6756	COMPRESSOR G	367,45	367,45
42	1	0R2888	COMPRESSOR G	1.472,36	1.472,36
43	12	1933282	RETAINER AS	15,50	185,98
44	7	2045447	TUBE AS	43,93	307,52
45	5	2045447	TUBE AS	43,93	219,66
46	1	10R0935	MOTOR GP	1.128,34	1.128,34
47	8	1T0765	BOLT/PERNO	1,79	14,28
48	1	1W1565	ELBOW	334,33	334,33
49	2	5F0304	PLUG PRIMING/TAPON	4,41	8,82
50	2	5P2546	BOLT/PERNO	2,56	5,11
51	2	5P5700	SEAL O RING/AROSEL	12,57	25,13
52	1	5T1009	YOKE	268,22	268,22

53	2	6K3771	BOLT/PERNO	2,91	5,81
54	2	6K3772	BOLT	4,03	8,05
55	4	6V9509	PLUG	2,81	11,23
56	1	7C5694	HASP	13,67	13,67
57	5	8T6763	PLUG	2,87	14,35
58	1	0396937	BOLT	11,10	11,10
59	2	1012862	DOWEL	2,74	5,49
60	1	1173034	ELBOW-45	96,73	96,73
61	1	1335946	CAP AS O	19,13	19,13
62	1	1378237	SHAFT AS	228,80	228,80
63	1	1470842	HOSE AS	27,03	27,03
64	1	1470844	HOSE AS	33,12	33,12
65	1	1520998	HOSE AS	45,20	45,20
66	1	2830746	WASHER-THRUST	62,01	62,01
67	1	0R3767	CORE GP	2.243,91	2.243,91
68	1	0R8417	CORE AS	4.985,37	4.985,37
69	17	1T0765	BOLT/PERNO	1,79	30,35
70	2	2H1190	DOWEL/ESPIGA	2,59	5,18
71	10	3S0127	BOLT	3,14	31,36
72	11	5D9547	SPACER	6,12	67,30
73	2	7C9597	FLANGE	54,72	109,44
74	1	2855636	CORE A-AFTCL	2.732,73	2.732,73
75	1	2855636	CORE A-AFTCL	2.732,73	2.732,73
76	1	2W1056	TUBE	123,76	123,76
77	2	7C7677	TUBE A	19,22	38,44
78	2	7C7678	TUBE A	19,22	38,44
79	1	1070147	TUBE AS	70,38	70,38
80	1	1269244	TUBE	185,86	185,86
81	1	1351015	TUBE AS	591,90	591,90
82	1	1537513	TUBE	154,34	154,34
83	1	1613236	TUBE AS	161,17	161,17
84	1	1138177	MANIFOLD	471,92	471,92
85	1	1167991	MANIFOLD	232,44	232,44
86	8	2032143	SLEEVE-EXH M	39,35	314,83
87	1	2407032	SEAL	30,35	30,35
88	1	2478340	BASE AS-ROCK	232,43	232,43
89	20	0S1571	CAP SCREW/PERNO	0,31	6,16
90	15	0S1585	BOLT/PERNO	0,43	6,51
91	40	0S1588	BOLT/PERNO	0,23	9,24
92	30	0S1590	BOLT/PERNO	0,34	10,29
93	3	5P8086	BOLT	53,19	159,58
94	8	6B0933	SPACER/ESPACIADOR	3,49	27,89
95	20	7B3235	BOLT/PERNO	0,40	7,98
96	6	7N1961	BOLT	25,14	150,86
97	6	1243647	SPACER	8,30	49,77
98	15	7N4782	SPRING/RESORTE	4,47	66,99
99	17	10R3139	LIFTER AS	116,54	1.981,11
100	34	10R3140	LIFTER AS	110,25	3.748,50
101	16	9S1354	NUT/TUERCA	0,32	5,04
102	7	1003877	RETAINER	6,62	46,35
103	4	1003878	SPRING-INJ	22,14	88,56
104	4	1003878	SPRING-INJ	22,14	88,56
105	2	1546389	BUTTON	7,48	14,97
106	22	2002003	SCREW-ADJUST	14,83	326,17
