



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Análisis de Falla de Motor Waukesha de 500 KW de Generación
Eléctrica”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Richard Hitler Holguín Alava

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2013

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente a mis padres y esposa por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

A MI ESPOSA Y A MIS
HIJAS

GABRIELA, ANDREA Y

VALENTINA.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr. Kleber Barcia V., Ph.D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DELLITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Richard Hitler Holguín Alava

RESUMEN

El presente trabajo profesional se basa en la realización del análisis de la falla de un generador Waukesha con un motor de 6 cilindros que perteneció a una Refinería de Petróleo, el mismo que falló mecánicamente de una forma catastrófica después de una reparación y mantenimiento efectuado unos meses antes del colapso.

En el establecimiento de las causas de la falla se utilizaron conocimientos adquiridos en la ESPOL y experiencia propia con lo que se logró encontrar evidencias del porqué de la falla y las condiciones que produjeron las causas y la secuencia de factores que influyeron en el deterioro de componentes hasta llegar a la fractura del cigüeñal y demás daños que pusieron al equipo fuera de servicio.

En el capítulo 1 se revisaron las fuentes de información generadas en la planta concerniente con las bitácoras de operación y mantenimiento, además de la información del grupo de personas que operaban y daban mantenimiento a dicha máquina, junto a la información entregada por el contratista que efectuó la última reparación en el motor.

En el capítulo 2 se realizaron los ensayos de taller y laboratorio para obtener información sobre las partes afectadas y sobre el material del

cigüeñal, también se usaron técnicas metalúrgicas como: la microscopía óptica, tintas penetrantes y fractografía para contar con datos que identifiquen las causas que provocaron la falla del componente principal del motor que es el cigüeñal.

En el capítulo 3 se realizaron evaluaciones de las causas mecánicas y metalúrgicas que provocaron el mal funcionamiento del motor, estos son desgastes, fisuras y fracturas de componentes que llevaron a la máquina a cambios irreversibles y comprometedores con la falla final.

Posteriormente se realizó la discusión de los resultados con los que se llegó a establecer la causa raíz y las conclusiones y recomendaciones.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Resumen.....	II
Índice General.....	IV
Abreviaturas.....	VI
Índice de Figuras.....	VIII
Índice de Tablas.....	X
Introducción.....	1

CAPÍTULO 1

1. REVISIÓN DE INFORMACIÓN RELEVANTE EN MOTOR-GENERADOR

WAUKESHA.....	3
1.1 Descripción de la Instalación de Generación Eléctrica.....	3
1.2 Revisión de Información de la Planta Previo al Último Mantenimiento.....	8
1.3 Revisión de Información de la Última Reparación Efectuada al Motor.....	12
1.4 Revisión de Información de Operación después del Último Mantenimiento.....	17

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS MECÁNICO Y METALÚRGICO DE LA FALLA DEL MOTOR.....	21
2.1 Evidencia de Falla de los Componentes del Motor.....	21
2.2 Evaluación Metalúrgica del Material del Cigüeñal.....	26
2.3 Análisis Metalúrgico de la Fractura del Cigüeñal.....	34
2.4 Fractografía del Cigüeñal.....	40

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE CAUSAS DE FALLA DEL MOTOR.....	45
3.1 Evaluaciones de las Causas Mecánicas.....	45
3.2 Evaluaciones Metalúrgicas de las Fallas.....	48

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
-----------------------------------------------	-----------

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

A	Amperes
Amp.	Amperios
CFM	Pies cúbicosporminuto
cm	centímetro
d	diámetro
dB	decibeles
h	hora
Hz	hertz
Kcal	Kilocalorías
Kg.	Kilogramo
Kw	Kilowatio
lb.	libra
m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
mm	milímetro
N m ²	Newton metro cuadrado
°c	Gradoscentígrados
Pulg.	Pulgadas
r	radio
Rc	Rockwell C
s	segundos
V	Voltaje
volts	voltios
W	watts
Ω	ohmios
A	área
AC	corrientealterna
Al	Aluminio
ΔP	Caída de presión
Babbit	Material que encubre las chapas de biela y bancada
C	carbono
Co	cobalto
Cr	chromo
Cu	cobre
DC	corrientedirecta
\mathcal{E}	Eficiencia
f	factor de fricción
i	intensidad de corriente

χ	Factor de corrección
k	conductividad térmica
kva	kva
l	longitud
\dot{m}	Flujo másico
min	minuto
Mn	Magnesio
Ni	Níquel
ρ	Densidad
Pb	plomo
P	presión
R	resistencia
R.P.M.	revolución por minuto
rad	radianes
rev	revolución
Sn	Estañó
Ti	Titanio
unidad #3	motor generador #3
unidad #4	motor generador #4
v	velocidad
V	voltaje
\dot{V}	Flujo volumétrico
γ	Peso específico
μ	Viscosidad dinámica
π	Pi
\varnothing_{ext}	diámetro exterior
\varnothing_{int}	diámetro interior
Φ	Potencia en KW.
%	porcentaje
ω	Velocidad angular

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Ubicación de la Unidad N°4 y Unidad N°3.....	4
Figura 1.2 Motor-Generador waukesha VHP 5900 DS.....	5
Figura 1.3 Placas de Identificación de Motor-Generador N°4	7
Figura 1.4 Desensamblaje del Motor.....	19
Figura 1.5 Partes Obtenidas Para Realizar el Análisis de Fallas del Cigüeñal	20
Figura 2.1 Fractura externa del Block.....	22
Figura 2.2 Camisa del Pistón N° 4	22
Figura 2.3 Un Pistón con Ralladuras y Rines Pegados	23
Figura 2.4 Brazo de Biela N° 4 Deformado.....	23
Figura 2.5 Cepos de Brazos de Bielas y Chapas de Bielas Deformados Con Desprendimiento de material Babbit.....	24
Figura 2.6 Muñón de Biela Fracturado (Posición N° 8).....	24
Figura 2.7 Chapas de Bancada Sin Material Antifricción	25
Figura 2.8 Cepos de Bancada Deformados.....	25
Figura 2.9 Cigüeñal en Donde se Indica la Posición 10, 11Y 12 de los Muñones de Biela y Bancada.....	26
Figura 2.10 Cigüeñal Fracturado (Vista de Dos Posiciones)	27
Figura 2.11 Sitio de la Superficie Fracturada del Cigüeñal... ..	28
Figura 2.12 Probeta del Metal del Cigüeñal en que se Analizó la Composición Química.....	29
Figura 2.13 Zonas del Corte sin Ataque Químico.....	31
Figura 2.14 Probeta con Ataque Químico para Visualizar Fases Presentes.....	31
Figura 2.15 Collage de Foto y Micrografías de la Misma Probeta	33
Figura 2.16 Los Seis Muñones de Biela Numerados de Acuerdo a las Posiciones Relativas en el Cigüeñal.....	35
Figura 2.17 Afectaciones Sobre las Superficies de los Siete Muñones de Bancada.....	36
Figura 2.18 Muñón de Bancada en la Posición N° 7	37
Figura 2.19 Rayaduras y Adherencias de Metal Babbitt en las Posiciones 7 y 8 en el Cigüeñal.....	38
Figura 2.20 Cigüeñal en Posición Vertical Ensayado con Tintas Penetrantes.....	39
Figura 2.21 Acercamiento de Muñón de Bancada en la Posición N° 7	

	y Ensayada con Tintas Penetrantes.....	40
Figura 2.22	Patrón de Fractura de la Posición N° 7 y Posición N° 8.....	41
Figura 2.23	Sección B de la Posición N°8 Posee Mayores Marcas para un Mejor Análisis.....	42
Figura 2.24	Muestra de Morfología de la Falla Por Fatiga (Marcas de Playa).....	43
Figura 2.25	Origen de la Ruptura del Cigüeñal.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Información Obtenida de la Bitácora de Mantenimiento.....	9
Tabla 2 Información Obtenida de la Bitácora de Operación.....	10
Tabla 3 Resultados de Análisis Químico.....	29

INTRODUCCIÓN

El trabajo del Ingeniero consiste en aplicar métodos científicos para enfrentar diversos problemas dónde no es fácil encontrar la verdad de acontecimientos en los cuales no existe suficiente información de los hechos ocurridos.

En el año 2012 participé en la solución de un problema relacionado con mi actividad profesional, la misma que tiene relación con motores de combustión interna a diesel ya que mi trabajo es de Jefe de Mantenimiento de la flota de transporte masivo también llamado Consorcio Metroquil y por ende, mi contacto con los motores de los vehículos de transporte es habitual, habiendo acumulado experiencia para enfrentar temas concernientes con la operación, mantenimiento y análisis de fallas de dichas máquinas.

El presente trabajo está relacionado con la falla mecánica catastrófica del motor del generador Waukesha, VHP5900DS de 6 cilindros que perteneció a una instalación de generación eléctrica de 500 KW de una Refinería de Petróleo.

La ruptura del cigüeñal de dicho motor ocurrió luego de 3 meses de haberse realizado el último mantenimiento.

El objetivo general planteado para este problema fue determinar la causa raíz del daño del motor, y los objetivos específicos que fueron planteados para resolver el problema fueron los siguientes:

- Revisar la información de Planta.
- Realizar inspección en el sitio, y
- Retirar el cigüeñal de planta para realizar ensayos de laboratorio, mismos que fueron los siguientes:
 - Calificación del metal del cigüeñal,
 - Evaluación metalográfica del metal,
 - Aplicación de ensayos no destructivos y
 - Efectuar fractografía sobre las superficies expuestas.

La ayuda proporcionada por las técnicas de ingeniería fue invaluable para encontrar una respuesta lógica al problema, es mas también se tuvo que aplicar los conceptos y métodos de la metalurgia forense puesto que la documentación proporcionada por la planta fue imprecisa y no reflejó la historia de los hechos sobre la vida de la máquina durante los últimos meses de funcionamiento.

CAPÍTULO 1

1. REVISIÓN DE INFORMACIÓN RELEVANTE EN MOTOR-GENERADOR WAUKESHA.

1.1 Descripción de la Instalación de Generación Eléctrica.

En una refinería que procesa 10.000 barriles/día, contaba con una planta de generación eléctrica, la que está constituida por 2 grupos motor-generator los mismos que se les identificaba con el nombre de unidad #3 y unidad #4, tal como se ve en la figura 1.1



FIGURA 1.1 UBICACIÓN DE LA UNIDAD 4 Y UNIDAD 3.

Estas 2 unidades suministran energía eléctrica a las áreas de planta de agua, hornos y oficinas.

La unidad #3 y unidad #4 se alternaban en funcionamiento entre sí cada 22 días, a través de un accionamiento de interconexión manual.

Debido al aumento de operaciones dentro de la Planta, la demanda de energía eléctrica en equipos e instalaciones siempre se incrementaba, por lo que los generadores trabajaban más tiempo en paralelo.

En la inspección visual realizada en la refinería se constató que cada grupo está compuesto en esencia por un motor y un generador como se observa en la figura 1.2.



**FIGURA 1.2 MOTOR GENERADOR WAUKESHA
VHP 5900DS**

Específicamente hablando de equipo es un motor de combustión interna que sirve para producir la potencia necesaria demandada por la Planta, está dividido en cuatro partes principales que son: el carter inferior, carter superior, block y cabezote. En el carter inferior se encuentra el depósito de aceite; en el superior están el cigüeñal y el eje de levas, que son los ejes principales del motor, también se

encuentra la bomba de aceite. En el block están los seis cilindros en línea dentro de los cuales trabajan los pistones con sus respectivos anillos de compresión y lubricación.

En el cabezote se encuentran las válvulas, el tren de balancines y los múltiples de admisión y de escape, el cigüeñal es el eje principal del motor, con codos en forma de manivela, que reciben el movimiento ascendente y descendente del conjunto biela-pistón, para convertir este movimiento en uno giratorio, cada manivela esta formada por brazo de biela y por el muñón de biela, que gira sobre el cojinete de la cabeza de biela. Los muñones del eje de rotación del cigüeñal se denominan muñones de bancadas.

El cigüeñal se constituye en el rotor del alternador o generador del grupo. En este motor la bomba de inyección de combustible supe la carga y mantiene el motor en 900 R.P.M. de velocidad angular constante.

El rotor del generador es el otro componente del grupo motor-generador y cumple la función de inductor, ya que tiene conectado un campo DC proveniente del rectificador AC/DC. El estator es el inducido del generador y en sus terminales se obtendrá el voltaje trifásico.

El año de fabricación es 1994, utiliza diesel como combustible, velocidad en vacío 900 R.P.M., frecuencia 60 Hz, factor de potencia 0.8, voltaje 480/277 volt, fases: 3, rotación: sentido del reloj. Esta información fue obtenida del catálogo de dicho motor como se reporta en el apéndice N° 1.

