

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“Análisis de Falla de Motores MTU- Detroit Diesel Modelo  
T1237M36 Ensamblados en Generadores KOHLER Modelo  
1500REOZDB”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Henry Oswaldo Leal Alvarado

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

# **AGRADECIMIENTO**

**A DIOS**

# **DEDICATORIA**

**A MIS PADRES, MI ESPOSA E HIJAS.**

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

**VOCAL**

**PhD. Freddy Jervis C.**

---

**VOCAL**

**MSc. Gonzalo Zabala O.**

# **DECLARACIÓN EXPRESA**

**“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presenta propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”**

**(Reglamento de Graduación de la ESPOL).**

-----

**Henry Oswaldo Leal Alvarado**

# RESUMEN

El 30 de diciembre del 2007, sucede la falla catastrófica en el motor del grupo electrógeno UG-04 en la central Shushufindi Sur, iniciando una serie de sucesivas fallas que comprometen la operación de la empresa propietaria de los motores y la operación de los campos de producción de petróleo de la empresa que adquiere la energía producida por los grupos electrógenos. Durante la investigación se implementa metodología de análisis de falla a fin de establecer el modo de falla y la causa raíz de la misma. Implementando distinta practica para la validación de las hipótesis como: la inspección y medición de partes, evaluación de parámetros de operación registrados, análisis de laboratorio de aceites en uso y análisis de componentes mediante el microscopio electrónico de barrido (SEM) y espectroscopia de energía dispersiva (EDS). Durante la evaluación se identifica que el inicio de la falla catastrófica se origina en los cojinetes de biela, debido a una falla de lubricación, originada a su vez por una corrosión química en los revestimientos de los cojinetes, produciéndose picaduras que posteriormente ocasionan el giro de cojinete y la falla catastrófica. Para salvaguardar las unidades aun operativas se requiere el cambio inmediato de los cojinetes de bielas, así como la revisión de las prácticas y programas actuales de mantenimiento preventivo y predictivo, como son: periodos de cambio de lubricantes, evaluaciones de los reportes de análisis de aceites en uso.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.1 Condiciones Generales del Proyecto de Generación.....	3
1.2 Reseña Histórica de las Falla.....	6
1.3 Registro de Imágenes de Fallas.....	10
<b>CAPÍTULO 2</b>	
2. ANÁLISIS DE FALLAS .....	15
2.1 Metodología General de Análisis de Fallas .....	15
2.2 Determinación de Modo de Falla, Hipótesis Planteadas y Pruebas de Validación .....	16
2.3 Resultados de Evaluaciones de Pruebas de Validación .....	20

2.4 Análisis de Resultados de Pruebas de Validación y Diagnostico de Falla .....	42
<b>CAPÍTULO 3</b>	
3. MEDIDAS CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS PARA LA OPERACIÓN...	43
3.1 Cambios en Parámetros Operativos .....	43
3.2 Plan de Contingencia Establecido para Prevención de Falla de Equipos .....	45
<b>CAPÍTULO 4</b>	
4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	47
<b>APENDICES</b> .....	51
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	58

# ABREVIATURAS

TBN	Total Basic Number; Numero Total Básico.
MW	Mega Vatios.
DIN	Deutsches Institut für Normung; Instituto Alemán para la Estandarización.
ISO	International Organization for Standardization; Organización Internacional para la Estandarización.
HT	High Temperature; Alta Temperatura.
LT	Low Temperature; Baja Temperatura.
kW	Kilo Vatio.
kVA	Kilovoltiamperio.
PF	Factor de Potencia.
MPG	Mantenimiento Preventivo Programado.
SEIP	Sistema Eléctrico Interconectado de Petroproducción.
ppm	Partes por Millón.
SEM	Scanning Electron Microscopy; Microscopia Electrónica de Barrido.
EDS	Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; Espectroscopia de Energía dispersiva.
mV	Milivoltio.
psi	Poundal Square Inch; Libras por Pulgada Cuadrada.

O	Oxígeno.
S	Azufre.
P	Fosforo.
Ca	Calcio.
Zn	Zinc.
Mg	Magnesio.
KOH	Hidróxido de Potasio.
cSt	Centistokes.
ASTM	American Society for Testing and Materials, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

# ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Pistón de cilindro A5 motor S/N 5262001560. ....	10
Ilustración 2. Brazo de biela, cojinetes de biela y pernos de brazo de biela de cilindro A5 motor S/N 5262001560. ....	10
Ilustración 3. Segmento de tapa de biela cilindro A5 motor S/N 5262001560. ....	11
Ilustración 4. Cojinetes de bancada motor S/N 5262001560. ....	11
Ilustración 5. Cojinetes de biela lado A motor S/N 5262001560. ....	12
Ilustración 6. Cojinetes de biela lado B motor S/N 5262001560. ....	12
Ilustración 7. Pistones, brazos de biela y cojinetes de cilindros A5 y B5 motor S/N 5262001562. ....	13
Ilustración 8. Cojinetes de biela de cilindro A5 motor S/N 5262001562. ....	13
Ilustración 9. Cojinetes de biela de cilindro B5 motor S/N 5262001562. ....	14
Ilustración 10. Diagrama de metodología para levantamiento de información. (1) .....	15
Ilustración 11. Esquema de validación de hipótesis. (1) .....	16
Ilustración 12. Reporte de análisis de aceite laboratorio local motor S/N 5262001580. ....	21
Ilustración 13. Sumario de informes de análisis de aceites de laboratorio en USA. ....	22

Ilustración 14. Reporte de análisis de aceite, laboratorio USA motor S/N 5262001582.....	23
Ilustración 15. Reporte de análisis de aceite, laboratorio usa motor S/N 5262001680.....	24
Ilustración 16. Reporte de análisis de combustible, laboratorio local.....	26
Ilustración 17. Información tabulada de histórico de análisis de aceite motor S/N 5262001560.....	28
Ilustración 18. Grafica de valores reportados de viscosidad durante muestreos realizados motor S/N 5262001560.....	29
Ilustración 19. Grafica de valores reportados de TBN en motor S/N 5262001560.....	29
Ilustración 20. Grafica de valores reportados de viscosidad motor S/N 5262001562.....	30
Ilustración 21. Grafica de valores reportados de TBN motor S/N 5262001562.....	30
Ilustración 22. Fotografía del cojinete de biela superior A5 indicando la ubicación de los daños de picaduras en la superficie del cojinete. Notar desgaste circunferencial asociado con el daño de picadura. Motor 5262001561.....	31
Ilustración 23. Fotografía óptica de las picaduras sobre la superficie del cojinete en la posición indicada en la Ilustración 22. La apariencia oscura dentro de los pozos es característica de la corrosión.....	32

Ilustración 24. SEM imagen de electrones secundarios de la corrosión por picaduras. Nota: Se observó daños a la parte de la capa de acero del cojinete. ....	32
Ilustración 25. SEM imagen de electrones secundarios de una sección metalográfico a través de la picadura de corrosión.....	33
Ilustración 26. Amplificación de la imagen SEM de la picadura de corrosión indicada en la Ilustración 25. ....	33
Ilustración 27. Imagen SEM de la capa del cojinete en la posición indicada en la Ilustración 26. Las regiones de color gris oscuro son características del ataque corrosivo de la matriz de cobre - estaño (constituyente gris) del revestimiento del cojinete. Tener en cuenta que varias de las piscinas de plomo (constituyentes claros) permanecen intactas. ....	34
Ilustración 28. Resultados de la EDS de la matriz de cobre - estaño (constituyente gris) del revestimiento del cojinete indicado en la Figura 6, Ilustración 26.....	35
Ilustración 29. Resultados de la EDS (regiones gris oscuro) de la matriz corroída indicada en la Figura 6, Ilustración 26. ....	35
Ilustración 30. Fotografía del cojinete de biela superior del cilindro B5 que indica la ubicación de los daños por picaduras en la superficie. Notar desgaste circunferencial asociado con las picaduras. Motor 5262001559. ..	36
Ilustración 31. Fotografía óptica de las picaduras sobre la superficie de apoyo en la posición indicada en la Ilustración 28. La apariencia oscura dentro de	