107	5	2302619	SCREW-ADJUST	17,35	86,77
108	4	1W4072	RETAINER	11,61	46,45

109	1	1W8129	SUPPORT	118,87	118,87
110	1	2D5379	BLOCK	35,93	35,93
111	1	2W4741	BRACKET	14,34	14,34
112	2	4W0531	RETAINER	6,15	12,29
113	1	5P2231	ADAPTER	39,09	39,09
114	1	5P9617	ADAPTER/ADAPTADOR	8,46	8,46
115	2	6K5536	BRACKET/MENSULA	8,19	16,38
116	2	6V5039	CLIP	17,49	34,99
117	2	6V5040	BRACKET	6,57	13,15
118	1	6V8627	ELBOW	7,37	7,37
119	1	6V8713	CONNECTO	6,48	6,48
120	1	6V8723	ELBOW	7,80	7,80
121	1	6V9161	TEE	10,82	10,82
122	1	7C9597	FLANGE	54,72	54,72
123	2	7S8920	CLIP	4,06	8,12
124	2	7S8921	CLIP	3,56	7,11
125	2	9S4185	PLUG	6,52	13,05
126	1	0307946	ELBOW/CODO	4,05	4,05
127	1	1196346	TEE-FACE	20,41	20,41
128	1	1417156	BASE AS	430,22	430,22
129	1	9S4191	PLUG/TAPON	2,32	2,32
130	1	8T5429	ELBOW	12,22	12,22
131	1	0054173	ELBOW	5,44	5,44
132	1	1714694	FITTING AS	66,07	66,07
133	1	1993414	FITTING AS	76,63	76,63
134	1	1022240	CONTROL	76,17	76,17
135	2	1619926	SENSOR GP-PR	95,56	191,11
136	3	1B3573	BOLT/PERNO	2,41	7,22
137	2	2K0744	PLUG/TAPON	9,85	19,70
138	2	2M9780	SEAL O RING/AROSEL	0,62	1,25
139	1	2P2772	COVER/CUBIERTA	14,39	14,39
140	10	5P8245	WASHER HARD/ARANDE	0,26	2,59
141	1	6V0852	CAP	2,26	2,26
142	1	6V3966	NIPLE/NIPLE	6,80	6,80
143	2	8T6761	PLUG	6,67	13,34
144	2	9H8260	BOLT/PERNO	1,77	3,54
145	1	9L4234	SPACER	14,87	14,87
146	2	9S8002	PLUG/TAPON	3,62	7,24
147	3	1116119	SHIELD-F	14,72	44,16
148	1	2858440	PLATE AS	68,70	68,70
149	1	2858442	GUARD	32,31	32,31
150	2	3J6933	GASKET	1,57	3,14
151	1	6V8775	TEE	12,10	12,10
152	1	6V9852	ELBOW	13,07	13,07
153	2	7J0402	COVER/TAPA	9,67	19,35
154	1	9S4185	PLUG	6,52	6,52
155	1	1204512	BRACKET	26,31	26,31
156	1	1335933	BRACKET	14,90	14,90
157	1	1386957	COVER	21,83	21,83
158	1	4P5085	COVER	10,34	10,34
159	1	6V8724	ELBOW	7,41	7,41
160	2	7W8106	SPACER	6,38	12,75
161	2	9S4182	PLUG/TAPON	4,30	8,60
162	1	7C2199	CLAMP	6,83	6,83
163	9	7C2199	CLAMP	6,83	61,49
164	2	2A2677	SPACER	4,79	9,58

165	2	3E7442	BOLT	23,37	46,75
166	20	3H7654	WASHER/ARANDELA	0,19	3,78
167	1	4B6697	CAP SCREW	10,26	10,26
168	1	4B6697	CAP SCREW	10,26	10,26
169	1	4N4942	ROD/VARILLA	34,10	34,10
170	150	5M2894	WASHER/ARANDELA	0,14	21,00
171	10	5P0076	BOLT/PERNO	2,33	23,31
172	6	5P5855	BOLT/PERNO	4,07	24,44
173	4	5P5855	BOLT/PERNO	4,07	16,30
174	1	6W6220	SPACER	7,18	7,18