En la figura 1.3 también se observan las placas de identificación existentes en la unidad #4.



FIGURA 1.3 PLACAS DE IDENTIFICACIÓN DE MOTOR-GENERADOR N°4.

1.2 Revisión de Información de la Planta Previo al Último Mantenimiento.

La información de operación y mantenimiento previo al último mantenimiento fue proporcionada por el personal de planta, que manejaban dos bitácoras de cada actividad de donde se ha obtenido la información más relevante de dicha unidad a fin de resumir la información entregada por la planta y por otro lado se establecen los datos que representan alertas sobre el comportamiento del motor, en la siguiente tabla I. Todos los demás datos constan en los apéndices correspondientes a las bitácoras de mantenimiento y operación que están en los apéndices N° 2 y N° 3.

TABLA 1
INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA BITÁCORA DE
MANTENIMIENTO

FECHA	ANTECEDENTE DE FUNCIONAMIENTO	TRABAJO REALIZADO	REPUESTOS	PERSONAL
12 ABRIL	Inestabilidad de operación Elevada temperatura en aceite y agua Disminución de presión de aceite.	Primer mantenimiento: Desensamblado del motor Limpieza de chapas de biela, y chapas de bancada Descarbonización	Rines, empaquetadura, filtro de aire, filtro de aceite, aceite, filtro de combustible.	mecánicos de Planta
3 JUNIO	Vibración normal del motor. Excesivo consumo de combustible.	Reparación de bomba de inyección y actuadores.	Kit de bomba de inyección Filtros de inyectores Anillos y O´rings de inyectores. Actuadores.	Contratista
10 JUNIO	Inestabilidad en sus R.P.M.	Segundo mantenimiento. Desensamblaje de cabezote. Asentamiento y calibración de válvulas. Calibración de Inyectores.	Cuchos de válvulas. Aceite. Filtro de aceite. Empaque de carter. Empaques de tapas de barra de leva.	mecánicos de planta
2 JULIO	Detonaciones. Golpeteos. Elevadas vibraciones. Inestabilidad en relanti. Elevada temperatura en agua y aceite del motor. Governor descalibrado.	Ninguno.		

La bitácora de operación de la unidad # 4 correspondiente al año 2011 previo al último mantenimiento fue establecida en la siguiente tabla.

TABLA N° 2

INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA BITÁCORA DE OPERACIÓN.

FECHA	REPORTE DE FUNCIONAMIENTO	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	PERSONAL
19-22-marzo	Aumento en la temperatura de aceite y en el agua de 85°C a 98°C. Presión de aceite que estaba en rango de 2 a 3 Bares. Goteo de aceite por empaques de tapas de válvulas. Golpeteos. Ruidosextraños. Goteo de aceite por reten de leva y reten de cigüeñal Fugas por sellos de bomba de agua. Pérdida de Potencia del motor.	Ninguno. No se siguió Protocolo de Mantenimiento.	Mecánicos de planta
12 abril	Se paralizó el motor por presentar elevadísima temperatura tanto de aceite como de agua (105 °C). Entra en funcionamiento la unidad # 3	Desensamblaje del block del motor	Mecánicos de planta
29-30-abril	Se presentan problemas de inestabilidad, y se lo atribuyen a que el governor no mantiene las R.P.M. estables	Calibración de governor.	Eléctricos de planta
03 junio	Se paralizó la unidad por vibraciones excesivas. Inestabilidad en el Relanty. Grandes emisiones de humo negro	Reparación y calibración de bomba deinyección. Reparación de actuadores	Mecánicos de planta
08 junio	Elevada temperatura del agua. El motor no alcanza su velocidad nominal. Retirado de operaciones en forma total.	Segundo Mantenimiento.	Mecánicos de Planta

En el mes de Marzo del 2011 ya no operaba eficientemente el generador ya que existía pérdida de potencia. El motor presentaba constantes fallas, sonidos y daño de ciertos componentes del motor.

En el mes de Abril le realizaron al motor su primer mantenimiento, repotenciando parcialmente el motor; el grupo luego de esta reparación presentó inestabilidad en las R.P.M., es decir en la velocidad de vacío o Relanty, atribuyéndole esta anomalía a el governor (regulador de velocidad que permite que el motor no se salga de sincronización). Se reportó inestabilidad en relanty luego de ese Mantenimiento.

Con una inestabilidad constante en el mes de junio paralizan totalmente la operación de la Unidad # 4 para realizar la segunda reparación, que fue un trabajo complementario de lo que no se realizó en el mes de abril, como consta en la bitácora de mantenimiento (Apéndice N° 6).

El motor arranca sin embargo la vibración del motor era elevada, existía un aumento en la temperatura del agua auxiliar, presentando continuas filtraciones del componente refrigerante.

Ya en estos días el motor no podía realizar cambios de cargas rápidos.

El personal mecánico descartó en todo momento que la constante inestabilidad del grupo (motor-generador) fue producida por los componentes mecánicos, esto es el motor y lo atribuyeron a componentes eléctricos del generador.

Estas fallas fueron reportadas, sin embargo ya para inicio del mes de Agosto, comenzó el motor a tener detonaciones junto a una alta vibración, elevación de temperatura del aceite del motor, golpeteos y ruidos fuera de lo común por lo que no se utilizaba esta unidad, información que tampoco se asentó en la bitácora de operación, y es por esto que decidieron tercerizar el mantenimiento total y se realiza el trámite correspondiente para contratar la reparación de dicho motor.

1.3 Última Reparación Efectuada al Motor.

El 21 de septiembre del 2011 quedó asentado en la bitácora de mantenimiento que se llevo a cabo el último mantenimiento total del motor con un contratista dueño de un taller artesanal.

La información que a continuación se detalla fue suministrada por el personal de planta (Apéndice N° 6 y Apéndice N° 7) y el contratista.

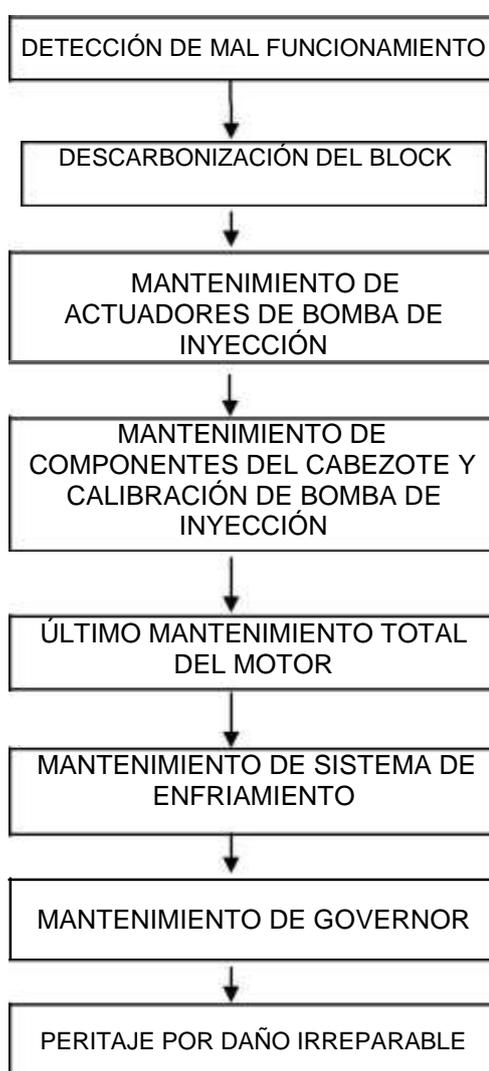
Se procedió a desensamblar dicho motor, y desmontando el cabezote encontraron una varilla de balancín doblada, una válvula de admisión doblada, un balancín roto y un protector de resorte roto, deciden cambiar el piñón de bomba de aceite, la polea de cigüeñal, el piñón de cigüeñal y los elementos doblados y rotos antes citados.

En una comunicación del contratista sobre el trabajo realizado (Apéndice N° 5); indicó que en el cigüeñal existían restos de magnolia (material babbit) adheridas en cada uno de los muñones del cigüeñal. Pulieron manualmente, verificaron la linealidad del cigüeñal, a través de un soporte magnético con su respectivo reloj palpador y dos bases en "V" como apoyos para que pueda girar el cigüeñal sobre ellas; de esta manera comprobaron que no existía deflexión en el cigüeñal, cambiaron chapas de biela, chapas de bancada y comprobaron la holgura de tolerancia entre los muñones y chapas, tanto de bielas como de bancadas que fue 0.006 pulg.

No existió un informe técnico del procedimiento de las reparaciones efectuadas por parte del contratista al motor; por lo que no siguió su personal a cargo un protocolo de mantenimiento en la reparación del motor Waukesha.

En el siguiente diagrama se resumen la secuencia de operaciones de los mantenimientos de reparación a los que fue sometida la Unidad N° 4 en el año 2011.

DIAGRAMA DE OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE UNIDAD #4.



Este motor finalmente comienza a funcionar el 07 de Noviembre del 2011.

En resumen se pudo establecer después de revisar y analizar la información de planta y los trabajos realizados por el taller artesanal, que el motor siempre presentó una inestabilidad en Relanty.

En el último Mantenimiento Total, en base a práctica diaria se debió haber seguido el protocolo de reparación citado en el Apéndice N° 8 y las siguientes verificaciones:

- * Verificar la linealidad del túnel de bancadas en el block del motor.
- * Verificar si la varilla de balancín y la válvula de admisión dobladas fue consecuencia de una mala calibración de esa válvula en la segunda reparación.
- * Comprobar que los ductos de lubricación no estén obstruidos y fuese esa la causa de que se hayan desprendidos la magnolia de las chapas de biela y bancada, adheridas a los muñones del cigüeñal, por mala lubricación.
- * Medir la abertura (holgura) de los rines y verificado si las camisas y/o pistones se encontraban con rayaduras.

- * Volver a asentar todas las válvulas tanto de admisión como de escape y que la holgura entre las válvulas y las guías de válvulas fueron correctas.
- * Constatar que el torque aplicado, y sistemas de ajustes a los pernos de la culata, de las chapas de biela y bancadas eran los correctos.
- * Verificar si la carrera del motor era la correcta ya que no es normal que una válvula (admisión) y la varilla se doblarán.
- * Verificar la presión de aceite del motor antes y después de la reparación.
- * Verificar desgaste y alineamiento de la barra de leva ya que se encontró un balancín y un protector de resorte roto.
- * Realizar un análisis espectrofotométrico del aceite antes de la reparación y otro luego de una semana de la reparación.
- * Verificar si tenían la holgura apropiada los piñones de leva y de cigüeñal y haber reportado el porqué de su reposición.
- * Comprobar la altura de los asientos de válvula.

1.4 Revisión de Información de Operación después del Último Mantenimiento.

A continuación se detalla información establecida en la bitácora de mantenimiento (Apéndice N° 6) y de Operación (Apéndice N° 7) del año 2011, proporcionada por la Planta, después del último mantenimiento.

- * Octubre 13 cambio de conducto de agua de 3", en el Sistema de Enfriamiento.
- * Noviembre 7, según se observa en la bitácora de operación, luego de casi dos meses de paralización, entra a operar la unidad #4.
- * Noviembre 12, la inestabilidad en las R.P.M. del motor y con tan solo 127 horas de funcionamiento deja de operar.
- * Diciembre 5, se realizó cambio de aceite y filtro de aceite del motor luego de haber cumplido 420 horas de funcionamiento. Esta unidad no operaba normalmente.
- * Diciembre 8, al no estabilizarse las R.P.M., se paraliza para cambiar el governor con uno nuevo.
- * Diciembre 9, se reportó que se apagó y desconectó por sí solo, el generador.
- * Diciembre 10 al 14, no se reportan novedades, el generador presenta los siguientes datos de operación:

- ° Temperatura del agua entre 186-188°F° a velocidad constante = 900 R.P.M.
- ° Temperatura del aceite fluctúa entre 189-192°F
- ° Presión de aceite entre 57-60 psi.
- * Diciembre 14, a partir de las 23H00 esta unidad trabaja sola.
- * Diciembre 15, hasta las 10h45 el generador trabaja independientemente, luego es puesto a trabajar en paralelo con la unidad # 3.
- * Diciembre 16 al 20, no se reportan novedades, se mantienen los datos de temperatura y presión.
- * Diciembre 20, cebado de aceite de motor, cambio de elemento y filtro de combustible.
- * Diciembre 25, supuestamente con una velocidad baja, y una temperatura, y presión de aceite estable, colapsa dicha unidad (#4) con una ruptura en el cigüeñal y un block de motor roto en algunas partes de la estructura de hierro fundido.