los pozos es característica de la corrosión. Notar regiones manchadas de la superficie de apoyo cerca de la corrosión.....	37
Ilustración 32. SEM imagen de electrones secundarios de la corrosión por picaduras. Mientras que un daño significativo es evidente, no se observó la progresión a la parte posterior de acero. ....	37
Ilustración 33. Mayor aumento de imagen SEM de electrones secundarios de la picadura. ....	38
Ilustración 34. SEM imagen de electrones secundarios del revestimiento del cojinete en la posición indicada en la figura 13 de la Ilustración 33. Morfología superficial es característica de la corrosión. ....	38
Ilustración 35. SEM imagen de electrones secundarios de una sección metalográfica por la región corroído del cojinete. ....	39
Ilustración 36. Imagen SEM del revestimiento del cojinete en la posición indicada en la figura 15 de la ilustración 35. Las regiones de color gris oscuro son característicos de ataque corrosivo de la matriz de cobre – estaño (constituyente gris) del revestimiento del cojinete.....	39
Ilustración 37. EDS resultados de la matriz de revestimiento corroída (regiones gris oscuro) indicada en la Figura 15, Ilustración 35.....	40
Ilustración 38. Resultados de la EDS de la matriz de cobre - estaño (constituyente gris) del revestimiento del cojinete indicado en la Figura 15, Ilustración 35.....	40

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Unidades operativas del proyecto al momento de la falla. ....	4
Tabla 2. Datos grupo electrógeno, primera falla. ....	6
Tabla 3. Datos grupo electrógeno, segunda falla.....	7
Tabla 4. Datos grupo electrógeno, tercera falla. ....	8
Tabla 5. Datos grupo electrógeno, cuarta falla. ....	9
Tabla 6. Detalle de muestras de aceite usado tomadas y analizadas, luego de las fallas. ....	20

# INTRODUCCIÓN

En la actualidad la experiencia obtenida en el diseño de piezas tiene varios fundamentos:

- Eventos previos de materiales no fallados
- Información recabada por los análisis de falla en componentes análogos
- Principios químicos, físicos, mecánicos, etc., de operación y de los materiales

Sin embargo no se está exento al cien por ciento de la ocurrencia de una falla; con la finalidad de poder cubrir la mayor cantidad de variables y disminuir al mínimo los riesgos de falla en los componentes se deben realizar adecuados análisis de fallas ocurridas, identificando la causa raíz de las mismas y así poder implementar las medidas correctivas y/o preventivas adecuadas.

El análisis de falla no es otra cosa sino, el efectuar un diagnóstico del porqué un material ya no puede prestar más el servicio para el que fue destinado. (1)

Los equipos objeto de estudio pertenecen a una empresa que presta servicios de alquiler, mantenimiento y operación de grupos electrógenos, a Petroproducción (venta de energía). Distribuidos en 4 campamentos con 5

motores cada campamento, iniciando operaciones en su mayoría a inicios del 2005.

El Sistema Eléctrico Interconectado de Petroproducción (SEIP), al fecha de ocurrencia de las fallas contaba con una potencia disponible de 39,02 MW, de los cuales 14,70 MW correspondían a la generación alquilada a la empresa propietaria de los motores objeto de análisis, representando el 38% de la potencia disponible de Petroproducción.

Como parte de todo proyecto de generación de energía de este tipo se dispone de equipos en “stand by” denominados swinger que pueda absorber carga por cualquier imprevisto que se pueda presentar, sin embargo las fallas súbitas objeto de análisis en este informe, pueden comprometer cualquier proyecto de este tipo debido a sus características en cuanto al nivel de afectación en daños del motor y tiempo entre la ocurrencia de las mismas.

Con la finalidad de salvaguardar la integridad de los equipos aun operativos se implementa metodología de análisis de fallas a fin de implementar el plan de acción más adecuado que la situación amerita.

# **CAPÍTULO 1**

## **1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1 Condiciones Generales del Proyecto de Generación.**

La Provincia de Sucumbios, se provee de energía eléctrica a través del Sistema Nacional Interconectado, teniendo a cargo como ente regulador y operativo a la empresa estatal Empresa Eléctrica de Sucumbios.

Para el caso de las operaciones de Petroproducción se cuenta con sistema de autogeneración térmica con motores de combustión interna, con una potencia nominal instalada 39,02 MW; contratando servicios de generación.

Siendo vital la disponibilidad y fiabilidad de los motores para la producción petrolera del país.

Una de las empresas que le provee servicios de generación de energía cuenta con 4 campamentos instalados de generación:

**Tabla 1. Unidades operativas del proyecto al momento de la falla.**

No.	Ubicación	UG	MTU-DD Modelo	MTU-DD Serie	Fecha de Entrega	Kohler Modelo	Kohler S/N
1	Shushufindi Sur	1	T1237M36	5262001559	15/10/2005	1500REOZDB	2001860
2	Shushufindi Sur	2	T1237M36	5262001558	15/10/2005	1500REOZDB	2000979
3	Shushufindi Sur	3	T1237M36	5262001563	15/10/2005	1500REOZDB	2001863
4	Shushufindi Sur	4	T1237M36	5262001560	21/10/2005	1500REOZDB	2001861
5	Shushufindi Sur	5	T1237M36	5262001561	15/10/2005	1500REOZDB	2000980
6	Shushufindi Sur	6	T1237M36	5262000876	25/06/2007		707495
7	Sacha Central	1	T1237M36	5262001582	21/10/2005	1500REOZDB	2002635
8	Sacha Central	2	T1237M36	5262001550	21/10/2005	1500REOZDB	2000981
9	Sacha Central	3	T1237M36	5262001549	21/10/2005	1500REOZDB	O796906
10	Sacha Central	4	T1237M36	5262001562	21/10/2005	1500REOZDB	2001862
11	Sacha Central	5	T1237M36	5262001580	21/10/2005	1500REOZDB	2002636

12	Shushufinfi Central	1	T1237M36	5262001608	21/01/2006	1500REOZDB	2008060
13	Shushufinfi Central	2	T1237M36	5262001919		1500REOZDB	2053276
14	Shushufinfi Central	3	T1237M36	5262001628	21/01/2006	1500REOZDB	2010382
15	Shushufinfi Central	4	T1237M36	5262001615		1500REOZDB	2010381
16	Shushufinfi Central	5	T1237M36	5262001572	21/01/2006	1500REOZDB	2018059
17	Campo Culebra	1	T1237M36	5262001893	21/03/2008	1500REOZDB	2053268
18	Campo Culebra	2	T1237M36	5262001901	21/03/2008	1500REOZDB	2053275
19	Campo Culebra	3	T1237M36	526103370	21/03/2008	1500REOZDB	
20	Campo Culebra	4	T1237M36		15/10/2005	1500REOZDB	
21	Campo Culebra	5	T1237M36	526102899	21/03/2008	1500REOZDB	

## 1.2 Reseña Histórica de las Fallas

La primera falla ocurre el 30 de Diciembre del 2007, en el motor correspondiente al grupo electrógeno UG-04 de la Central de generación Shushufindi Sur, las características del grupo electrógeno son:

**Tabla 2. Datos grupo electrógeno, primera falla.**

Modelo Unidad	1500REOZD
Serie Unidad	2001861
Modelo Motor	T1237K36
Serie Motor	5262001560
Horometro	18.314
Fecha de Arranque Inicial	17 de enero de 2006

Conforme lo descrito por el personal de operación, las condiciones previas a la falla fueron: Con la unidad operativa, se realiza parada para MPG a las 13:54 y dura hasta las 16:50.