175	10	7D1649	WASHER/ARANDELA	0,67	6,72
176	1	7E7547	SPACER	7,48	7,48
177	4	7F5227	CAPSCREW/PERNO	2,40	9,60
178	1	8B2026	SPACER	6,47	6,47
179	2	8K4303	WASHER	13,12	26,24
180	2	8T1583	NUT	2,82	5,64
181	2	9X8399	WASHER	2,65	5,29
182	1	0399892	SPACER	13,43	13,43
183	1	1609842	BLOCK	17,01	17,01
184	1	1R0750	FILTER AS	11,21	11,21
185	1	1R0750	FILTER AS	11,21	11,21
186	2	1R0755	FILTER A	38,63	77,25
187	2	1W4099	RING	15,51	31,02
188	1	1W4099	RING	15,51	15,51
189	1	1W4736	GASKET	22,23	22,23
190	1	2S2743	VEE BELT	13,93	13,93
191	1	2V0508	HOSE A	50,97	50,97
192	1	2W4005	RING	25,69	25,69
193	2	2W4005	RING	25,69	51,38
194	2	2W4006	RETAINER	16,41	32,82
195	6	3E7424	CLAMP	6,79	40,74
196	36	3J1907	SEAL/K800002668	0,46	16,38
197	1	3P0655	SEAL/SELLO	10,95	10,95
198	1	4K8302	CLIP/ABRAZADERAS	3,06	3,06
199	2	4P6445	PLATE CA	6,29	12,57
200	1	4P8511	HOSE AS	33,29	33,29
201	1	4S1936	CLIP/ABRAZADERAS	3,04	3,04
202	1	4V3263	HOSE A	15,87	15,87
203	1	4W0530	RING	12,00	12,00
204	6	4W3027	BREATHER	49,78	298,66
205	6	4W3034	CLAMP/ABRAZADERA	9,43	56,57
206	2	5M1198	CLIP	4,27	8,54
207	1	5N5646	HOSE A	18,64	18,64
208	1	5N5646	HOSE A	18,64	18,64
209	6	5P0597	CLAMP/ABRAZADERAS	2,52	15,12
210	72	5P0764	HOSE STK CM/MANGUE	0,78	55,94
211	32	5P0840	SEAL-O-R	2,60	83,10
212	13	5P1262	HOSE X CM./MANGUER	0,52	6,73
213	2	5P4295	CLIP	3,41	6,82
214	3	5P4868	CLAMP UNION/ABRAZA	3,35	10,06
215	1	5P7817	SEAL	6,34	6,34
216	1	5P9299	CLIP	2,22	2,22
217	4	5P9890	SEAL	4,81	19,24
218	1	5T8088	HOSE A/MANGUERA	19,47	19,47
219	4	6I3996	GASKET	1,95	7,81
220	3	6V0683	GROMMET	7,88	23,65

221	2	6V1454	SEAL/SELLO	2,94	5,88
222	2	6V1574	GROMMET/ARANDELA	20,65	41,30
223	1	6V3908	SEAL O RING/AROSSEL	12,30	12,30
224	3	6V4589	SEAL O RING/AROSSEL	2,68	8,04
225	2	6V5039	CLIP	17,49	34,99
226	2	6V5040	BRACKET	6,57	13,15
227	2	6V5050	SEAL-O R	3,30	6,59
228	10	6V5066	SEAL-O-R	3,11	31,08
229	4	6V5134	SEAL O R/AROSSELLO	6,01	24,02
230	2	7D8991	HOSE	32,74	65,48
231	1	7E2632	GASKET O	29,08	29,08
232	1	7E7547	SPACER	7,48	7,48
233	3	7E7790	HOSE	48,34	145,01
234	1	7E9178	HOSE	43,16	43,16
235	1	7N3049	GASKET/EMPAQUETADU	19,71	19,71
236	2	7N4320	GASKET/EMPAQUETADU	6,15	12,29
237	1	7V0916	HOSE A	14,27	14,27
238	2	7W2425	MOUNT AS	462,45	924,90
239	2	7W2425	MOUNT AS	462,45	924,90
240	4	7W3497	MOUNT AS	152,22	608,86