Sin presencia de operador, personas dentro de la planta escucharon un ruido producto de la falla y es lo único que se conoce del incidente.

En la figura 1.4 se observa al personal de la Planta en proceso de desensamblaje del motor y sus componentes, posterior a la falla para investigar las causas de la fractura del cigüeñal.

El motor se encontraba fuera de su lugar habitual de trabajo y solo quedan ensamblados el cigüeñal y cojinetes de bancada con sus respectivos pernos.



FIGURA 1.4 DESENSAMBLAJE DEL. MOTOR

En la figura 1.5 se encuentran parte de los componentes destruidos como lo son pistones rotos, brazos de biela deformados, camisas de motor rotas, cojinetes destruidos y demás, que sirvieron para realizar el análisis de fallas del cigüeñal.



FIGURA 1.5 PARTES OBTENIDAS PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE FALLAS DEL CIGÜEÑAL.

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS MECÁNICO Y METALÚRGICO DE LA FALLA DEL MOTOR.

2.1 Evidencia de Falla de los Componentes del Motor

El evidenciar los componentes del motor que presentaron fallas conduce a descubrir indicios de la causa original de la fractura del cigüeñal.

Se visualiza en la figura 2.1, la fractura del block del motor como consecuencia de la fractura del cigüeñal.



FIGURA 2.1 FRACTURA EXTERNA DEL BLOCK



FIGURA 2.2 CAMISA DEL PISTÓN N°4



**FIGURA 2.3 EN EL CUARTO PISTÓN CON RAYADURAS Y
RINES PEGADOS**



FIGURA 2.4 BRAZO DE BIELA Nº4



FIGURA 2.5 CEPOS DE BRAZOS DE BIELA Y CHAPAS DE BIELA DEFORMADOS.

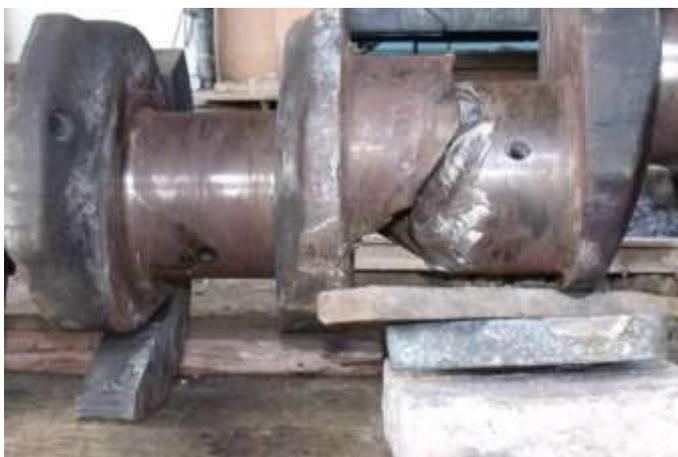


FIGURA 2.6 MUÑÓN DE BIELA FRACTURADO



FIGURA 2.7 CHAPAS DE BIELA SIN MATERIAL NFITRION



FIGURA 2.8 CEPÓS E BANCADA DEFORMADOS

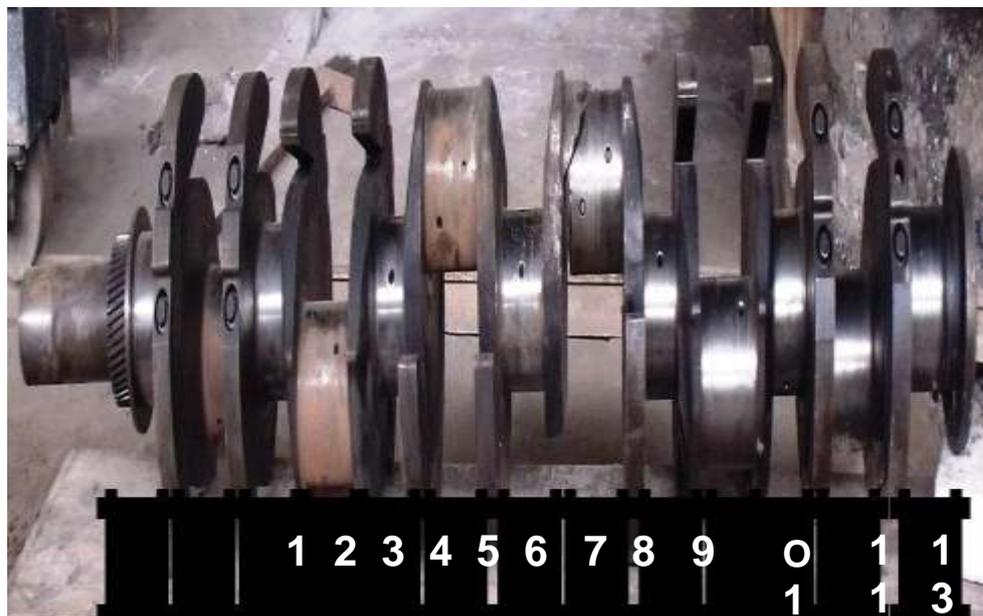


FIGURA 2.9 CIGÜEÑAL EN DONDE SE INDICA LA POSICIÓN 10, 11 Y 12 DE LOS MUÑONES DE BIELA Y BANCADA

2.2 Evaluación Metalúrgica del Material del Cigüeñal

A partir del cigüeñal fracturado se obtuvieron muestras de la región de la fractura como se observa en la figura N° 2.10. Además se identifica los muñones de biela y bancada.

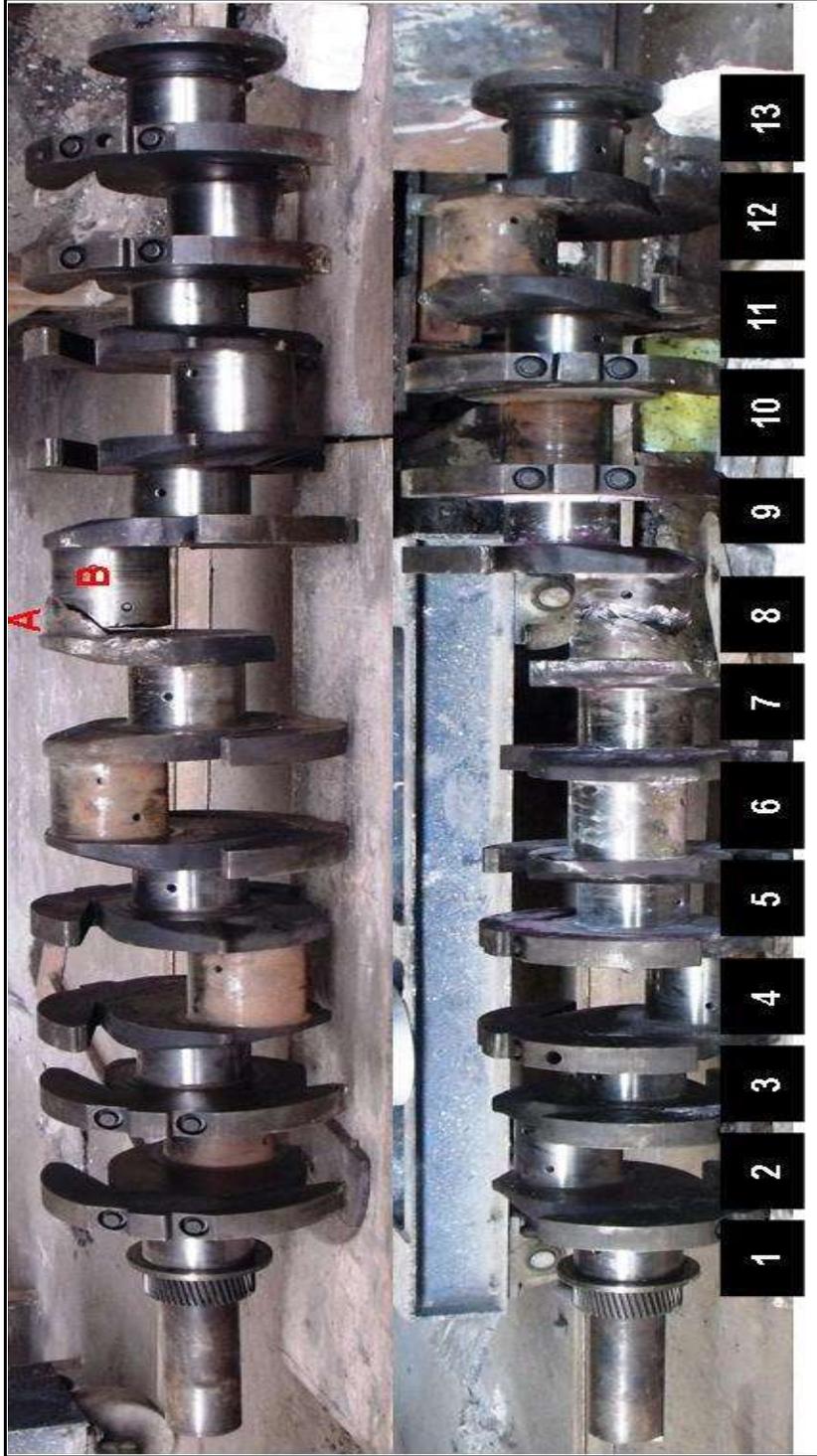


FIGURA 2.10 CIGÜEÑAL E UNA REFINERÍA (ENE AL CIGÜEÑAL EN UNA POSICIÓN

ARBITRARIA Y EN CAMBIO LA VISTA INFERIOR EL CIGÜEÑAL HA SIDO GIRADO 180°.

Para realizar la evaluación de la calidad del material del cigüeñal se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio metalúrgico:

- I Análisis químico vía rayos x.
- II Microscopía óptica para establecer las fases presentes y ver la condición de tratamiento térmico superficial y
- III El ensayo de dureza para verificar las propiedades en las cercanías de la superficie y el centro de los muñones.

En la siguiente figura 2.11 se destaca el sitio de la superficie donde se tomó muestra seccionada del material para confeccionar probetas para: análisis químico, metalografía y dureza, los resultados de los ensayos se destacan a continuación:



FIGURA 2.11 SITIO DE LA SUPERFICIE DE FRACTURA DEL CIGÜEÑAL

I. ANÁLISIS QUÍMICO:

Como se observa en la siguiente figura 2.12 están las huellas dejadas por los disparos efectuados en la superficie de la probeta y el resultado de la composición química son promediales de estas pruebas de rayos x.



FIGURA 2.12 PROBETA DEL METAL DEL CIGÜEÑAL EN QUE SE ANALIZÓ LA COMPOSICIÓN QUÍMICA.

**TABLA 3
RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO**

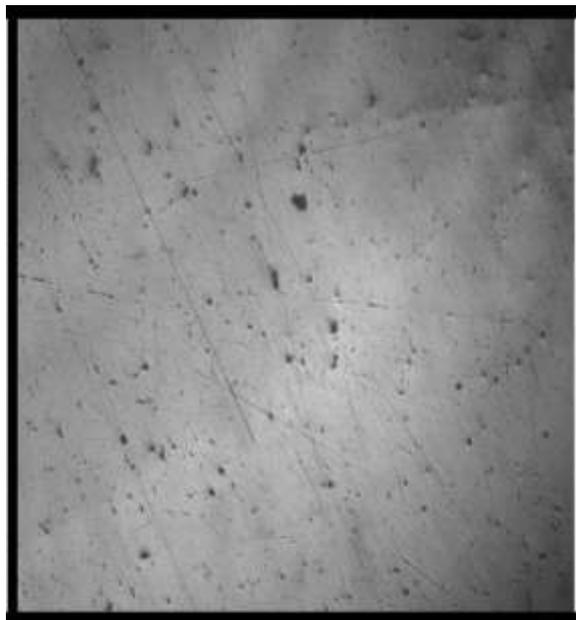
C%	MN%	SI %	P%	S%	CR%	NI%	MO%	CU%	V%	AL%	TI%	NB%	CO%	SB%	SN%	PB%
0.56	0.969	0.230	0.024	0.018	0.214	0.20	0.037	0.181	0.002	0.019	0.005	0.005	0.013	0.018	0.002	0.003

La composición química resultante no se ajusta a las composiciones típicas de los aceros para cigüeñales que se marcan en las series 10xx, 41xx, 43xx. el contenido de C tiene un nivel alto ya que estos aceros se hacen con 0.40 % de C. los niveles de contenido de Mn, Cr, Ni y Cu son normales.