Posterior a la parada se ingresa a la unidad de generación al SEIP, sin problemas. Luego de dos horas de operación normal, en inspección de rutina se detecta leve ruido proveniente del motor, se procede con inspección y verificación de calibraciones sin encontrar mayor novedad, por lo que proceden con el arranque de la unidad, la misma que continuaba emitiendo el ruido; al poco rato se escucho un estruendo en el motor produciéndose el siniestro a las 20:00 horas aproximadamente.

El motor es enviado a los talleres del distribuidor representante oficial de la marca del motor para el país; para su desarmado, evaluación de partes, piezas y alcance de daños acontecidos durante el siniestro para efectos de trámites con la compañía aseguradora.

La Segunda falla ocurre el 10 de Febrero del 2008, en el motor correspondiente al grupo electrógeno UG-04 de la Central de generación Sacha Central, las características del grupo electrógeno son:

**Tabla 3. Datos grupo electrógeno, segunda falla.**

Modelo Unidad	1500REOZD
Serie Unidad	2001862
Modelo Motor	T1237K36
Serie Motor	5262001562
Horometro	18.163
Fecha de Arranque Inicial	20 de octubre de 2005

Conforme lo descrito por el personal de operación las condiciones de operación previa a la falla fueron:

El 10 de Febrero del 2008, a las 18.161 horas, se para la unidad por MPG, realizando trabajos en toda la unidad de generación, el mantenimiento dura aproximadamente más de 3 horas, sin encontrar novedades, al terminar el mantenimiento, se enciende y se coloca en línea la unidad, sin tener ninguna novedad.

El 10 de Febrero del 2008, a las 18.163 horas, la unidad de apaga automáticamente por baja presión de aceite en el motor, evidenciando que la presión bajo del limite el límite de 54 psi se analizó la viscosidad del aceite usado, encontrándose con baja viscosidad. Al revisar el motor, mediante las tapas de inspección del Carter, encontrándose restos de metales o chapas, las misma que provenían de los cilindros A5 y B5.

El motor es enviado a los talleres para evaluación de daños.

Durante el proceso de investigación ocurre la falla de la unidad UG3 de la central Shushufindi Sur, Tercera falla que se dio el 29 de Marzo del 2008, las características del grupo electrógeno son:

**Tabla 4. Datos grupo electrógeno, tercera falla.**

Modelo Unidad	1500REOZD
Serie Unidad	2001863
Modelo Motor	T1237K36
Serie Motor	5262001563
Horometro	20.262
Fecha de Arranque Inicial	20 de octubre de 2005

La cuarta falla ocurre el 2 de Abril del 2008, en el motor correspondiente al grupo electrógeno UG-05 de la Central de generación Sacha Central, las características del grupo electrógeno son:

**Tabla 5. Datos grupo electrógeno, cuarta falla.**

Modelo Unidad	1500REOZD
Serie Unidad	2002636
Modelo Motor	T1237K36
Serie Motor	5262001580
Horometro	19.001
Fecha de Arranque Inicial	20 de octubre de 2005

Estas unidades no fueron enviadas a los talleres hasta que se establezca la posición del seguro frente a las fallas presentadas.

Las fallas continuas presentadas no solo ponen en riesgo la operación de la empresa que provee servicios energéticos a Petroproducción sino que compromete seriamente las operaciones normales de este organismo, impactando directamente en la producción petrolera del país.

### 1.3 Registro de Imágenes de Fallas



Ilustración 1. Pistón de cilindro A5 motor S/N 5262001560.



Ilustración 2. Brazo de biela, cojinetes de biela y pernos de brazo de biela de cilindro A5 motor S/N 5262001560.



**Ilustración 3. Segmento de tapa de biela cilindro A5 motor S/N 5262001560.**



**Ilustración 4. Cojinetes de bancada motor S/N 5262001560.**



**Ilustración 5. Cojinetes de biela lado A motor S/N 5262001560.**



**Ilustración 6. Cojinetes de biela lado B motor S/N 5262001560.**



**Ilustración 7. Pistones, brazos de biela y cojinetes de cilindros A5 y B5 motor S/N 5262001562.**



**Ilustración 8. Cojinetes de biela de cilindro A5 motor S/N 5262001562.**



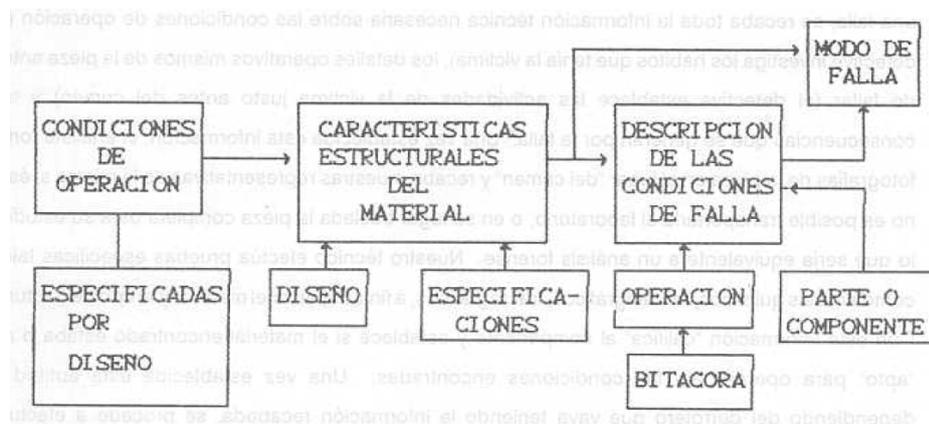
**Ilustración 9. Cojinetes de biela de cilindro B5 motor S/N 5262001562.**

# CÁPITULO 2

## 2. ANALISIS DE FALLAS

### 2.1 Metodología General de Análisis de Fallas

El análisis de falla no es otra cosa sino, el efectuar un diagnostico del porqué un material ya no puede prestar más el servicio para el que fue destinado. (1) Tomando como referencia que el objetivo de un análisis de falla es dictaminar la causa de la misma para así establecer responsabilidades y con acciones correctivas resolver el problema, el análisis se debe centrar en el estudio de la información que se recabe en:



**Ilustración 10. Diagrama de metodología para levantamiento de información. (1)**

Una vez recabada y procesada esta información, se procede de acuerdo al siguiente esquema; dentro de lo posible para validar las hipótesis.



**Ilustración 11. Esquema de validación de hipótesis. (1)**

Con la información recabada se procede a establecer la categoría adecuada del modo de falla, teniendo en cuenta las características estructurales del material y las condiciones de falla; procediendo a implementar las distintas pruebas pertinentes a fin de validar las hipótesis.

## **2.2 Determinación de Modo de Falla, Hipótesis Planteadas y Pruebas de Validación.**

Las fallas ocurren usualmente en forma de (1):

- Fractura
- Deformación excesiva
- Deterioro

En general las fallas en servicio pueden presentarse por un número ilimitado de causas. Para el equipo mecánico estas pueden dividirse genéricamente en tres categorías (1):

- 1) Diseño inadecuado
- 2) Fabricación y Procesamiento
- 3) Deterioro ambiental y por servicio

Al evaluar las condiciones de operación del parque de generación instalado, se evidencia que se encuentran dentro de las especificadas por diseño, al estar operando entre el 80 a 90% de la capacidad de carga. Los motores al momento de las fallas reportaban un promedio de 18.000 horas y/o 2 años de operación, por lo que no corresponde a una clasificación de falla de tipo temprana, siendo muy poco probable que se trate de un modo de falla por diseño inadecuado y/o fabricación y procesamiento.

Por las descripciones manifestadas por el personal de mantenimiento y operación, de las condiciones previas a las fallas, en los dos primeros motores se presumía podrían estar implicados variables de mantenimiento ejecutadas inadecuadamente, lo cual se procede a descartar ante las condiciones de operación reportadas en las siguientes fallas.

De la evaluación realizada a las partes y piezas de los motores, se evidencia que la falla ocurrió en forma de deformación excesiva y/o deterioro, correspondiendo a la categoría de Deterioro ambiental y por servicio.