241	4	7W3497	MOUNT AS	152,22	608,86
242	1	8N1991	RING/ANILLO	9,85	9,85
243	1	8N3640	RING/ANILLO	20,22	20,22
244	2	8N9885	GASKET/EMPAQUETADU	2,94	5,88
245	16	8T4986	CLAMP/ABRAZADERA	8,23	131,71
246	2	8T6703	CLAMP	6,90	13,80
247	1	8W5645	HOSE A	72,79	72,79
248	1	9G2653	HOSE A	17,58	17,58
249	8	9X2201	CLAMP/ABRAZADERA	7,20	57,57
250	2	9X3993	HOSE	55,37	110,74
251	1	9X7438	MOUNT AS	1.273,77	1.273,77
252	2	0057889	VALVE	7,49	14,98
253	6	0336031	O RING/ANILLO O	8,23	49,35
254	4	0336042	SEAL O RING/AROSSEL	2,03	8,12
255	1	0399892	SPACER	13,43	13,43
256	4	0619456	SEAL/SELLO	6,65	26,60
257	4	1030892	GROMMET	11,98	47,94
258	1	1078735	HOSE AS	21,60	21,60
259	1	1087615	HOSE AS	19,89	19,89
260	1	1087615	HOSE AS	19,89	19,89
261	6	1092332	SEAL O R	9,78	58,67
262	4	1100096	RING	14,43	57,74
263	3	1113820	RING RET	12,62	37,86
264	1	1138432	SEAL G	108,73	108,73
265	1	1138433	SEAL	105,32	105,32
266	1	1153069	CLIP AS-	9,91	9,91
267	1	1176071	HOSE AS	119,85	119,85
268	1	1176072	HOSE AS	37,82	37,82
269	1	1196371	HOSE A	25,10	25,10
270	4	1228856	GASKET	1,19	4,76
271	1	1269036	HOSE	20,39	20,39
272	1	1270796	HOSE	11,92	11,92
273	16	1272176	SEAL-INT	4,74	75,82
274	1	1299474	SPACER-F	155,81	155,81
275	1	1419813	HOSE	10,98	10,98
276	3	1422333	HOSE AS	21,29	63,86

277	2	1440367	CLAMP	7,49	14,98
278	1	1490196	HOSE AS	15,33	15,33
279	1	1516284	HOSE	60,49	60,49
280	1	1520997	HOSE AS	55,82	55,82
281	1	1521005	HOSE AS	22,94	22,94
282	1	1521009	HOSE AS	24,29	24,29
283	2	1549025	VALVE-SAMPLI	12,12	24,23
284	1	1632622	HOSE AS	38,42	38,42
285	1	1632624	HOSE AS	18,52	18,52
286	1	1662892	HOSE AS	34,78	34,78
287	1	1719680	HOSE AS	32,79	32,79
288	2	1725718	GASKET	6,18	12,36
289	2	1854410	HOSE	33,81	67,62
290	64	2045426	SEAL-WATER	1,81	116,03
291	64	2045427	SEAL-WATER	2,56	163,52
292	1	2102580	FLANGE	63,57	63,57
293	2	2102587	RETAINER	11,45	22,89
294	3	2176692	HOSE-TEE	31,91	95,74
295	28	2338485	CLAMP-T BOLT	6,10	170,91
296	16	2748567	GASKET-HEAD	28,99	463,90
297	4	2752604	FILTER A LUB	20,83	83,33
298	1	2V0460	HOSE A	10,43	10,43
299	2	3B8153	PIN	6,79	13,58
300	1	4S5367	BUSHING ASS/BUJE	25,42	25,42
301	1	5S2106	SEAL LIP/SELLO	5,27	5,27
302	2	8H9789	BEARING/COJINETE	21,39	42,77
303	1	8L5008	ELBOW/CODO	5,84	5,84
304	1	1196374	V-BELT SET	253,95	253,95
305	2	3P0657	SEAL/SELLO	10,47	20,94