II. ANÁLISIS METALOGRAFICO:

En el siguiente caso se obtuvo muestras del material de la zona fracturada en el muñón de biela en la posición 8 y se observó microscópicamente zonas del corte sin ataque químico (figura 2.13) y con ataque químico (figura 2.14), los resultados de estas pruebas se ubican en el ataque químico en donde las fases presentes son de ferrita y perlita fina. También aparece la fase de grafito asociada con ferrita, lo cual es común en los hierros dúctiles mas no en los aceros forjados, lo cual constituye una misma estructura anormal.

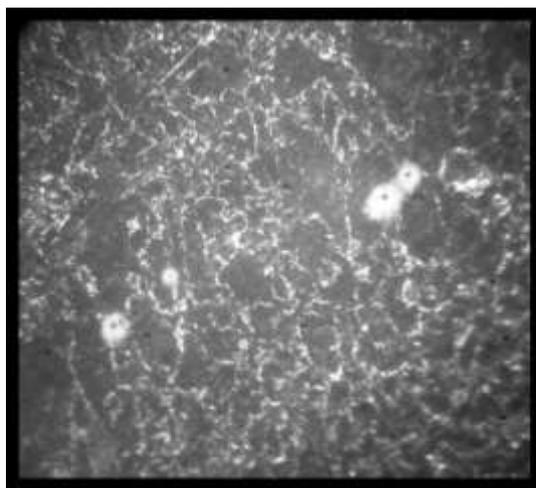
Siguiente collage de fotos y micrografías correspondientes a la sección transversal del muñón de biela, donde se aprecia las fases presentes.



200X

SIN ATAQUE QUÍMICO

FIGURA 2.13 FASE PRESENTE QUE ES DE GRAFITO EN CANTIDAD APRECIABLE.



200X

CON ATAQUE QUIMICO
NITAL AL 2%

FIGURA 2.14 CORRESPONDIENTE A LA MISMA PROBETA PERO CON ATAQUE QUÍMICO.

III. DUREZA

El valor promedio de la dureza del material del cigüeñal fue de 25 Rc, estos valores se los obtuvieron, realizando mediciones independientes en un durómetro debidamente calibrado como se observa en las fotos que se encuentran a continuación en la figura 2.15.

El proceso de manufacturas recomendados en cigüeñales debe incluir el tratamiento térmico de bonificado consistente en un temple; seguido por un revenido, que permita disminuir la fragilidad de los materiales y obtener una dureza final superior a 45 RC. Así un valor de dureza del orden de 25 puntos en la escala Rockwell C, implica una baja resistencia a la fluencia y por lo tanto una baja resistencia a la fatiga.

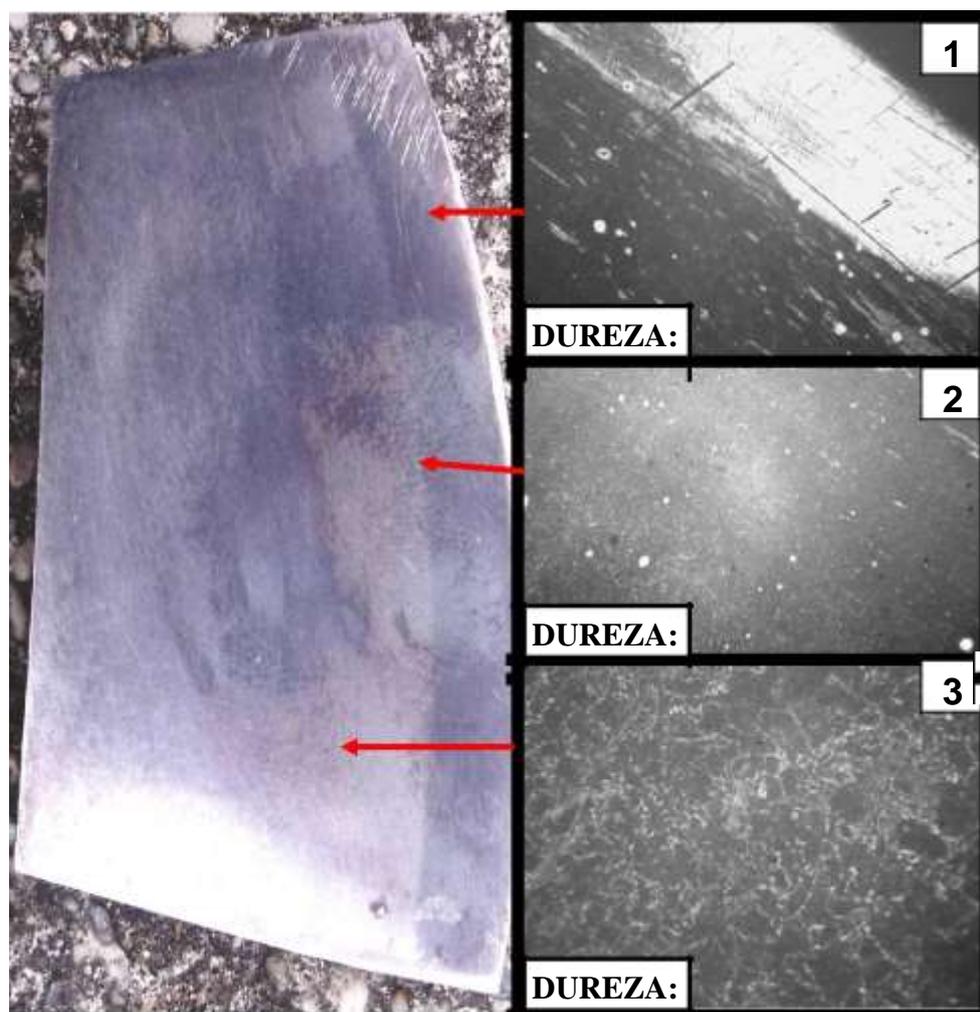


FIGURA 2.15 COLLAGE DE FOTO Y MICROGRAFÍAS DE LA MISMA PROBETA.

La micrografía superior y central *corresponden a la condición* dejada por el tratamiento térmico que hace una corona perlítica que se ve claramente en la foto del lado izquierdo, que mejora el material aumentando su resistencia a la fatiga debido al aumento de su dureza. En la micrografía inferior que se ubica en la parte central

del muñón de biela, se aprecia las fases de perlita y ferrita no modificadas por el tratamiento térmico, la fase de ferrita asociada con grafito sigue igual. En todas las micrografías se observa la fase de grafito rodeado de ferrita con esta condición lo cual constituye un defecto del material. Se puede anotar también que las durezas son muy bajas ya que en las cercanías a la superficie deberían ser del orden de 40Rc o más para conseguir mejorar el material contra la fatiga.

2.3 Análisis Metalúrgico de la Fractura del Cigüeñal

La fractura se dio en la posición 8 según se observa en la figura 2.10.

La posición #8 corresponde al muñón de biela del pistón N° 4. Se realiza el estudio de la superficie de las partes, de manera visual y con ayuda de tintes penetrantes para revelar todo tipo de tallas superficiales.

Las siguientes fotografías (figura 2.16 y figura 2.17) representan las evidencias de la condición superficial de los muñones de biela y de bancada que como se puede apreciar no presentan condición de temperatura elevada, aunque si la presencia de adherencia de metal babbitt en los muñones 6 y 8, también se ven rayaduras, y un

aspecto superficial sin brillo y muescas de excesivo ajuste sobre las superficies de los seis muñones de biela.

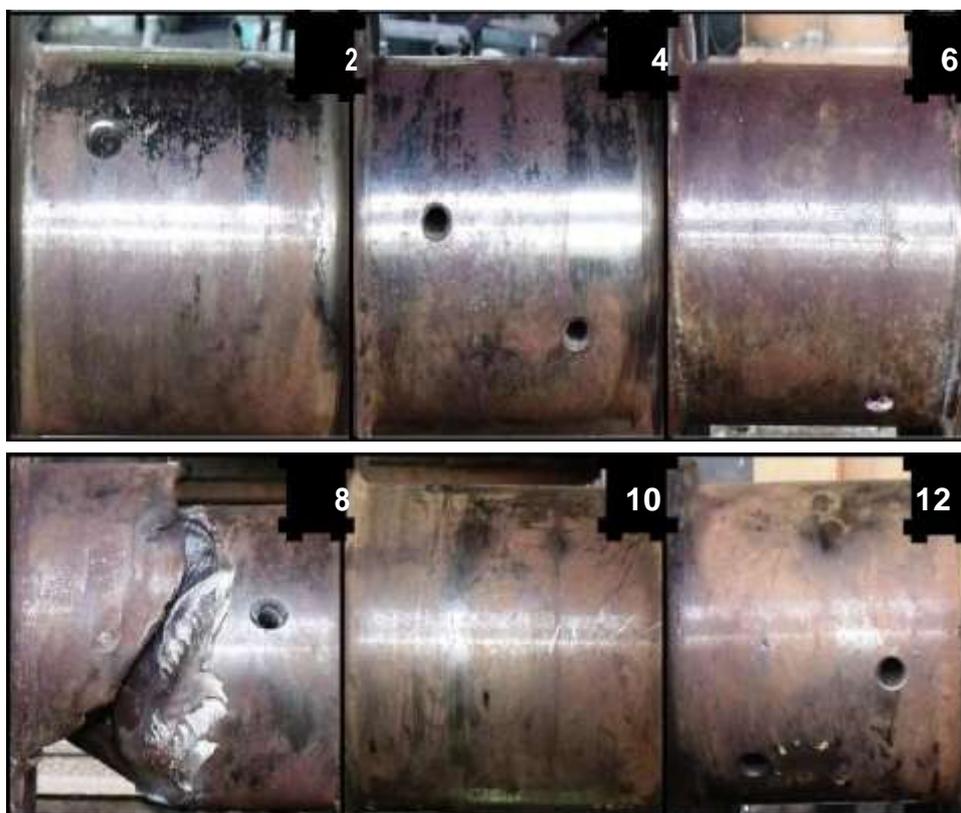


FIGURA 2.16 LOS SEIS MUÑONES DE BIELA NUMERADOS DE ACUERDO A LAS POSICIONES RELATIVAS EN EL CIGÜEÑAL.

Se ven las afectaciones previas a la fractura sobre las superficies de los muñones de bancada en especial la posición 7, en la que existe fisura en un orificio de lubricación y además tiene una dirección a 45° que es similar a la fractura del muñón de biela de la posición 8.



FIGURA 2.17 AFECTACIONES SOBRE LAS SUPERFICIES DE LOS SIETE MUÑONES DE BANCADA.

En la figura 2.18 se exponen las ralladuras y las fisuras en el muñón de bancada de la posición 7 de acuerdo a la figura 2.10. el acercamiento sirve para ver claramente el origen y el progreso de

la fisura con ángulo con respecto al eje del cigüeñal. También se aprecia las marcas del cigüeñal provocadas por desprendimiento del material de las chapas que determinan un funcionamiento incorrecto del motor por ajustes entre chapas y cigüeñal.



FIGURA 2.18 MUÑÓN DE BANCADA EN LA POSICIÓN

Se observó rayaduras y adherencias de metal babbitt que son previas a la fractura en la figura nº 2.19.



FIGURA 2.19 RAYADURA Y ADHERENCIA DE METAL BABBIT EN LA POSICIÓN 7 Y 8 EN EL CIGUEÑAL.

Se efectúa el siguiente ensayo de tintas penetrantes para revelar las condiciones superficiales del cigüeñal y exponer otras fisuras en otros sitios fuera de la fractura del muñón de la posición 8.



**FIGURA 2.20 CIGÜEÑAL EN POSICIÓN VERTICAL
ENSAYADO CON TINTAS PENETRANTES**

Después de ensayada la posición 7 correspondiente al muñón de bancada muestra claramente la dirección del progreso de la fisura en ángulo de 45°. (figura 2.21)

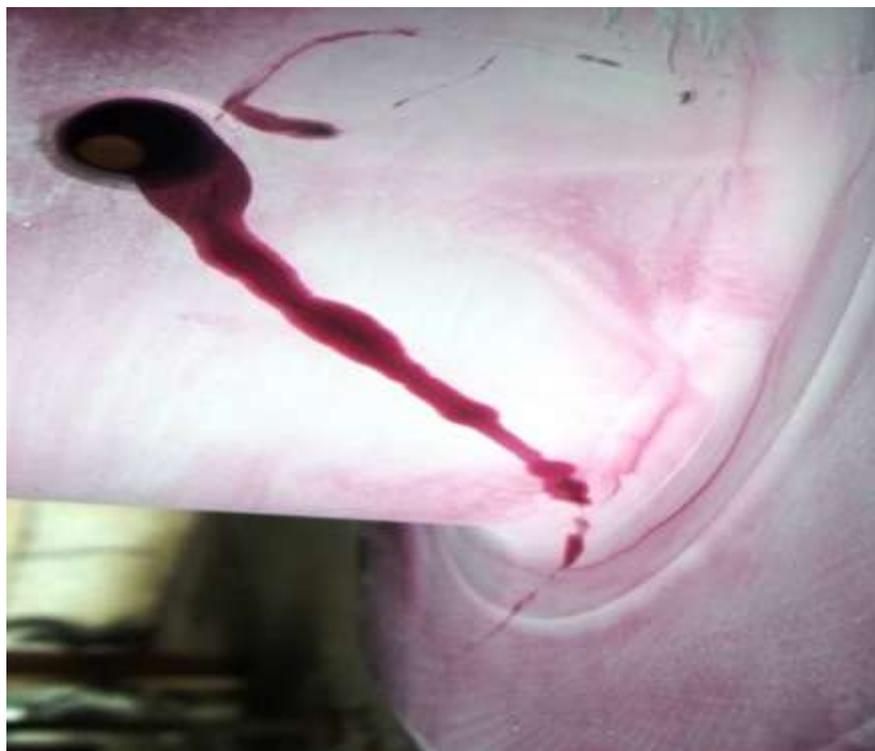


FIGURA 2.21 ACERCAMIENTO DE MUÑÓN DE BANCADA EN LA POSICIÓN N° 7 Y ENSAYADA CON TINTAS PENETRANTES.