Esto se evidencia en los cojinetes de biela ilustración # 6, produciéndose una deformación excesiva de los mismos como consecuencia, involucrando a una falla en el sistema de lubricación.

Entre las posibles hipótesis para la falla de lubricación, se puede mencionar:

- 1.- Taponamiento de pasajes de lubricación del cigüeñal de cilindros A5 y B5 causados por el desprendimiento de partículas de cojinetes de biela debido a desgaste abrasivo, corrosivo y/o electroerosión.
- 2.- Giro de los cojinetes de biela de los cilindros A5 y B5, causando la obstrucción de pasajes de lubricación del cigüeñal; el giro pudo ser originado por la alteración de la estructura del cojinete debido al desprendimiento de material del mismo evidenciado en las picaduras y/u orificios encontrados en los mismos.
- 3.- Pérdida de película lubricante por dilución con combustible ocasionando el contacto metal con metal y posterior giro del cojinete de biela.

Para la validación de las hipótesis planteadas se realizarán las siguientes pruebas de laboratorio y verificación de condiciones:

- 1) Análisis de lubricantes en uso, evaluando las propiedades físicas y químicas del mismo que evidencien una adecuada protección de las partes y piezas lubricadas contra corrosión química, reducción de fricción y desgaste mediante la formación de una adecuada película de lubricación, adecuado control de contaminantes abrasivos como el hollín.
- 2) Microscopia electrónica de barrido (SEM), que genera una imagen o composición elemental de la muestra, (cojinetes de bielas con picaduras) y de energía dispersiva de rayos X Espectroscopia o EDS que puede proporcionar una cualitativa rápida, o con los estándares adecuados, el análisis cuantitativo de la composición elemental con una profundidad de muestreo de 1-2 micras. Los rayos X también se pueden usar para formar mapas o perfiles de línea, que muestra la distribución elemental en una superficie de la muestra.
- 3) Medición de voltajes en cigüeñal, para evaluar posible electroerosión que no debe ser superior a 200 mV.
- 4) Lubricante en uso calidad, fabricación, composición.
- 5) Periodo de cambio de lubricante.
- 6) Periodo de cambio de filtro.
- 7) Históricos de Análisis de aceites usados
- 8) Análisis de combustible en uso.

## 2.3 Resultados de Evaluaciones de Pruebas de Validación.

Resultados de análisis de aceite usado laboratorio externos.

**Tabla 6. Detalle de muestras de aceite usado tomadas y analizadas, luego de las fallas.**

No. LAB USA	No. LAB VALVOLINE	ID UNIDAD	SERIE	HOROMETRO	HORAS DE ACEITE	FECHA DE MUESTRA
4307	7088	UG5 SACHA CENTRAL	5262001580	18999	474	09/04/2008
4308	7089	UG3 SHUSHUFINDI SUR	5262001563	20262	1	09/04/2008
NO ANALIZADO	7090	UG2 SACHA	5262001550	19326	600	27/03/2008
NO ANALIZADO	7091	UG1 CULEBRA	5262001893	1143	481	03/04/2008
NO ANALIZADO	7087	ACEITE NUEVO DE MUESTRA DE FABRICANTE				03/04/2008
4310	NO ANALIZADO		5262001549	19535	428	09/04/2008
4309	NO ANALIZADO		5262001582	19555	602	09/04/2008
4306	NO ANALIZADO	ACEITE NUEVO DE MUESTRA DE FABRICANTE				15/04/2008

Los resultados de análisis realizados en el laboratorio local correspondientes a los números de laboratorio 7088 y 7090, se reportan resultados alertados debido a: la ausencia de reserva alcalina (TBN) para proteger al motor contra los ácidos que se forman durante la operación, niveles elevados de cobre y presencia de agua.



**SERVICIO POST VALVOLINE**

**REPORTE DE ANÁLISIS DE ACEITE USADO**

NO. LAB	7088
CLIENTE	JUSTICE
NO. EQUIPO	SACHA CENTRAL UG6
MARCA	MTU
MODELO	12V4000 G81
SERIE	5262001680
HOROMETRO	18888
HORAS DEL ACEITE	474
COMPARTIMENTO	MOTOR
FECHA MUESTRA	09/04/08
TIPO ACEITE	SAE 15W40

RESULTADOS		
	RESULTADO	LÍMITE CONDENATORIO
AGUA	POSITIVO	POSITIVO
COMBUSTIBLE	NEGATIVO	POSITIVO
VISCOSIDAD A 100 CENT	12.78	13.5 - 16.3
TBN	0	4
HOLLÍN	8%	100%
OXIDACIÓN	17%	100%
SULFATACION	77%	100%
Metales de Desgaste	PPM	PPM
COBRE	45	25
HIERRO	26	80
CROMO	0	15
PLOMO	13	25

**COMENTARIOS**

SE ENCUENTRA PRESENCIA DE AGUA EN EL ACEITE. COBRE SE ENCUENTRA ELEVADO. INVESTIGAR CONTAMINACIÓN CON AGUA. TOMAR OTRA MUESTRA PARA COMPARAR RESULTADOS. VISCOSIDAD BAJA, TBN ES 0 (CERO) ACEITE EN MAL ESTADO

Ing. Luis Encalada P.  
Gerente Técnico



**Ilustración 12. Reporte de análisis de aceite laboratorio local motor S/N 5262001580.**

Los resultados de los análisis realizados en el laboratorio de Estados Unidos se reportan en estado de precaución debido a: elevado contenido de cobre, bajo nivel de reserva alcalina (TBN) y contaminación con agua.

El TBN número básico total de un aceite es la cantidad de ácido, expresada en términos del número equivalente de miligramos de hidróxido de potasio (KOH), que se requiere para neutralizar todos los constituyentes básicos presentes en un gramo de aceite. (2)

#### Caution = 4

Unit ID	Dt Taken	Sample #	Observation(s)
526001582	4/9/2008	4309	Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s uspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor. TBN (Total base number) is lower than it needs to be. Consider adding extra makeup oil now to boost the additives or Change oil at the next opportunity.
5262001549	4/9/2008	4310	Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s uspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor.
5262001563	4/9/2008	4308	Caution! High water content. Dewater, or drain and replace f luid. High water content promotes corrosion, wear and fluid breakdown.
5262001580	4/9/2008	4307	Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s uspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor. CAUTION! Elevated amounts of ferrous particles are present. Iron is a common wear element and could be coming from sour ces such as gears, bearings, shafts, housings. Filter lubri TBN (Total base number) is lower than it needs to be. Consider adding extra makeup oil now to boost the additives or Change oil at the next opportunity.

### Ilustración 13. Sumario de informes de análisis de aceites de laboratorio en USA.

		1711 Orbit Way - Bldg 2 Minden, NV 89423 TEL: 775-783-4660 FAX: 775-783-4651		Attention Of: Keptl Tinoco Company: Astriven C. Ltda End User: JUSTICE COMPANY	
Date Taken	Date Received	Date Tested	Sump Cap	Unit ID	526001582 <b>Caution</b>
4/9/2008	4/18/2008	4/18/2008		Equipment	
Common #				Sample Point	GENERATOR
Serial #				Lubricant	GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40
Make & Model				Test Pkg	EB <span style="float: right;">Route UNK</span>
Observations(s): REC1 --- Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s suspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor. --- REC 2 ---TBN (Total base number) is lower than it needs to be. Consider adding extra makeup oil now to boost the additives or Change oil at the next opportunity.					
Sample Note:					
Batch Number	7389				
Sample Number	4309				
Date Sampled	04/09/08				
Time on Lube	602				
Time on Unit	19555				
<b>ASTM D 445</b>			<b>Viscosity Results (cSt)</b>		
@ 40 deg C					
@ 100 deg C	11.50				
Viscosity Index					
			<b>FT-IR Results (Abs/.1mm or Percent)</b>		
Oxidation (Abs)	0.09				
Sulfation (Abs)	0.49				
Nitration (Abs)	0.11				
Water(%)	<0.05				
Fuel Dilution (%)	<2.00				
Glycol( %)	<0.05				
Soot (Abs)	0.10				
Zinc Depl (Abs)	-0.11				
TAN ASTM D 884/074 TBN ASTM D 2896/1739 KPW ASTM D 8304/1633			<b>Titration Results</b>		
TAN (mgKOH/g)					
TBN (mgKOH/g)	3.51 C				
KF Water (ppm)					