306	1	4P5500	SCREEN	19,06	19,06
307	2	5P8210	SEAL-O-R	4,45	8,90
308	2	6B9202	SPRING/RESORTE	4,82	9,63
309	8	6V3348	SEAL/SELLO	4,12	32,93
310	2	7N3368	GASKET/EMPAQUETADU	2,05	4,10
311	6	0336042	SEAL O RING/ROSEL	2,03	12,18
312	16	1445692	GASKET	12,43	198,80
313	16	2720758	SEAL-PIP	12,74	203,84
314	16	2720759	SEL-PIP	13,41	214,48
315	4	8N7296	RETAINER/RETENEDOR	3,70	14,78
316	2	1234268	RING-PIS	31,75	63,49
317	16	1445695	RING-PISTON	31,75	507,92
318	5	2146066	RING-PISTON	31,75	158,73
319	9	2146066	RING-PISTON	31,75	285,71
320	7	2236361	RING-PISTON	31,75	222,22
321	7	2236361	RING-PISTON	31,75	222,22
322	2	2291631	RING-PISTON	31,75	63,49
323	23	2531238	RETAINER-PIN	3,99	91,77
324	5	2531238	RETAINER-PIN	3,99	19,95
325	16	6V3774	KIT GASK/JGO EMPAQ	14,87	237,89
326	16	1077330	BEARING	75,49	1.207,81
327	1	1969531	BEARING KT-M	1.297,64	1.297,64
328	18	1011198	BEARING CAMS	26,08	469,35
329	16	4S5898	SEAL-O-R/AROSSELLO	5,66	90,61
330	60	5P3875	BOLT	4,34	260,40
331	4	5P3961	BOLT/PERNO	4,00	15,99
332	16	5P7530	SEAL/SELLO	3,42	54,77

333	2	6V5101	SEAL	12,57	25,13
334	14	6V5101	SEAL	12,57	175,91
335	16	7N5080	GASKET/EMPAQUETADU	1,51	24,19
336	32	1302607	INSERT	18,83	602,56
337	32	1302608	INSERT V	28,70	918,40
338	32	1944897	VALVE-EXHAUS	44,07	1.410,08
339	64	1944902	SPRING	4,77	305,54
340	32	1976995	GUIDE-VALVE	9,61	307,55
341	32	1977006	SEAL	1,67	53,54
342	64	1977055	LOCK-RETAIN	0,41	26,43
343	32	1977062	ROTOCOIL AS	7,64	244,61
344	32	1977063	ROTOCOIL AS	7,78	248,86
345	32	2090962	WASHER	3,58	114,69
346	32	2102542	VALVE-INLET	34,94	1.117,98
347	16	2295332	SEAL	29,45	471,18
348	64	2816157	SPRING-VALVE	9,60	614,21
349	1	8T5389	ELBOW	12,22	12,22
350	1	2558691	SEAL KIT	31,02	31,02
351	1	2568766	VALVE KIT-BY	16,46	16,46
352	1	1832823	PUMP AS-F PR	92,88	92,88
353	4	1D4586	BOLT/PERNO	1,55	6,22
354	1	2M1908	FITTING	7,85	7,85
355	28	2N2766	LOCK NUT/SEGURO	2,77	77,42
356	4	2N9288	STUD	10,05	40,18
357	4	2P7636	CONNECTO	3,53	14,11
358	8	3H5954	BOLT	6,04	48,33
359	8	4D0242	SCREW	9,29	74,31
360	2	4J8536	CLAMP/ABRAZADERAS	3,89	7,77
361	4	4P0692	CLAMP AS	7,80	31,19
362	6	4P0707	CLAMP AS	7,50	45,02
363	10	4P3563	CLAMP AS	22,86	228,62
364	1	4P4726	COVER	13,87	13,87
365	2	4P4865	FLANGE	141,64	283,28
366	4	5B5821	PIN/PASADOR	3,37	13,50
367	8	5P7128	BOLT/PERNO	4,93	39,42