2.4 Fractografía del Cigüeñal.

El estudio fractográfico de la superficie del cigüeñal sirve para ver el patrón de la fractura.

Se presentan en la figura 2.22 los dos muñones afectados, el muñón de bancada en la izquierda que corresponde a la posición 7 y a la derecha el muñón de biela con posición 8, que muestran en cada caso el mismo patrón de fractura con dirección angular



FIGURA 2.22 PATRÓN DE FRACTURA DE LA POSICIÓN Nº 7 Y POSICIÓN Nº 8.

Para este análisis se considera el lado B, ya que posee más marcas como se observa en la figura 2.22.

Las siguientes fotografías muestran el origen y progreso de las fisuras, (figura 2.23) las marcas de playa (figura 2.24) identifican la condición de mecanismo de fractura por fatiga de material, mismas que se originan en el orificio de lubricación como se observa en figura 2.25 y después se desarrolla una fractura de súbito mostrando patrón de esfuerzos de torsión. En todas las fotografías

se analizó la cara A de la falla, puesto que la cara a tuvo desprendimientos de material por sucesivos impactos posteriores a la fractura principal, rompiendo inclusive el block del motor.



FIGURA 2.23 SECCIÓN B DE LA POSICIÓN 3 QUE POSEE MAYORES MARCAS



FIGURA 2.24 MUESTRA DE MORFOLOGÍA DE LA FALLA POR FATIGA (MARCAS DE PLAYA)



FIGURA 2.25 ORIGEN DE LA RUPTURA DEL CIGÜEÑAL

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE CAUSAS DE FALLA DEL MOTOR

3.1 Evaluaciones de las Causas Mecánicas

Las causas de fractura que le ocurrió al motor Waukesha, está basado en el estudio de las evidencias dejadas en las partes metálicas afectadas previo a la falla del cigüeñal, y por información proporcionada por el personal de planta y contratista que se anotan a continuación:

- El mantenimiento realizado en septiembre del 2011 no indicaba claramente las labores efectuadas en la máquina (Apéndice N° 5). No existe un reporte que identifique las fallas de funcionamiento encontradas al momento del desensamblaje de partes. No existió registro del protocolo de reparación que se siguió y se dejó sin indicar los parámetros de funcionamiento. Se dan datos promediales que son poco representativos.

- Al no haberse diagnosticado al motor previo a la última reparación y al no haber medido las holguras de los componentes como se hizo notar en las secuencias que debieron efectuarse durante la reparación, finalmente verificado el ensamblaje del cigüeñal, trae como consecuencia la fractura del mismo como se observa en la figura 2.10, ya que también se pudo prever este colapso, si se hubiera finalmente evaluado parámetros de funcionamiento del motor. Esto está inmerso en métodos y procedimientos en que con la previa calificación del contratista, siguiendo el manual de mantenimiento (Apéndice 2) y el manual de operaciones (Apéndice 3) se pudo evitar este colapso.

- En la bitácora de mantenimiento (Apéndice N° 6) y de operación (Apéndice N° 7) del motor Waukesha, existía datos que establecía que este motor desde la primera reparación, esto es en el mes de abril del 2011, y las dos siguientes, no presentaba un relance estable. Es por esto que se dan desmontajes sucesivos tanto parciales y totales (último mantenimiento) de sus componentes.

- * No se puede saber si antes del último mantenimiento realizado en el cigüeñal ya existían fisuras, imperceptibles a simple vista pero detectables y revelables por tintas penetrantes (figura 2.20). No se hizo porque se trabajó sin protocolo de mantenimiento, como ya se anotó antes.
- * La inspección con tintas penetrantes (Figura 2.21), indicaron que el motor no estaba en buenas condiciones de funcionamiento previo al mantenimiento de Septiembre del 2011, ni posterior al mismo.
- * Indicó el contratista que existían adherencias de metal Babbit en los muñones del cigüeñal
- * Se debió verificar la linealidad del túnel de bancada ya que al no haberse corregido esta anomalía, trae como consecuencia aumentos de cargas radiales y torsionales, contribuyendo a la creación de esfuerzos y su fatiga inminente.
- * Los aumentos sustanciales de esfuerzos de torsión generados por cargas cíclicas de torsión, produjeron finalmente la Fractura del Cigüeñal.

A continuación hay un resumen de la secuencia mecánica que se produjo previa a la falla del motor (Ruptura del Cigüeñal).

EVIDENCIAS DE CAUSAS MECÁNICAS DE FALLA DE MOTOR



3.2 Evaluaciones Metalúrgicas de las Fallas

La información obtenida a través del estudio en laboratorio metalúrgico es importante para explicar las posibles causas de falla del cigüeñal. La observación microscópica revela una información

relevante por cuanto encuentra una microestructura anormal de un acero forjado; ésta consiste en la presencia de grafito rodeado de una laguna de ferrita (figura 2.13) en toda la sección del muñón. En la inspección efectuada sobre la condición, en las cercanías de la superficie se pudo apreciar que esta fase de grafito-ferrita (figura 2.14) existe de forma generalizada y su presencia determina puntos de probable centros de nucleación de fisuras y progresión de las mismas aún bajo condiciones de esfuerzos moderados porque son sitios de baja dureza (25Rc), y que hacen fallar el material por no soportar las cargas cíclicas como es el trabajo normal de un cigüeñal.

La dureza superficial baja (25 Rc) (figura 2.15), demuestra que no se efectuó el tratamiento térmico correcto para endurecer el material y darle mayor resistencia a la fatiga. Aunque el acero en el presente caso tiene implícitamente una falla de nacimiento desde la elaboración del acero, por tener puntos de ferrita-grafito que son fases estables de los metales ferrosos y por consiguiente el temple superficial no pudo cambiar su condición y han quedado como debilidades del metal, siendo susceptibles a las fallas por fatiga como en efecto ocurrió.

Analizando la causa efecto que determina cual es la causa raíz para que una máquina que ha trabajado por 17 años fallará en tres meses se puede establecer:

Que en la falla concurren varios factores, aunque principalmente dos son los más importantes:

La causa raíz que fue una condición mecánica (desalineación del túnel de bancada) no corregida en el último mantenimiento efectuado sobre el cigüeñal y la calidad del metal constitutivo del cigüeñal que bajo condiciones adversas de alta fricción entre las chapas y los muñones fueron motivo para el incremento de la tendencia del metal a la falla generada por esfuerzos repetidos que terminaron por producir una falla de fatiga rápida por torsión rápida y la fractura del cigüeñal.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

Después de revisar la documentación de planta, analizar la información verbal de operadores, contratista y procesar los datos obtenidos en laboratorio metalúrgico se tienen las siguientes conclusiones sobre la falla del motor:

Existió una conjunción de fallas humanas en la operación y acciones de reparación que sumados a deficiencias metalúrgicas que presentó el material del cigüeñal iniciaron fisuras cerca de los orificios de lubricación y posteriormente se desarrollaron como falla de fatiga.

Las cargas cíclicas de torsión provocadas por deficiencias en ensamblajes de cigüeñal, dejándolo con desalineamientos después de la

reparación, fueron los que dieron pie a la nucleación y crecimiento de fisuras a nivel microestructural, probablemente en una zona de ferrita y grafito, que fueron encontrados en el análisis microscópico.

Deficiencias de lubricación encontradas en las cercanías de las fallas se sumaron a los esfuerzos de fatiga que fueron detectados por la fractografía de la falla.

Las deficiencias de lubricación también se evidenciaron por las rayaduras profundas en cilindros y pistones, chapas de biela y el propio cigüeñal", fueron el motivo para aumentar las cargas de torsión y de esta forma acelerar el proceso de fractura por fatiga del cigüeñal.

Recomendaciones:

Basado en las conclusiones se establecen las siguientes recomendaciones que minimizarán las ocurrencias de fallas y por ende disminuirán las paradas imprevistas de unidades de generación eléctrica de similares características a las del presente trabajo profesional.

Es importante que existan políticas de procedimiento de trabajo para mantenimiento y reparación cuya exigencia por fiscalización sea idónea.

Capacitar al personal mecánico y eléctrico de planta que esté involucrado en la reparación de motores.

Calificar tanto al personal de mantenimiento mecánico, eléctrico y de operación de dichas máquinas, para que estos puedan diagnosticar cuando se presente alguna situación de mantenimiento fuera de lo normal.

Calificar a los contratistas y fiscalizadores previos a una asignación de trabajo.

Crear un protocolo de mantenimiento en el que esté establecido normas, organización, procedimiento y concluir las operaciones después de llegar a la finalización de trabajos con un acta de entrega y recepción de actividades realizadas por contratistas.

Elaborar un informe técnico que dé un diagnóstico de posibles causas de daños previo a realizar alguna reparación.

Registrar parámetros de medición del antes y después de ejecutar una reparación para medir la calidad del mantenimiento ejecutado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Comparación y Estudio de la Fractura del Cigüeñal de un Motor de Cuatro Cilindros en Línea
JAIRO ANTONIO VALDÉS
JOHN JAIRO CORONADO
JOSÉ ISIDRO GARCÍA
Aeroespacial West Virginia University
2. Analysis of an Unusual Crankshaft Failure.
CHANGLI, W., CHENGJIE, Z. DEPING, W
Engineering Failure Analysis. vol. 12, Issue 3. p. 465-473. 2005.
3. Failure Analysis of a Diesel Engine Crankshaft.
ZHIWEI YU, XIAOLEI XU.
Engineering Failure Analysis, vol. 12, Issue 3, p. 487-495, 2005.
4. BHAUMIK, S.K. RANGARAJU, R. KATASWAMY
M.A. BHASKARAN, T. A. ARAMESWARA, M. A.
Fatigue Fracture of Crankshaft of an Aircraft engine.
Engineering Failure Analysis, vol. 9, Issue 3, P.255-263, 2002.
5. Pandey R.K. Failure of Diesel-Engine Crankshafts. Engineering Failure Analysis, vol. 10, Issue 2, p. 65-175, 2003.
6. Asm, Metal Handbook Ninth Edition vol 11, Failure Analysis and Prevention.
7. Asm, Metal Hand Book, Ninth Edition vol 12, Fractography

APÉNDICES

APÉNDICE 1

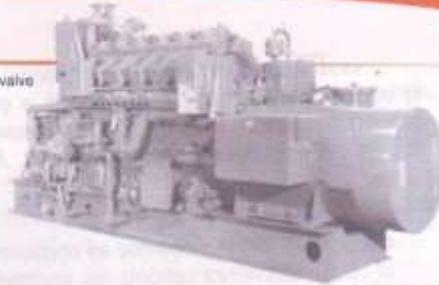
FICHA TECNICA DE MOTOR – GENERADOR WAUKESHA KATO ENGINEERING VHP 5900 DS



VHP5900DS
VHP Series Diesel Engine[®] Generating System
500 kw

Specifications

Dresser Waukesha Engine: E1G1254MC, Four Cycle, Overhead valve
Cylinders: 6 Line
Piston Displacement: 5786 cu. in. (96 L)
Bore & Stroke: 8.5" x 8.5" (216 x 216 mm)
Compression Ratio: 10:1
Jacket Water System Capacity: 107 gal. (405 L)
Lube Oil Capacity: 73 gal. (276 L)
Starting System: 24V electric



Standard Equipment

AIR CLEANERS – Dry type with oil shield and service indicators.

BANKING DEVICE – Manual.

BEARINGS – Heavy duty, replaceable, precision type.