**Ilustración 14. Reporte de análisis de aceite, laboratorio USA motor S/N 5262001582.**

		<b>BTS West</b> 1711 Orbit Way - Bldg 2 Minden, NV 89423 TEL: 775-783-4660 FAX: 775-783-4651		<b>Cust Code</b> ASTRIVEN <b>Attention Of</b> Kepti Tinoco <b>Company</b> Astriven C. Ltda <b>End User</b> JUSTICE COMPANY											
<b>Date Taken</b>	<b>Date Received</b>	<b>Date Tested</b>	<b>Sump Cap</b>	<b>Unit ID</b>	<b>5262001580</b> <b>Caution</b>										
4/9/2008	4/18/2008	4/18/2008		<b>Equipment</b>											
<b>Common #</b>				<b>Sample Point</b>	UGS-SACHA GENERATION										
<b>Serial #</b>				<b>Lubricant</b>	GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40										
<b>Make &amp; Model</b>				<b>Test Pkg</b>	EB <b>Route</b> UNK										
<b>Observations(s):</b> REC1 --- Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s suspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor. --- REC 2 ---CAUTION! Elevated amounts of ferrous particles are present. Iron is a common wear element and could be coming from sour ces such as gears, bearings, shafts, housings. Filter lubri --- REC 3 ---TBN (Total base number) is lower than it needs to be. Consider adding extra makeup oil now to boost the additives or Change oil at the next opportunity.															
<b>Sample Note:</b>															
<table border="1"> <tr> <td><b>Batch Number</b></td> <td>7389</td> </tr> <tr> <td><b>Sample Number</b></td> <td>4307</td> </tr> <tr> <td><b>Date Sampled</b></td> <td>04/09/08</td> </tr> <tr> <td><b>Time on Lube</b></td> <td>474</td> </tr> <tr> <td><b>Time on Unit</b></td> <td>18939</td> </tr> </table>						<b>Batch Number</b>	7389	<b>Sample Number</b>	4307	<b>Date Sampled</b>	04/09/08	<b>Time on Lube</b>	474	<b>Time on Unit</b>	18939
<b>Batch Number</b>	7389														
<b>Sample Number</b>	4307														
<b>Date Sampled</b>	04/09/08														
<b>Time on Lube</b>	474														
<b>Time on Unit</b>	18939														
<b>ASTM D 445</b>			<b>Viscosity Results (cSt)</b>												
@ 40 deg C															
@ 100 deg C			13.41												
<b>Viscosity Index</b>															
<b>FT-IR Results (Abs/.1mm or Percent)</b>															
<b>Oxidation (Abs)</b>			0.11												
<b>Sulfation (Abs)</b>			0.47												
<b>Nitration (Abs)</b>			0.15												
<b>Water(%)</b>			0.50												
<b>Fuel Dilution (%)</b>			-2.00												
<b>Glycol( %)</b>			-0.05												
<b>Soot (Abs)</b>			0.10												
<b>Zinc Depl (Abs)</b>			-0.09												
<small>TAN ASTM D 954/074          TBN ASTM D 2896/1739          KPW ASTM D 8504/1533</small>			<b>Titration Results</b>												
<b>TAN (mgKOH/g)</b>															
<b>TBN (mgKOH/g)</b>			4.49												
<b>KF Water (ppm)</b>															

**Ilustración 15. Reporte de análisis de aceite, laboratorio usa motor S/N 5262001680.**

Los resultados de los análisis realizados a las muestras del lubricante en uso en los equipos en operación, evidencian posibles condiciones de operación con alto nivel ácido del lubricante pudiendo ocasionar corrosión química en

los distintos componentes del motor; convirtiéndose en una probable causa de la picaduras y/u orificios encontrados en los cojinetes de biela.

Los niveles ácidos del lubricante se producen debido a:

- Operación con combustibles de alto contenido de azufre
- Insuficiente reserva alcalina (TBN) del lubricante para el contenido de azufre del combustible utilizado
- Periodo de cambio del lubricante sobre extendido para las condiciones de operación con el combustible utilizado.
- Insuficiente capacidad de retención de reserva alcalina (TBN) del lubricante utilizado para las condiciones de operación.

Con la evaluación realizada al combustible utilizado, se evidencia que se encuentra en límite superior de contenido de azufre solicitado para la operación; límite superior 0,5% (5000 ppm) (3), valor reportado en análisis realizado 0,437% (4370 ppm).

**REPORTE DE ANÁLISIS No. ALPEP 056-08**

Fecha de recepción: 2 de Julio de 2008  
 Muestras: Una muestra de diesel  
 Análisis: Caracterización de una muestra  
 Solicitado por: Ing. Lady Manzur  
 Taller División Motores  
 Fecha de entrega: 4 de julio de 2008

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA:**

Envase	Plásticos
Capacidad	1000 ml
Identificación	N/A
Código del Laboratorio	ml1

**RESULTADOS:**

ENSAYO	NORMA	VALOR TEÓRICO	VALOR DETERMINADO
Punto de inflamación (°C)	INEN 1047	51 Min	86.0
Contenido de azufre (%p)	INEN 1490	0.7 Máx	0.437
Corrosión a la lámina de cobre	INEN 927	No. 3 Máx	1 B
Índice de cetano calculado	INEN 1495	45 Min	46.5
Ensayo de destilación : Temperatura del 90% (°C)	INEN 926	360 Máx	331
Residuo de Carbón Contraste sobre el 10% de residuo (%)	INEN 1491	0.15 Máx	0.014
Cenizas (%p)	INEN 1492	0.01 Máx	0.00
Viscosidad cinemática a 37.8 °C (cSt)	INEN 1981	2.5 a 6.0	3.67
Agua y sedimentos (%V)	INEN 1494	0.05 Máx	<0.05



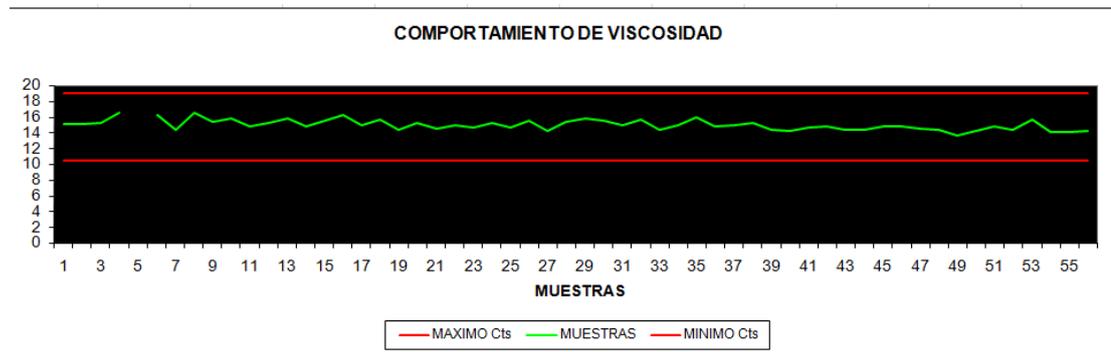
**Ilustración 16. Reporte de análisis de combustible, laboratorio local.**

Se solicita la información de las propiedades físico químicas del lubricante se la información tabulada, muestra el seguimiento de análisis de aceite usado y en uso un total de 56 muestras del motor serie 5262001560 desde el arranque inicial hasta el 29 de noviembre del 2007, la metodología implementada, para la toma de muestras por parte del departamento técnico de la empresa propietaria, fue de una muestra del lubricante previo al cambio de la carga del mismo y una toma de muestra de lubricante recién cargado con 1 a 2 horas de operación.