368	22	5P8247	WASHER/ARANDELA	0,46	10,01
369	8	5P9757	SEAL O RING/AROSEL	2,30	18,42
370	4	6V1525	STUD	5,50	22,01
371	8	6V1903	SEAL-O-R	3,57	28,56
372	14	6V4248	BOLT	0,23	3,23
373	14	6V4589	SEAL O RING/AROSEL	2,68	37,53
374	2	6V5055	SEAL	14,66	29,32
375	4	6V5103	SEAL-O R	15,31	61,24
376	2	6V8639	CONNECTO/CONECTOR	2,77	5,53
377	1	7C9710	GASKET	11,48	11,48
378	1	7E8452	CLAMP	66,58	66,58
379	4	7L0520	STUD/PERNO	4,73	18,93
380	2	7N8229	STRAINER	9,33	18,66
381	4	7S7816	NUT	7,81	31,25
382	72	8C8491	WASHER	0,22	16,13
383	10	8L2746	SEAL I/SELLO	2,15	21,49
384	6	8L2786	O RING/ANILLO O	2,38	14,28
385	6	8M2772	CLIP/ABRAZADERAS	1,64	9,83
386	4	8T0193	NUT	2,25	9,02
387	4	8T9535	BOLT	3,16	12,63
388	1	9G5127	BREATHER/RESPIRADE	6,16	6,16

389	2	9X4008	HOSE	39,42	78,85
390	2	9X7410	SEAL O RING	12,23	24,46
391	24	9X8289	BOLT	31,06	745,42
392	6	0336033	O RING/ANILLO O	1,99	11,93
393	1	0350519	HOSE A	21,16	21,16
394	2	0617539	SEAL/SELLO	3,35	6,71
395	2	10R1348	CARTRIDGE GP	3.995,38	7.990,77
396	1	1054322	COUPLING	49,08	49,08
397	1	1094591	VALVE GP	93,43	93,43
398	2	1138194	CAP	4,98	9,95
399	4	1153625	GROMMET	32,42	129,67
400	2	1188454	NOZZLE A	40,23	80,46
401	16	1255375	BOLT	6,38	102,03
402	2	1283324	SEAL-RING	246,37	492,73
403	4	1586563	SEAL-O-RING	9,62	38,47
404	1	1668425	COVER	37,23	37,23
405	4	1850096	SEAL KIT-BEA	142,14	568,57
406	2	1850097	BEARING KIT	3.555,82	7.111,64
407	16	1888617	BOLT	17,79	284,70
408	2	1969138	GASKET	8,74	17,49
409	2	2102530	BELLOW AS	639,57	1.279,14
410	12	2213854	BOLT- 12 POI	48,10	577,25
411	1	2923496	TURBO KIT	31,32	31,32
412	1	2923499	TURBO KIT	68,82	68,82
413	1	2985340	BYPASS GP-EX	1.076,04	1.076,04
414	1	8C5236	SEAL LIP	17,74	17,74
415	1	1664374	RING AS	7,41	7,41
416	1	1664376	SEAL GP	45,02	45,02
417	1	1495462	SEAL-O-RING	6,32	6,32
418	3	1W6005	BEARING/COJINETE	19,79	59,37
419	1	6V7681	SEAL	12,66	12,66
420	1	1077175	SPRING/RESORTE	12,43	12,43
421	3	2274147	BEARING-SLEE	20,70	62,10
422	4	1W6005	BEARING/COJINETE	19,79	79,16
423	1	1993414	FITTING AS	76,63	76,63
424	1	9M0402	KIT/EQUIPO	20,39	20,39
425	1	9N5221	HOSE A	26,00	26,00
426	1	1170068	HOSE AS	8,10	8,10
427	1	3T6354	REGULATOR A/REGULA	44,13	44,13
428	1	5P3418	BEARING/COJINETE	5,94	5,94
429	1	5P3419	RACE/PISTA	8,34	8,34
430	1	5P6920	BEARING/COJINETE	8,30	8,30