BREATHER – Dosed system.

CONNECTING RODS – Forged steel, rifle drilled.

COOLING SYSTEM – Choice of mounted radiator with pusher fan, core guard and duct adaptor, heat exchanger with expansion tank, or connection for remote radiator cooling. (One shutdown level switch for each circuit included on radiator and heat exchange units).

CRANKCASE – Integral crankcase and cylinder frame.

CRANKSHAFT – Counterweighted, forged steel, hardened journals, dynamically balanced, with sealed viscous vibration damper.

CYLINDER HEADS – Interchangeable valve-in-head type. Two hard faced intake and two hard faced inconel exhaust valves per cylinder. Hard faced intake and exhaust valve seat inserts.

CYLINDERS – 8.5" (216 mm) bore x 8.5" (216 mm) stroke. Removable wet cylinder liners. Number of cylinders – Twelve.

ENGINE/WIND BASE – Engine, generator and radiator or heat exchanger are mounted and aligned on a welded steel, wide flange base, designed for solid mounting on an inertial block, with standard base lifting eyes.

ENGINE PROTECTION SHUTDOWN CONTACTS – For high water temperature, low oil pressure, and over speed (electronic speed switch – shipped loose). Two on/off pushbuttons are supplied, one on each side of the engine. Use all of the above in conjunction with a DC control panel for unit shutdown, (reference Ergonomic[®] controls). Note: DC shutdown control panel is not supplied as standard.

EXHAUST SYSTEM – Water cooled exhaust manifold with single vertical exhaust at rear. Flexible stainless steel exhaust connection 8" (203 mm) long with 8" outlet flange.

FUEL SYSTEM – Diesel system, Full injection, two Fisher S201 gas regulators, one 2" NPT flexible connection (shipped loose), and one 2" NPT Magtrol gas solenoid valve (shipped loose). Fuel pressure – 6 PSIG minimum and 13 PSIG maximum.

GENERATOR – Waukesha, open, drip proof, direct connected, fan cooled, 2/3 pitch, A.C. revolving field type, single bearing generator with brushless exciter, short circuit sustain (PM, AREP or PMG) type maintains 270% of rated generator current for up to 10 seconds on 105° C temperature rise generator; maintains 250% of current on 130° C rise generator and damper windings. TF and Deviation Factor within NEMA ME-1.22. Voltage 480/277, 3 phase, 4 wire, Wye 60 Hz and 400/230, 3 phase, 4 wire, Wye

50 Hz. Other voltages are available, consult factory. Insulation material NEMA Class F. Temperature rise within NEMA (105° C) for continuous power duty, within NEMA (130° C) for standby duty. All generators are rated at 0.8 Power Factor, are mounted on the engine flywheel housing and have multiple steel disc flexible coupling drive. All continuous power gensets have 10% overload capacity. Includes space heater, 115/230 V, 1 phase.

GOVERNOR – Woodward Model ES3P electric actuator (mounted) and magnetic pickup (mounted) and a separate electric governor control, Woodward Model 2301D (shipped loose).

IGNITION – Waukesha Custom Engine Control[®] Ignition Module. Electronic digital ignition system.

INSTRUMENT CONNECTIONS – Type K thermocouples for jacket water temperature, lube oil temperature, and intake manifold temperature wired to a common junction box. A single header block for lube oil pressure and intake manifold pressure is engine mounted.

JUNCTION BOXES – Separate AC and DC junction boxes for engine wiring and external connections.

LUBRICATION – Full pressure, positive displacement pump. Full flow of filter (shipped loose) and flexible connections (shipped loose). 50 or 60 Hz, 230 volt AC, single phase electric motor driven intermittent pre-lube pump with motor starter (other voltages can be specified). Note: External control logic required to start/stop pre-lube pump.

OIL COOLER – Shell and tube type (mounted).

OIL PAN – Cast alloy iron basin type with removable doors.

PAINT – Oilfield Orange.

PISTONS – Aluminum with floating pin. Oil cooled. Naturally aspirated engines supplied with high compression ratio pistons.

STARTING EQUIPMENT – Two 24V DC electric starting motors, crank termination switch (shipped loose).

VOLTAGE REGULATOR (shipped loose) – SCR static automatic type providing 1% regulation from no load to full load, three phase sensing and automatic asynchronous speed protection. Includes voltage adjustment rheostat (shipped loose).

WATER CIRCULATING SYSTEM, AUXILIARY CIRCUIT – For oil cooler. Pump is belt driven from crankshaft pulley.

WATER CIRCULATING SYSTEM, ENGINE JACKET – Belt driven water pump, 175 – 180° F (79 – 82° C) thermostatic temperature regulation full flow bypass. Single ANSI flange connections for inlet and outlet on water connect units.

12/03/30

Consulta Combinada de Equipos
Informacion de referencia

CON ESS50203

Compañia: 15 EP PETROECUADOR - RLL

ID equipo: E1G1254MC

ID localcon: E1

SIST.GENERACION ELECT.CAUTIVO

-- Ingreso hoja de datos -- ESS5202

Formato DT-60 DATOS GENERADOR A.C.

E1G1254MC

MOTOR COMBUST.

DATOS RECTIFICADORES

MARCA

diodos

negative base

positive base

F6-Sig. F12-Regresa GIR0

12/03/30

Consulta Combinada de Equipos
Informacion de referencia

CON ESS50203

Compañia: 15 EP PETROECUADOR - RLL

ID equipo: E1G1254MC

ID localcon: E1

SIST.GENERACION ELECT.CAUTIVO

-- Ingreso hoja de datos -- ESS5202

Formato DT-60 DATOS GENERADOR A.C.

E1G1254MC

MOTOR COMBUST.

frecuencia 60 (HZ)

velocidad 900 (RPM)

servicio

voltaje excitacion

corriente excitacion

factor de potencia 0.8 (PF)

frame

insulation

output conn.

escobillas

B.B.S.

class

F6-Sig. F12-Regresa GIR0

```

12/03/30                               Consulta Combinada de Equipos           CON ESS50203
                                         Informacion de referencia

Compañia: 15 EP PETROECUADOR - RLL
ID equipo: EIG1254MC      ID localcn: E1      SIST.GENERACION ELECT.CAUTIVO

----- Ingreso hoja de datos ----- ESS25202
Formato DT-60      DATOS GENERADOR A.C.
EIG1254MC
MOTOR COMBUST.

DATOS GENERALES WAUNESHA ENGINEATOR
id. equipo EIG1254MC
descripcion GENERADOR ELECTRICO
marca WAUNESHA - KATO - ENGINEING
serie C-93581 - 90071
DATOS DE PLACA A260170000
modelo ó tipo CP35811 SERIAL - C-93581
potencia 750 (KVA)
potencia 600 (KW)
voltaje 480/277 (VOLT)
corriente 902 (AMP)
fases 3 (PH) +
FR-Sig. F12-Regresa GIRO

```

```

12/03/30                               Consulta Combinada de Equipos           CON ESS50203
                                         Informacion de referencia

Compañia: 15 EP PETROECUADOR - RLL
ID equipo: EIG1254MC      ID localcn: E1      SIST.GENERACION ELECT.CAUTIVO

----- Ingreso hoja de datos ----- ESS25202
Formato DT-30      P-DATOS DE PLACA
EIG1254MC
MOTOR COMBUST.

BRG POSTERIOR 012-21202-00-45700
tipo
rotación SENTIDO DEL RELOJ
T.D.H.
W.P.
H.T.P.
I.G.M.
T.H.F.
size
disc.
disc.
S.W.P.
FR-Sig. F12-Regresa GIRO

```

12/03/30

Consulta Combinada de Equipos
Informacion de referencia

CON ESS50203

Compañia: 15 EP PETROECUADOR - RLL
ID equipo: EIG1254MC ID localcn: E1 SIST.GENERACION ELECT.CAUTIVO

--- Ingreso hoja de datos --- ESS50203

Formato DT-30 P-DATOS DE PLACA

EIG1254MC

MOTOR COMBUST.

DATOS GENERALES GENERADOR ELECTRICO

id. equipo EIG1254MC

descripcion WAUKESHA ENGINATOR

marca WAUKESHA - KATO - ENGINEERING

serie C-93581-900/1 10133

modelo WEP5900DS - A26017000

capacidad

head

velocidad 900 (RPM)

SP.GR

hydro press

BRG DELANTERA.- 012-21202-00 45700 +

F8=Sig. F12=Regresa GIRO

12/03/30

Consulta Combinada de Equipos
Informacion de referencia

CON ESS50203

Compañia: 15 EP PETROECUADOR - RLL
ID equipo: EIG1254MC ID localcn: E1 SIST.GENERACION ELECT.CAUTIVO

Desc basica: MOTOR COMBUST. Disponible: 11/12/05 16:00 (HRM)

Descr adic.: ACCIONADOR GENERADOR Condicion: 10

Nro serie: C-93581-900/1 Estado: 25

Modelo: WEP5900DS

Fabricante: ID Activo:

Año fabrica: 1994 Pal Cve 1,2: MOTOR DIESEL

ID anterior: ID departamento: TAN

ID adicional: ENGINATOR Centro costos: C851700

ID grupo: ID cliente:

Localzc costo: 15 E1Codigo de costo:

*-- X - Su seleccion

- Adquisicion/Dispos.	- Nomenclatura	- Hist. localizacion
- Componentes	- Historia de servicio	- Unids. de operacion
- Estado actual MP	- Costo real	- Lista de materiales
- Consulta de O/T	- Costo real vs estimado	- Equipos asociados
- Hojas de datos		

F8=Sig. F12=Regres F15=Selec. todo F17=C/G omision Intro+ Inf. de equipos

IMPRESOR 800x600 P. 0-1

APÉNDICE 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MOTOR WAUKESHA DE 500 KW

 PETROECUADOR	PROCEDIMIENTO; MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MOTOR WAUKESHA DE 500 KW	Código; HD1.02.0 1-PR-B1
		Fecha: 01-05*2011
	Proceso relacionado; EJECUCION DEL MANTENIMIENTO	Version; 01
	Distribución:	Página; 1 de 5

Mantenimiento preventivo de motor Waukesha de 500 KW

Este manual de procedimiento de mantenimiento preventivo de motor Waukesha de 500 KW, fue suministrado por Petroecuador.

El propósito del procedimiento del mantenimiento preventivo del motor Waukesha es cumplir las recomendaciones del fabricante del equipo a fin de garantizar su condición operativa, con los más altos índices de disponibilidad, y minimizar los mantenimientos correctivos que representan pérdidas de producción.

Antes de efectuar cualquier mantenimiento sobre esta unidad (#4) hay que tomar en cuenta el numeral 5.

1 MANTENIMIENTO DE RUTINA (DIARIA):

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	RESPONSABLE
a	Abrir orden de trabajo en el sistema(AS/400, main tracker)	Digitador main tracker
b	Entregar impresa la orden de trabajo al técnico	Digitador main tracker
1	Inspeccionar y corregir las fugas y/o goteos en todas las conexiones, mangueras, tapas, entre otros	Técnico de equipos
2	Inspeccionar parámetros de funcionamiento en los instrumentos de presión y temperatura	Técnico de equipos
3	Corregir/reportar ruidos extraños dentro y fuera del motor	Técnico de equipos
4	Chequear niveles/adicionar aceite y refrigerante del motor y auxiliares	Técnicos de equipos
5	Drenar/purgar fluidos condensados y gas atrapado en sistemas de lubricación y refrigeración. Limpie la parte interna del bastidor (si dispone)	Técnico de equipos
6	Revisar/llenar lubricante del arrancador de aire	Técnicos de equipos
7	Revisar sujeción de pernos y tuercas de anclaje (excesiva vibración)	Técnico de equipos

2 MANTENIMIENTO DE RUTINA: SEMANAL

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	RESPONSABLE
8	Revisar/completar electrolito de baterías.	Técnico de equipos
9	Revisar/tensar bandas.	Técnico de equipos

3 MANTENIMIENTO DE RUTINA: 1200 HORAS

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	RESPONSABLE
10	Probar termómetro del agua	Técnico de equipos AC
11	Inspeccionar nivel de agua en tanque de expansión, completar y agregar aditivos si es necesario	Técnico de equipos