Conforme la información mostrada se evidencia parámetros de operación dentro de límites condinatorios. Los parámetros principalmente revisados corresponden a los valores del TBN y viscosidad.

Gulf Oil International		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10	Muestra 11	Muestra 12	Muestra 13	Muestra 14	Muestra 15	Muestra 16	Muestra 17	
Lubricantes		Oct.17/2006	Oct. 28/2006	Nov. 9/2006	Nov. 24/2006	NP	Dic. 14/2006	Ene. 6/2006	Feb. 12/2006	Feb. 19/2006	Feb. 25/2006	Marzo 11/2006	Marzo 21/2006	Marzo 21/2006	Marzo 21/2006	Mayo 19/2006	Mayo 19/2006	Mayo 19/2006	
Servicio Técnico																			
Reporte de Progreso																			
Empresa:	JUSTICE (ShushindSur)																		
Atención:	Ing. Carlos Torres																		
Generador:	4																		
Parte:	Motor																		
Lubricante Utilizado:	Tenneco Lisa Premium TDX 15W40 (Muestra 1) / Gulf Fleet Supreme 15W40 (Resto)																		
Ensayo	Límites de Servicio	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10	Muestra 11	Muestra 12	Muestra 13	Muestra 14	Muestra 15	Muestra 16	Muestra 17	
Fecha de muestra		Oct.17/2006	Oct. 28/2006	Nov. 9/2006	Nov. 24/2006	NP	Dic. 14/2006	Ene. 6/2006	Feb. 12/2006	Feb. 19/2006	Feb. 25/2006	Marzo 11/2006	Marzo 21/2006	Marzo 21/2006	Marzo 21/2006	Mayo 19/2006	Mayo 19/2006	Mayo 19/2006	
Tiempo de servicio del aceite (hrs)		50	169	477	502		508	517	508	250	528	1	257	500	1	309	528	1	
Tiempo de servicio del equipo (hrs)		50	219	477	802	NP	1.336	1855	2383	2633	2911	2912	3168	3411	3412	4743	4440	4441	
Método de depósito (ppm)																			
Hierro	Máximo 50 ppm	7	5	6	15		12	9	15	8	17	4	7	11	2	12	14	5	
Aluminio	Máximo 10 ppm	1	4	2	2		6	1	9	12	6	3	7	4	7	0	0	0	
Plomo	Máximo 20 ppm	1	1	1	1		4	1	1	1	8	2	1	3	1	0	0	0	
Cobre	Máximo 20 ppm	9	10	3	85	11	137	71	76	14	58	18	9	33	5	54	72	18	
Silicio	Máximo 15 ppm	1	3	7	3		5	4	13	8	1	6	10	4	8	7	7	8	
Viscosidad @ 100 C (cst)	Ene. 10.5 y 19	15.05	15.01	15.21	16.49		16.14	14.32	16.46	15.35	15.82	14.79	15.2	15.85	14.74	15.49	16.26	14.94	
TBN	Mínimo 5.5	9.24	8.66	7.53	6.89		6.07	6.666	7.68	7.59	5.74	9.57	8.92	7.78	9.73	5.92	5.33	10.37	
AGUA (%)																			
	MAXIMO Ote	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
	MESTRAS	15.05	15.01	15.21	16.49		16.14	14.32	16.46	15.35	15.82	14.79	15.2	15.85	14.74	15.49	16.26	14.94	
	MINIMO Ote	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	
	MESTRAS	9.24	8.66	7.53	6.89		6.07	7	7.68	7.59	5.74	9.57	8.92	7.78	9.73	5.92	5.33	10.37	
	MINIMO	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	

Ilustración 17. Información tabulada de histórico de análisis de aceite motor S/N 5262001560.

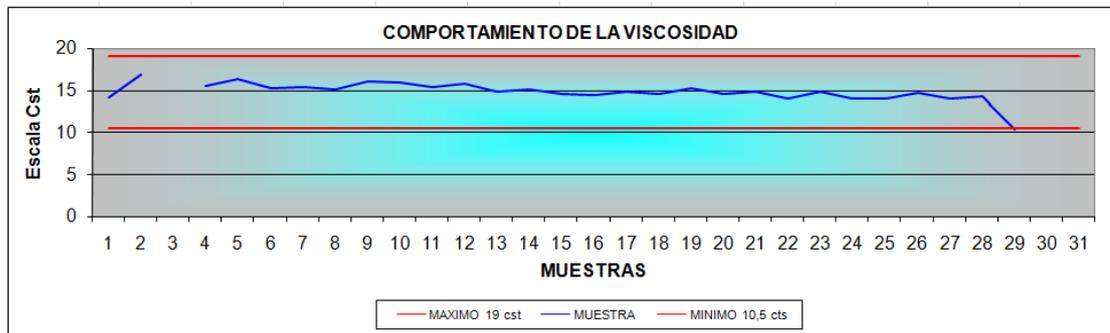


**Ilustración 18. Grafica de valores reportados de viscosidad durante muestreos realizados motor S/N 5262001560.**

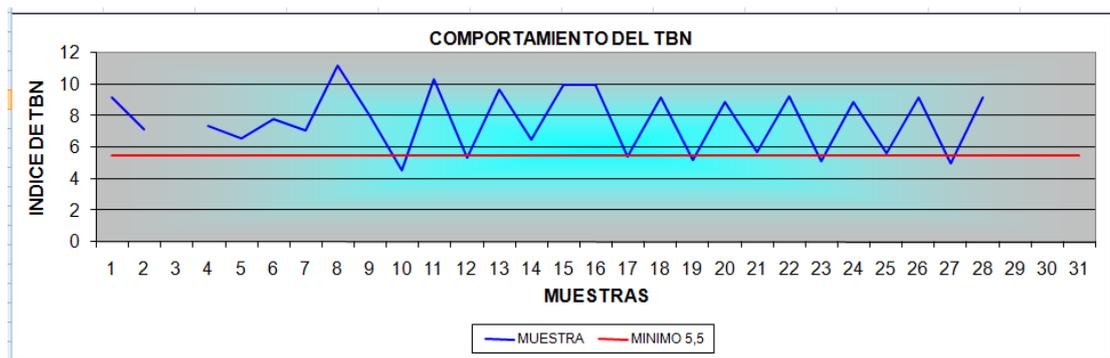


**Ilustración 19. Grafica de valores reportados de TBN en motor S/N 5262001560.**

Los picos mostrados en la grafica obedecen a las prácticas de muestreo implementadas, por la toma de muestras con 1 a 2 horas de operación, el periodo de cambio del lubricante en esta unidad, estuvo establecido hasta 500 horas hasta septiembre de 2006 y posteriormente se lo aumento a 700 horas en octubre del 2006. El máximo periodo de cambio alcanzado fue de 747 horas.