431	1	5P7807	BEARING/COJINETE	18,79	18,79
432	1	6V2202	BEARING/COJINETE	18,35	18,35
433	1	8T9762	STATOR A	125,00	125,00
434	1	9L6776	RECTIER A/RECTIFIC	34,47	34,47
435	1	2022703	COIL AS-ALT	95,92	95,92
436	2	2780535	SPACER	6,66	13,33
437	25	4P8134	CLIP	1,90	47,43
438	16	6J2245	SEAL O RING/AROSSEL	2,63	42,11
439	4	6N1604	CAP ASS/TAPA	2,49	9,94
440	1	6V1179	SEAL/SELLO	8,53	8,53
441	5	7E6508	CAP A	4,43	22,16
442	5	9X0352	RECEPTAC	10,74	53,69
443	1	1022240	CONTROL	76,17	76,17
444	1	1093036	SEAL KIT	11,57	11,57

445	1	1119560	SWITCH A	39,33	39,33
446	1	1145333	SWITCH A	39,33	39,33
447	1	1187226	SENSOR G	96,33	96,33
448	1	1261133	SENSOR G	139,13	139,13
449	16	1326469	HARNESS	10,70	171,25
450	1	1335942	HARNESS AS	15,26	15,26
451	1	1417116	BELT	13,39	13,39
452	1	1435123	HARNESS AS	35,87	35,87
453	2	1619926	SENSOR GP-PR	95,56	191,11
454	2	1637882	SENSOR GP-EX	637,19	1.274,38
455	1	1718708	SWITCH GP-FL	94,70	94,70
456	2	1728660	SWITCH AS-LE	86,59	173,18
457	1	1895746	SENSOR GP-SP/SENSO	82,03	82,03
458	1	1927139	VALVE GP-MTG	167,31	167,31
459	1	1946724	SENSOR GP-PR	90,87	90,87
460	2	1946725	SENSOR GP-PR	95,56	191,11
461	1	2239126	HARNESS AS-W	1.479,62	1.479,62
462	1	2552282	SWITCH AS-PR	78,65	78,65
463	1	2735041	SENSOR GP-SP	95,50	95,50
464	3	1D4574	BOLT/PERNO	1,70	5,10
465	2	1V6341	SEAL/SELLO	2,24	4,48
466	1	1W1564	SCREEN A/COLADOR	29,18	29,18
467	1	2S7056	BEARING	23,17	23,17
468	2	3P0654	SEAL O RING/ROSEL	11,54	23,09
469	3	5P0840	SEAL-O-R	2,60	7,79
470	1	5P4892	SEAL O RING/ROSEL	7,27	7,27
471	4	5P5700	SEAL O RING/ROSEL	12,57	50,26
472	2	5P8068	SEAL	6,96	13,92
473	8	5R7137	WASHER	1,79	14,34
474	1	6V0973	SEAL/SELLO	11,68	11,68
475	4	6V3348	SEAL/SELLO	4,12	16,46
476	2	6V4314	SEAL/SELLO	13,62	27,24
477	2	6V4315	SEAL/SELLO	11,96	23,93
478	1	7C7808	SEAL LIP	9,61	9,61
479	4	7G6713	SPRING	7,37	29,48
480	2	7N3006	WASHER/ARANDELA	51,42	102,84
481	1	7N5244	BEARING/COJINETE	34,71	34,71
482	2	7N8525	WASHER	41,70	83,40
483	1	8C3446	VALVE/VALVULA	9,86	9,86
484	7	8M5255	SEAL O RING/ROSEL	5,57	38,96
485	2	9L4234	SPACER	14,87	29,74
486	1	9X7371	SEAL O R	11,46	11,46
487	5	9Y8388	GASKET	1,72	8,58
488	2	1095724	SEAL G	50,94	101,88
489	1	1108827	RECEIVER AS	114,60	114,60
490	6	1275400	BEARING-	34,82	208,91
491	1	1378298	BEARING-SLEE	29,88	29,88
492	2	1378299	BEARING-SLEE	25,51	51,02