12	Revisar presión del cárter	Técnico de equipos
13	Instrumentación	Técnico de equipos
14	Lubricación de la polea tensora	Técnico de equipos
15	Lubricar los rodamientos de la bomba de agua auxiliar	Técnico de equipos
16	Tomar muestra de aceite con el motor caliente para el análisis programado de aceite	Técnico de equipos
17	Drenar aceite y verificar estado del mismo	Técnico de equipos
18	Inspeccionar el interior del cárter para verificar la existencia de partículas sólidas producida por el desgaste de las piezas en movimiento y determinar daños internos	Técnico de equipos
19	Llenar el cárter con aceite en los niveles recomendado por el fabricante y cambie filtros de lubricación del motor y sistema de arranque de aire	Técnico de equipos
20	Limpiar e inspeccionar enfriador de aceite, porta filtro, rejilla de succión y colador de aceite, filtro centrífugo.	Técnico de equipos
21	Limpiar respiradero del cárter y separadoras de aceite	Técnico de equipos
22	Rejilla de succión y colador de aceite, filtro centrífugo	Técnico de equipos
23	Revisar los tapones magnéticos y purgue aire del sistema de lubricación	Técnico de equipos
24	Inspeccionar la válvula de alivio del filtro de aceite	Técnico de equipos
25	Verificar y/o cambiar filtros de aire	Técnico de equipos
26	Comprobar/ajustar espacio libre entre los vástagos y las válvulas	Técnico de equipos
27	Limpiar minuciosamente el radiador	Técnico de equipos
28	Revisar puesta a punto del motor	Técnico de equipos
29	Realizar arranque y verificación de parámetros de funcionamiento en los	Técnico de equipos

	instrumentos del equipo	
--	-------------------------	--

4 MANTENIMIENTO DE RUTINA: 4000 HORAS

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	RESPONSABLE
30	Cambiar los pre filtros de aire.	Técnico de equipos
31	Verificar/cambiar filtros principales de aire.	Técnico de equipos
32	Limpiar/cambiar conjunto de válvulas de admisión y sellos de válvulas.	Técnico de equipos
33	Inspeccionar turbo cargador	Técnico de equipos
34	Calibrar/cambiar bujías	Técnico de equipos
35	Cambiar sello del filtro de aceite	Técnico de equipos

5 MANTENIMIENTO DE RUTINA: 8000 HORAS

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	RESPONSABLE
36	Limpiar sistema de enfriamiento de camisas y auxiliares (cambio de refrigerante de ser necesario)	Técnico de equipos
37	Revisar contrapresión del escape	Técnico de equipos
38	Cambiar cables de alta tensión	Técnico de equipos
39	Lubricar engranajes de reducción del motor del regulador. Sincronizador	Técnico de equipos
40	Cambiar mangueras del agua de las camisas	Técnico de equipos
41	Limpiar y lubricar varillaje de control	Técnico de equipos
42	Cambiar el aceite del regulador hidráulico	Técnico de equipos
43	Limpiar intercambiador de calor	Técnico de equipos
44	Cambiar todas las bandas	Técnico de equipos
45	Inspeccionar/cambiar bobinas de arranque	Técnico de equipos
46	Inspeccionar sistema electrónico de control (Custom engine control-magneto)	Técnico de equipos AC
47	Inspeccionar módulo sensor de detonación	Técnico de equipos
48	Inspeccionar módulo del aire/combustible	Técnico de equipos
49	Verificar juego axial de los turbos compresores y sistema de lubricación, de ser necesario cambiar	Técnico de equipos

50	Dar mantenimiento a motor de arranque en taller (Eléctrico o neumático)	Técnico de equipos
51	Cambiarrefrigerante	Técnico de equipos
52	Completar la información de la orden de trabajo y entregar a maintracker para el cierre	Digitador main tracker

APÉNDICE 3

PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL MOTOR WAUKESHA DE 500 KW

Este procedimiento esta bajo la responsabilidad de los operadores y consiste en:

- 1.** Examinar los controles después del arranque, el restablecimiento de controles de seguridad para motivos de instalación remota o con arranque automático son los manómetros de presión de aceite, temperatura, tacógrafo, voltímetro.
- 2.** Comprobar si hay combustible (diesel): cerciorarse de que el combustible llegue al motor. Compruebe que las válvulas estén abiertas. Examine la posibilidad de agua o incrustaciones de las tuberías.
- 3.** Examinar sistema de enfriamiento: ver si el sistema de enfriamiento esta correcto y no hay aire atrapado en el mismo. Revisar que el radiador no esta obstruido con basura, que las persianas estén abiertas y que funcione el ventilador, verificar que las aguas saladas para el cambiador de calor estén abiertas y que no exista mala circulación de aire por vientos fuertes o por instalación deficiente.

4. Examinar si hay obstrucciones en el sistema de admisión de aire y de escape: filtro de aire sucio, indicador de restricción del filtro, obstrucción en la entrada de aire o en el escape.
5. Comprobar aspectos mecánicos: comprobar que el varillaje del acelerador y el goberno este libre de pegaduras o interferencias. Examinar las condiciones y tensión de las correas de accesorios. Si las R.P.M. al arranque son muy bajas, comprobar acumuladores o suministro de aire de presión.

APÉNDICE 4

POLÍTICAS DEL PROCEDIMIENTO PARA MANTENIMIENTOS DE MOTOR WAUKESHA DE 500 KW.

Antes de realizar cualquier reparación del motor Waukesha de 500 KW, se debe tomar en cuenta políticas del procedimiento que son:

1. En la ejecución de este procedimiento se deberá observar toda la normativa vigente, aplicándola según su orden jerárquico y especialidad. En caso de duda se observara la norma de rango superior.
2. No se debe efectuar ningún procedimiento de operación ni mantenimiento sin haber leído y comprendido las instrucciones y advertencias.
3. Nunca se debe usar los controles de parada de emergencia para una parada normal.
4. Cumplir las recomendaciones del plan de mantenimiento propuesto por el fabricante del equipo.
5. Utilizar repuestos originales para garantizar la reparación del motor.

6. Antes de iniciar las tareas de ejecución de mantenimiento se deberá obtener los documentos habilitantes para la orden de trabajo debidamente autorizada.
7. Cumplir con las normas de seguridad y ambientales vigentes.

APÉNDICE 5

COMUNICACIÓN DEL CONTRATISTA JORGE TORRES JURADO SOBRE EL TRABAJO REALIZADO

RECTIFICADORA DE MOTORES
RECTI-BLOCK
Rectificación de cabezotes y cigueñales de todo tipo de motores a Diesel y Gasolina • Proyección de cilindro

NISSAN
CATERPILLAR

CH 
Hino

Avda. Jorge y Wellington Torres
Dirección: Leonidas Plaza 918 y Capitán Nájera
Telefax: 2385695
Guayaquil - Ecuador

Guayaquil, 28 Sept. 2011

ANÁLISIS DEL TRABAJO REALIZADO EN EL CIGUEÑAL DEL MOTOR-GENERADOR MAUKESHA # 4 DE PLANTA CAUTIVO DE REFINERÍA LA LIBERTAD

Una vez realizada la inspección del cigueñal, se pudo determinar que tenía restos de magnolia en cada uno de los muñones o codos. Para poder corregir esta anomalía, procedimos a realizar la operación de PULIDO.

Por medio de la prueba de PLASTIGAGE (lila dimensión de 4" a 8") pudimos comprobar que quedo a una tolerancia de 0.006" seis milésimas de pulgadas) entre muñón y chapa, tanto de bancada como la de biela y utilizando el Micrómetro se comprobó que la medida entre cada muñón y chapa tanto de bancada como la de biela quedo Estándar a 158.75 milímetros (6249.98 milésimas de pulgadas)

Finalmente se comprobó que no existía Deflexión en el cigueñal por medio de un Soporte Magnético con su respectivo Dial o Reloj utilizando como soporte dos bases en V para que pueda realizar el respectivo giro al cigueñal, constatando que desde el extremo de la punta de la polea (parte delantera) a la punta del volante (parte trasera) no existía deflexión.

Recti-Block TORRES es una empresa con muchos años de experiencia, pero siempre capacitándonos y modernizándonos razón por la cual doy fe de lo que se dice en este informe. Asimismo, queremos aprovechar para manifestarle que estamos a su disposición para servirle.

Sin otro particular, me despido de Usted.

MUY ATENTAMENTE


JORGE TORRES JURADO
Gerente-Propietario

APÉNDICE 6

BITACORA DE MANTENIMIENTO

```

12/03/24                               Consulta de R/T - O/T                               WSC50501
                                         Encabezado

Nro de R/T-O/T: L1104380 00             EIG1254MC: CAMBIO DE ACEITE GENERADOR 4
Localscn equipo: 15 EI                 SIST.GENERACION ELECT.CAUTIVO
ID equipo: EIG1254MC                   MOTOR COMBUST.
ID componente:

----- -- Partes -- ----- WSC52201
Posiciona a: _____ R/T-O/T: L1104380 00

CA: Tarea ID parte      ID control: NUMM:  Loc:  Tipo Cantidad: UDMI:
- 810 5 68650208        N 15 PRI  S      55.000 GL
  REFRIGERANTE PARA MOTORES                               Rep: BOD-23

Mandatos: 1-Resumen mov. 2-Estado

Pg. Fil2=Regresa Giro
  
```

```

12/03/24                               Consulta de R/T - O/T                               WSC50501
                                         Encabezado

Nro de R/T-O/T: L1104380 00             EIG1254MC: CAMBIO DE ACEITE GENERADOR 4
Localscn equipo: 15 EI                 SIST.GENERACION ELECT.CAUTIVO
ID equipo: EIG1254MC                   MOTOR COMBUST.
ID componente:

----- -- Partes -- ----- WSC52201
Posiciona a: _____ R/T-O/T: L1104380 00

CA: Tarea ID parte      ID control: NUMM:  Loc:  Tipo Cantidad: UDMI:
- 810 1 68150200        N 15 PRI  S      165.000 GL
  ACEITE LUBRICANTE SAE 40 PARA MOTORES A DIESEL          Rep: 105-23
- 810 2 167602B         N 15 PRI  S        2.000 UN
  FILTRO DE ACEITE                                         Rep: FRENT-3
- 810 3 01247008        N 15 PRI  S        2.000 UN
  ESPATULA DE 4", CABO PLASTICO                           Rep: 16-59
- 810 4 01120110        N 15 PRI  S       10.000 LB
  LIENCILLO PARA LIMPIEZA DE EQUIPO ROTATIVO              Rep: BOD-2-1
+

Mandatos: 1-Resumen mov. 2-Estado

Pg. Fil2=Regresa Giro
  
```

12/03/24

Consulta de R/T - O/T
Encabezado

MSC50501

Nro de R/T-O/T: 11104614 00 EIG1254MC: CEBADO DE MOTOR GENERADOR 4
Localscn equipo: 15 EI SIST.GENERACION ELECT.CAUTIVO
ID equipo: EIG1254MC MOTOR COMBUST.
ID componente:

-- Partes -- MSC52201

Posiciona a: R/T-O/T: 11104614 00

CA:	Tarea	ID parte	ID control:	NUMM:	Loc:	Tipo	Cantidad:	UDMI:
ROE 1		68150200		N 15 PRI	S		55.000	GL
								Rep: 105-23
ROE 2		162615		N 15 PRI	S		4.000	UN
								Rep: 20-21

Mandatos: 1-Resumen mov. 2-Estado

ig. F12=Regresa Gira

12/03/24

Consulta de R/T - O/T
Encabezado

MSC50501

Nro de R/T-O/T: 11104380 00 EIG1254MC: CAMBIO DE ACEITE GENERADOR 4
Localscn equipo: 15 EI SIST.GENERACION ELECT.CAUTIVO
ID equipo: EIG1254MC MOTOR COMBUST.
ID componente:

Texto: Y Fecha solicitud: 11/12/05

Salida: 11/12/05

Planificador: DMR Fecha requerida: 11/12/05

Supervisor: SMI Inicio planificado: 11/12/05

Cuadrilla: MG Inicio real: 11/12/05

Responsable: 35445 Fecha de fin planif.: 11/12/05

ID departamento: CMM Fin real: 11/12/05

ID referencia: 11104380 Fecha de vencimiento: 11/12/05

Nro de permiso:

Solicitante: CMM

Cod. estado: 50 Aprobacion:

Cod prioridad: A Tipo aprobacion:

Tipo trab: 703 Estado aprobacion: P

Clase paro prg: P01 Iniciales: RMO LML JCR

Cod reparacion: R06 Nro orden taller:

F5=Cost cost F6=Ptes. F7=Tarea F8=Sig. F11=Estad F12=Regr F14=Text F15=Garant

12/03/24

Consulta de R/T - O/T
Encabezado

WSC50501

Nro de R/T-O/T: L1104380 00 EIG1254MC: CAMBIO DE ACEITE GENERADOR 4
Localzcn equipo: 15 E1 SIST.GENERACION ELECT.CAUTIVO
ID equipo: EIG1254MC MOTOR COMBUST.
ID componente:
Informacion de control: Ver texto E5551601

Etiqu texto: L110438000 810 Coments repar O/T
Descripcion: EIG1254MC: CAMBIO DE ACEITE GE Texto asociado

Posiciona a:

00001 Se realiza el cambio de aceite y filtros de aceite a las
00002 420 horas de operación, luego de que entró en funcionamiento
00003 el 07 de noviembre del 2011. Además se reajustaron cañerías
00004 de combustible y se limpiaron los filtros de diesel.
00005 También se inspeccionaron fugas por cabezotes y múltiples.
00006 Todos estos trabajos se realizaron para dar cumplimiento al
00007 plan de mantenimiento preventivo de los generadores de
00008 Cautivo.