**Ilustración 20. Grafica de valores reportados de viscosidad motor S/N 5262001562.**

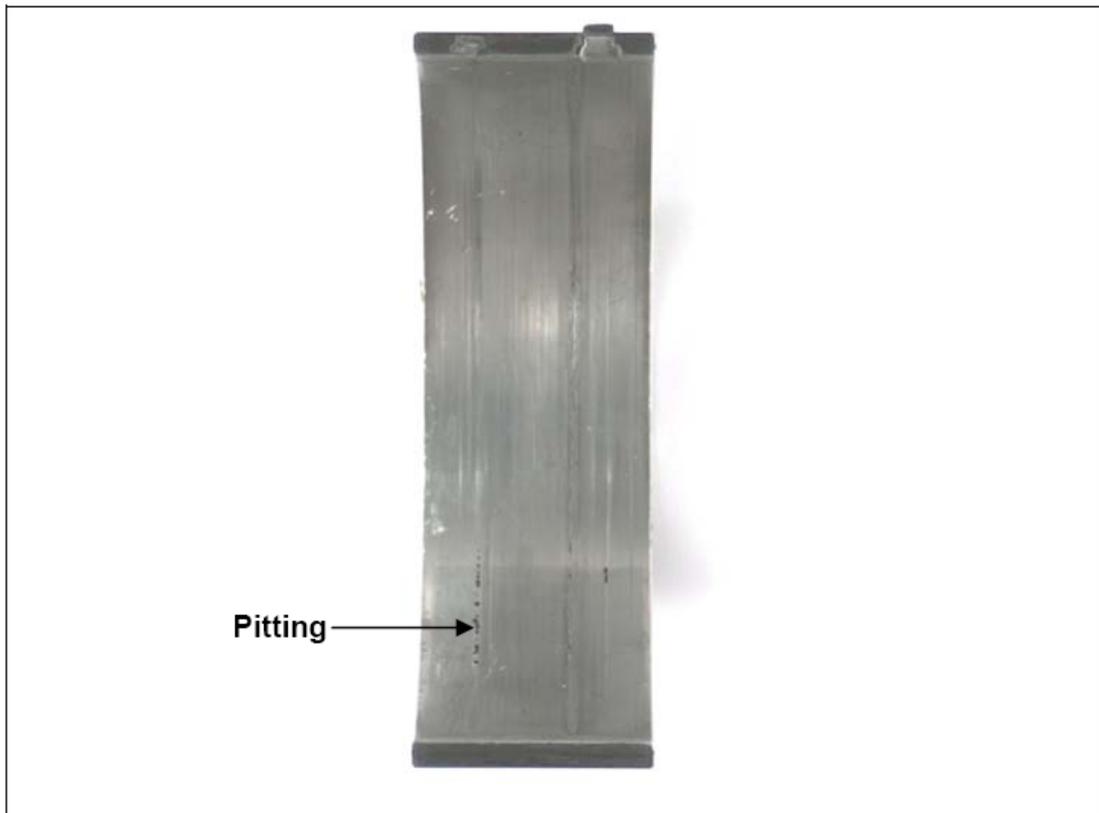


**Ilustración 21. Grafica de valores reportados de TBN motor S/N 5262001562.**

En las graficas mostradas de los resultados de análisis de motor de la unidad serie 5262001562 se evidencia condiciones de parámetros dentro de límites condinatorios.

El consumo de lubricante se reporta en un promedio de 3 galones diarios inferior al límite establecido de 0,5% del volumen de combustible consumido en un periodo de 24 horas. Representando un 6% del volumen del cárter.

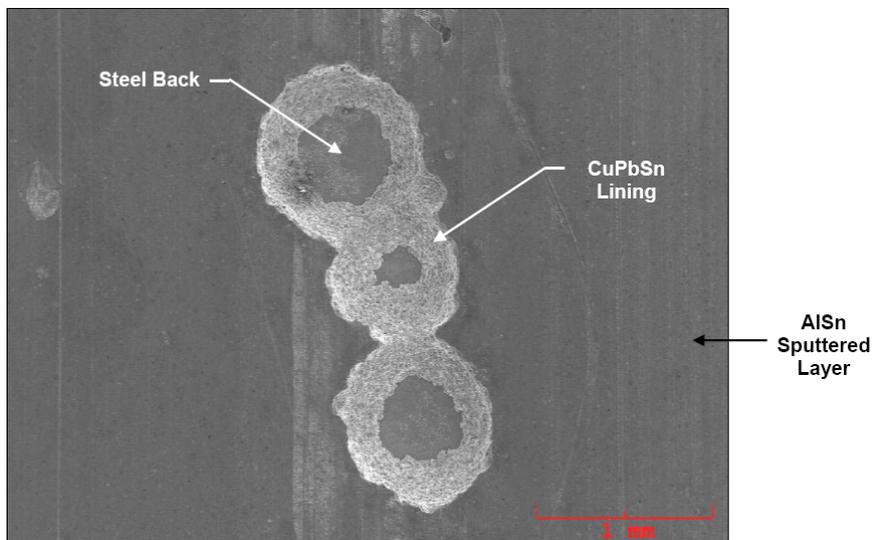
Análisis SEM / EDS de los cojinetes de motores en operación que evidencia picaduras en la superficie de carga.



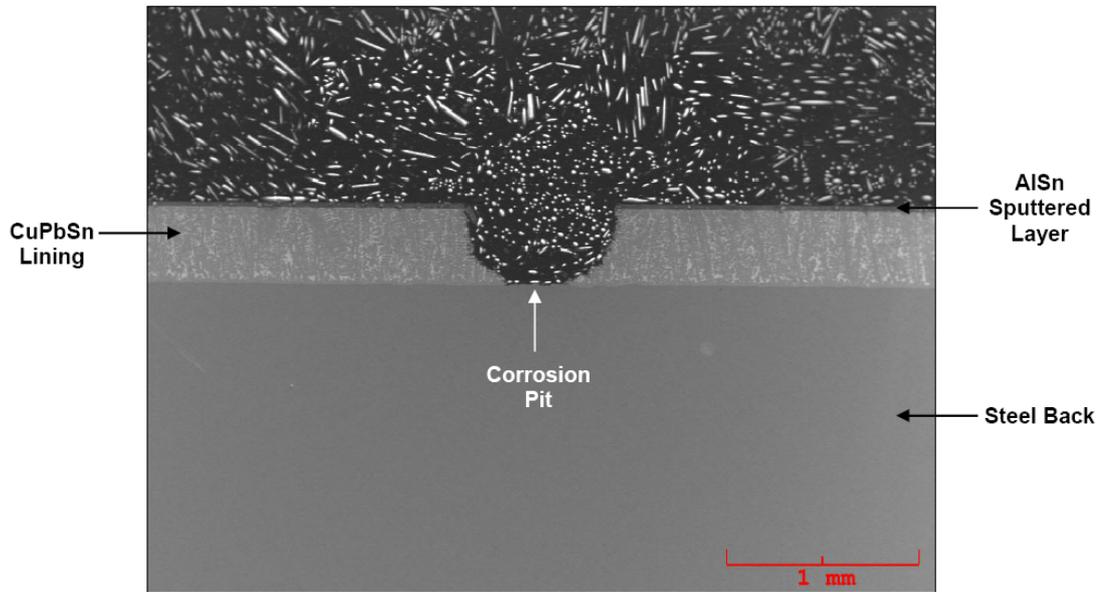
**Ilustración 22. Fotografía del cojinete de biela superior A5 indicando la ubicación de los daños de picaduras en la superficie del cojinete. Notar desgaste circunferencial asociado con el daño de picadura. Motor 5262001561. (4)**



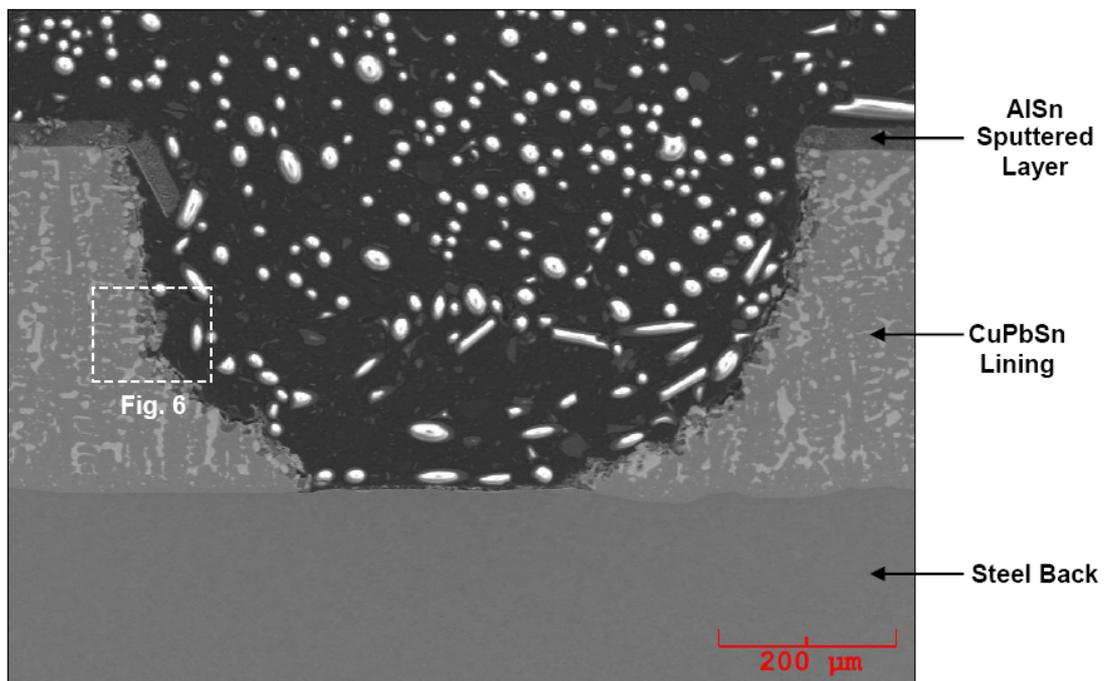
**Ilustración 23. Fotografía óptica de las picaduras sobre la superficie del cojinete en la posición indicada en la Ilustración 22. La apariencia oscura dentro de los pozos es característica de la corrosión. (4)**