493	1	1424159	SEAL-INTEGRA	59,00	59,00
494	1	1470842	HOSE AS	27,03	27,03
495	1	1470844	HOSE AS	33,12	33,12
496	1	1572813	SLEEVE	23,49	23,49
497	1	2352484	SEAL-LIP TYP	38,60	38,60
498	4	2353546	SEAL-O-RING	14,83	59,30
499	1	2829627	HOSE AS	27,80	27,80
500	1	3008567	SLEEVE	15,96	15,96

501	1	2W1635	SPRING/RESORTE	17,42	17,42
502	1	2W1969	VALVE/VALVULA	27,94	27,94
503	2	3P0655	SEAL/SELLO	10,95	21,90
504	4	3S9643	SEAL/SELLO	7,42	29,68
505	2	4L8606	GASKET/EMPAQUETADU	2,60	5,19
506	1	5P4892	SEAL O RING/ROSEL	7,27	7,27
507	1	5P5846	SEAL O RING/ROSEL	7,41	7,41
508	2	5P7701	SEAL	3,82	7,63
509	2	5P9757	SEAL O RING/ROSEL	2,30	4,61
510	4	6I4950	REGULAT TEMP/TERMO	20,29	81,14
511	4	7N4083	BOOT	5,95	23,80
512	1	7N4927	GASKET/EMPAQUETADU	4,89	4,89
513	1	8T4986	CLAMP/ABRAZADERA	8,23	8,23
514	1	9T8844	VALVE CH	75,66	75,66
515	6	9X8250	CLIP	1,79	10,75
516	1	1072729	FILM WARNING	3,21	3,21
517	3	1092332	SEAL O R	9,78	29,34
518	2	1215746	GASKET	7,03	14,06
519	1	1520998	HOSE AS	45,20	45,20
520	3	5H8848	RING/ANILLO	1,90	5,69
521	2	8L2786	O RING/ANILLO O	2,38	4,76
522	4	8M2772	CLIP/ABRAZADERAS	1,64	6,55
523	2	1030873	GASKET	38,87	77,74
524	2	1030874	GASKET	35,84	71,68
525	1	1114397	HOSE AS	20,29	20,29
526	2	1188454	NOZZLE A	40,23	80,46
527	1	1339658	HOSE AS	35,98	35,98
528	1	1339735	HOSE AS	20,76	20,76
529	1	1874607	HOSE AS	16,11	16,11
530	4	1969138	GASKET	8,74	34,97
531	16	1D4539	BOLT/PERNO	0,31	4,93
532	6	1W8545	GASKET/EMPAQUETADU	1,00	6,01
533	1	6V8628	ELBOW/CODO	5,63	5,63
534	16	6V9769	SEAL	1,87	29,90
535	16	9N0869	WASHER/ARANDELA	0,22	3,58
536	1	9N4053	SPRING/RESORTE	4,98	4,98
537	32	1003237	GROMMET	5,22	166,88
538	16	1014135	PIN SPRING	1,69	27,10
539	45	1081434	GROMMET	5,81	261,45
540	1	1145477	PLUNGER	12,72	12,72
541	16	2415928	GASKET	1,23	19,71
542	57	2N2766	LOCK NUT	2,77	157,61
543	56	5P3345	BOLT/PERNO	8,00	448,06
544	1	9L2295	BOLT/PERNO	4,92	4,92
545	14	1278269	SEAL-EXH	12,85	179,83
546	48	6V6228	SEAL O R	3,33	159,60
547	15	1179315	SEAL-BAS	30,35	455,18
548	16	1204339	WASHER-SPRIN	0,38	6,05
549	16	2720760	SEAL-PIP	12,75	203,95
550	8	2N2766	LOCK NUT/SEGURO	2,77	22,12
551	8	3H5954	BOLT	6,04	48,33
552	50	9F7707	RING/ANILLO	0,85	42,70
553	16	2302620	BEARING-SLEE	21,57	345,07
554	1	2752604	FILTER A LUB	20,83	20,83
				<b>TOTAL</b>	<b>224.770,50</b>