F12=Regresa GIRO

12/03/24

Consulta de R/T - O/T
Encabezado

WSC50501

Nro de R/T-O/T: L1104614 00 EIG1254MC: CERRADO DE MOTOR GENERADOR 4
Localzcn equipo: 15 E1 SIST.GENERACION ELECT.CAUTIVO
ID equipo: EIG1254MC MOTOR COMBUST.
ID componente:

Texto: N Fecha solicitud: 11/12/20

Salida: 11/12/20

Planificador: PIM Fecha requerida: 11/12/20

Supervisor: SP1 Inicio planificado: 11/12/20

Cuadrilla: MRQ Inicio real: 11/12/20

Responsable: 35526 Fecha de fin planif.: 11/12/20

ID departamento: CCM Fin real: 11/12/20

ID referencia: Fecha de vencimiento:

Nro de permiso:

Solicitante: CCM

Cod. estado: 50 Aprobacion:

Cod prioridad: A Tipo aprobacion:

Tipo trab: T04 Estado aprobacion: P

Clase paro prg: Iniciales: CRQ

Cod reparacion: Nro orden taller:

F...st cost F6=Ptes. F7=Tarea F8=Sig. F11=Estad F12=Regr F14=Text F15=Garant

Sl. No.	Particulars	Debit	Credit	Balance	Rate	Remarks
1	Balance b/d					
2	By Cash	1000		1000		
3	To Cash		500	500		
4	By Cash	200		700		
5	To Cash		100	600		
6	By Cash	150		750		
7	To Cash		50	800		
8	By Cash	100		900		
9	To Cash		50	950		
10	By Cash	50		1000		
11	To Cash		50	1050		
12	By Cash	100		1150		
13	To Cash		50	1200		
14	By Cash	150		1350		
15	To Cash		50	1400		
16	By Cash	100		1500		
17	To Cash		50	1550		
18	By Cash	100		1650		
19	To Cash		50	1700		
20	By Cash	100		1800		
21	To Cash		50	1850		
22	By Cash	100		1950		
23	To Cash		50	2000		
24	By Cash	100		2100		
25	To Cash		50	2150		
26	By Cash	100		2250		
27	To Cash		50	2300		
28	By Cash	100		2400		
29	To Cash		50	2450		
30	By Cash	100		2550		
31	To Cash		50	2600		
32	By Cash	100		2700		
33	To Cash		50	2750		
34	By Cash	100		2850		
35	To Cash		50	2900		
36	By Cash	100		3000		
37	To Cash		50	3050		
38	By Cash	100		3150		
39	To Cash		50	3200		
40	By Cash	100		3300		
41	To Cash		50	3350		
42	By Cash	100		3450		
43	To Cash		50	3500		
44	By Cash	100		3600		
45	To Cash		50	3650		
46	By Cash	100		3750		
47	To Cash		50	3800		
48	By Cash	100		3900		
49	To Cash		50	3950		
50	By Cash	100		4050		
51	To Cash		50	4100		
52	By Cash	100		4200		
53	To Cash		50	4250		
54	By Cash	100		4350		
55	To Cash		50	4400		
56	By Cash	100		4500		
57	To Cash		50	4550		
58	By Cash	100		4650		
59	To Cash		50	4700		
60	By Cash	100		4800		
61	To Cash		50	4850		
62	By Cash	100		4950		
63	To Cash		50	5000		
64	By Cash	100		5100		
65	To Cash		50	5150		
66	By Cash	100		5250		
67	To Cash		50	5300		
68	By Cash	100		5400		
69	To Cash		50	5450		
70	By Cash	100		5550		
71	To Cash		50	5600		
72	By Cash	100		5700		
73	To Cash		50	5750		
74	By Cash	100		5850		
75	To Cash		50	5900		
76	By Cash	100		6000		
77	To Cash		50	6050		
78	By Cash	100		6150		
79	To Cash		50	6200		
80	By Cash	100		6300		
81	To Cash		50	6350		
82	By Cash	100		6450		
83	To Cash		50	6500		
84	By Cash	100		6600		
85	To Cash		50	6650		
86	By Cash	100		6750		
87	To Cash		50	6800		
88	By Cash	100		6900		
89	To Cash		50	6950		
90	By Cash	100		7050		
91	To Cash		50	7100		
92	By Cash	100		7200		
93	To Cash		50	7250		
94	By Cash	100		7350		
95	To Cash		50	7400		
96	By Cash	100		7500		
97	To Cash		50	7550		
98	By Cash	100		7650		
99	To Cash		50	7700		
100	By Cash	100		7800		
101	To Cash		50	7850		
102	By Cash	100		7950		
103	To Cash		50	8000		
104	By Cash	100		8100		
105	To Cash		50	8150		
106	By Cash	100		8250		
107	To Cash		50	8300		
108	By Cash	100		8400		
109	To Cash		50	8450		
110	By Cash	100		8550		
111	To Cash		50	8600		
112	By Cash	100		8700		
113	To Cash		50	8750		
114	By Cash	100		8850		
115	To Cash		50	8900		
116	By Cash	100		9000		
117	To Cash		50	9050		
118	By Cash	100		9150		
119	To Cash		50	9200		
120	By Cash	100		9300		
121	To Cash		50	9350		
122	By Cash	100		9450		
123	To Cash		50	9500		
124	By Cash	100		9600		
125	To Cash		50	9650		
126	By Cash	100		9750		
127	To Cash		50	9800		
128	By Cash	100		9900		
129	To Cash		50	9950		
130	By Cash	100		10000		

Year	Month	Day	Temperature	Wind	Humidity	Notes
1911	Jan	1	42	SE 10	75	Clear
1911	Jan	2	40	SE 12	78	Clear
1911	Jan	3	38	SE 15	80	Clear
1911	Jan	4	35	SE 18	82	Clear
1911	Jan	5	32	SE 20	85	Clear
1911	Jan	6	30	SE 22	88	Clear
1911	Jan	7	28	SE 25	90	Clear
1911	Jan	8	25	SE 28	92	Clear
1911	Jan	9	22	SE 30	95	Clear
1911	Jan	10	20	SE 32	98	Clear
1911	Jan	11	18	SE 35	100	Clear
1911	Jan	12	15	SE 38	100	Clear
1911	Jan	13	12	SE 40	100	Clear
1911	Jan	14	10	SE 42	100	Clear
1911	Jan	15	8	SE 45	100	Clear
1911	Jan	16	5	SE 48	100	Clear
1911	Jan	17	3	SE 50	100	Clear
1911	Jan	18	1	SE 52	100	Clear
1911	Jan	19	0	SE 55	100	Clear
1911	Jan	20	0	SE 58	100	Clear
1911	Jan	21	0	SE 60	100	Clear
1911	Jan	22	0	SE 62	100	Clear
1911	Jan	23	0	SE 65	100	Clear
1911	Jan	24	0	SE 68	100	Clear
1911	Jan	25	0	SE 70	100	Clear
1911	Jan	26	0	SE 72	100	Clear
1911	Jan	27	0	SE 75	100	Clear
1911	Jan	28	0	SE 78	100	Clear
1911	Jan	29	0	SE 80	100	Clear
1911	Jan	30	0	SE 82	100	Clear
1911	Jan	31	0	SE 85	100	Clear
1911	Feb	1	0	SE 88	100	Clear
1911	Feb	2	0	SE 90	100	Clear
1911	Feb	3	0	SE 92	100	Clear
1911	Feb	4	0	SE 95	100	Clear
1911	Feb	5	0	SE 98	100	Clear
1911	Feb	6	0	SE 100	100	Clear

GENERAL 4
 1911-1912
 1912-1913
 1913-1914
 1914-1915
 1915-1916
 1916-1917
 1917-1918
 1918-1919
 1919-1920
 1920-1921
 1921-1922
 1922-1923
 1923-1924
 1924-1925
 1925-1926
 1926-1927
 1927-1928
 1928-1929
 1929-1930
 1930-1931
 1931-1932
 1932-1933
 1933-1934
 1934-1935
 1935-1936
 1936-1937
 1937-1938
 1938-1939
 1939-1940
 1940-1941
 1941-1942
 1942-1943
 1943-1944
 1944-1945
 1945-1946
 1946-1947
 1947-1948
 1948-1949
 1949-1950
 1950-1951
 1951-1952
 1952-1953
 1953-1954
 1954-1955
 1955-1956
 1956-1957
 1957-1958
 1958-1959
 1959-1960
 1960-1961
 1961-1962
 1962-1963
 1963-1964
 1964-1965
 1965-1966
 1966-1967
 1967-1968
 1968-1969
 1969-1970
 1970-1971
 1971-1972
 1972-1973
 1973-1974
 1974-1975
 1975-1976
 1976-1977
 1977-1978
 1978-1979
 1979-1980
 1980-1981
 1981-1982
 1982-1983
 1983-1984
 1984-1985
 1985-1986
 1986-1987
 1987-1988
 1988-1989
 1989-1990
 1990-1991
 1991-1992
 1992-1993
 1993-1994
 1994-1995
 1995-1996
 1996-1997
 1997-1998
 1998-1999
 1999-2000
 2000-2001
 2001-2002
 2002-2003
 2003-2004
 2004-2005
 2005-2006
 2006-2007
 2007-2008
 2008-2009
 2009-2010
 2010-2011
 2011-2012
 2012-2013
 2013-2014
 2014-2015
 2015-2016
 2016-2017
 2017-2018
 2018-2019
 2019-2020
 2020-2021
 2021-2022
 2022-2023
 2023-2024
 2024-2025

APÉNDICE 8

PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE MOTOR WAUKESHA DE 500 KW

- I** Tomar muestra de aceite con motor encendido y registrar presión de aceite.
- II** Desconectar el suministro de energía del motor.
- III** Desmontar todo el arnés de cables de toda la instalación eléctrica del motor.
- IV** Desmontar el sistema de enfriamiento.
- V** Drenar todo el aceite del motor y retirar el filtro de aceite (registrar cuanto aceite existía dentro del motor).
- VI** Retirar la bomba de inyección, inyectores con sus respectivas cañerías y enviarles a un banco de pruebas.
- VII** Desmontar el grupo de distribución, verificando la carrera de dicho motor.
- VIII** Desmontar la culata, desarmándole; para verificar holguras entre guías de válvulas y válvula.
- IX** Desmontar el carter y verificar si existen depósitos de materiales extraños en el mismo.
- X** Desmontaje del brazo de biela y pistones, verificando holguras de rines en pistones y si existen desgastes o rayaduras en las camisas.

- XI** Desmontaje de cigüeñal verificando estado de chapas de bielas y bancadas y observar si existen rayaduras en muñones de biela y bancadas en el cigüeñal.
- XII** Se recoge el bloque, cigüeñal, cabezote con válvulas, barra de levas y se lo envía al taller de rectificación.
- XIII** Se cambian en la culata las guías de válvulas, válvulas, asientos de válvulas, se verifica si el cabezote esta "doblado", se verifica linealidad de barra de levas, se cambian los bujes de leva, se cambian las camisas y se verifican la abertura de los rines en la camisa; a su vez se rectifica o pule el cigüeñal según sea la necesidad y se verifica la linealidad del túnel de bancada.
- XIV** Se solicitan repuestos para ser sustituidos necesariamente, como lo son la bomba de agua, bomba de aceite, juego de empaquetadura, filtro de aire, filtro de aceite. Filtro de combustible, radiador, refrigerante, juego de rines y juego de pistones.
- XV** Se procede a realizar una limpieza total de todo el motor incluyendo los ductos del sistema de enfriamiento.
- XVI** Se procede a armar el motor con un reasentamiento de válvulas y observando torques y sistemas de ajustes recomendados por fabrica.
- XVII** Se procede a montar el motor en su sitio original de trabajo y a montar sistemas de enfriamiento, sistema de inyección y sistema eléctrico del motor.

XVIII Se drenan/purgan sistemas de lubricación y mantenimiento.

XIXI Finalmente se verifican presión de aceite, temperatura de aceite, temperatura de sistema de enfriamiento y las R.P.M. del motor.