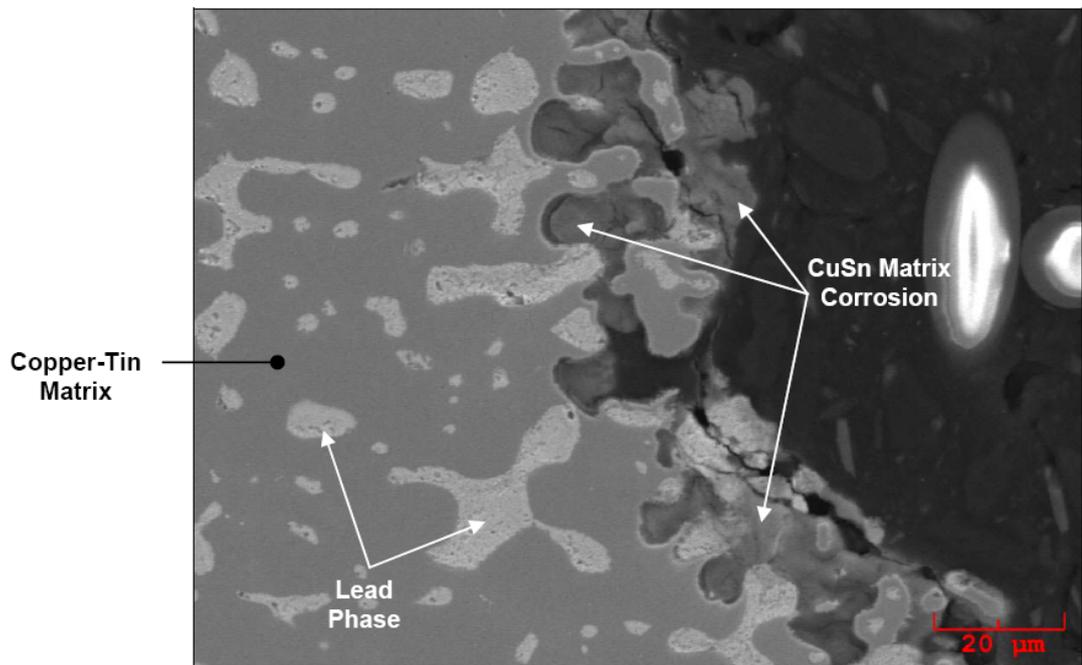
**Ilustración 24. SEM imagen de electrones secundarios de la corrosión por picaduras. Nota: Se observó daños a la parte de la capa de acero del cojinete. (4)**



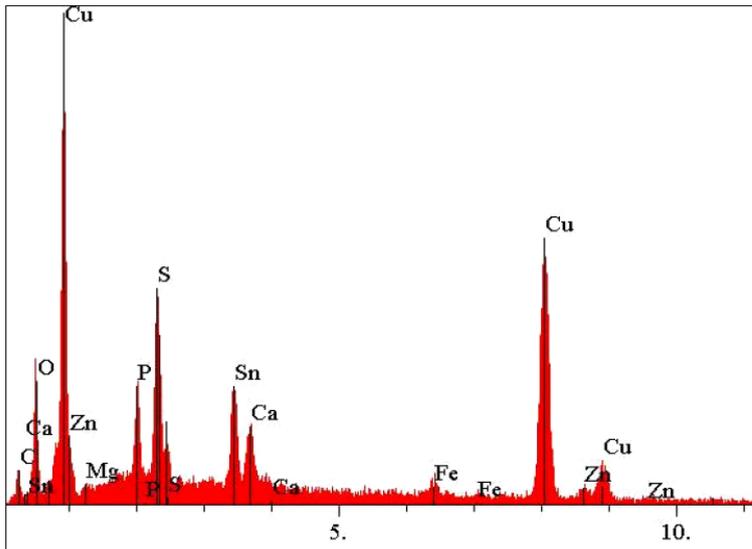
**Ilustración 25. SEM imagen de electrones secundarios de una sección metalográfica a través de la picadura de corrosión. (4)**



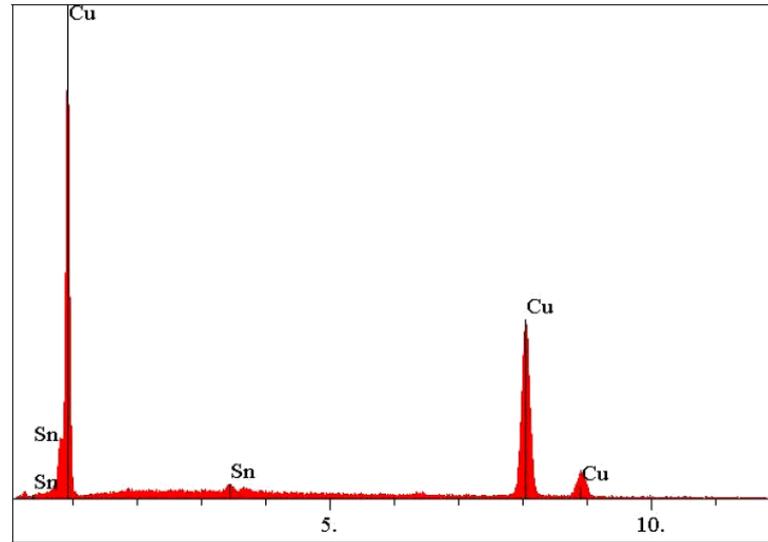
**Ilustración 26. Amplificación de la imagen SEM de la picadura de corrosión indicada en la Ilustración 25. (4)**



**Ilustración 27. Imagen SEM de la capa del cojinete en la posición indicada en la Ilustración 26. Las regiones de color gris oscuro son características del ataque corrosivo de la matriz de cobre - estaño (constituyente gris) del revestimiento del cojinete. Tener en cuenta que varias de las piscinas de plomo (constituyentes claros) permanecen intactas. (4)**



**Ilustración 29. Resultados de la EDS (regiones gris oscuro) de la matriz corroída indicada en la Figura 6, Ilustración 26. (4)**



**Ilustración 28. Resultados de la EDS de la matriz de cobre - estaño (constituyente gris) del revestimiento del cojinete indicado en la Figura 6, Ilustración 26. (4)**

En la ilustración número 29 se aprecia los resultados de la EDS de la matriz corroída (regiones gris oscuro) indicada en la Figura 6 de la ilustración 26.

Los picos de oxígeno (O), en combinación con la presencia de azufre (S), fósforo (P), calcio (Ca), zinc (Zn) y magnesio (Mg) son un indicativo de que el aceite corrosivo es la causa de las picaduras en la superficie del cojinete.

Al comparar a la matriz de base química contenida en la Ilustración 28 donde se aprecia resultados de la EDS de la matriz de cobre – estaño

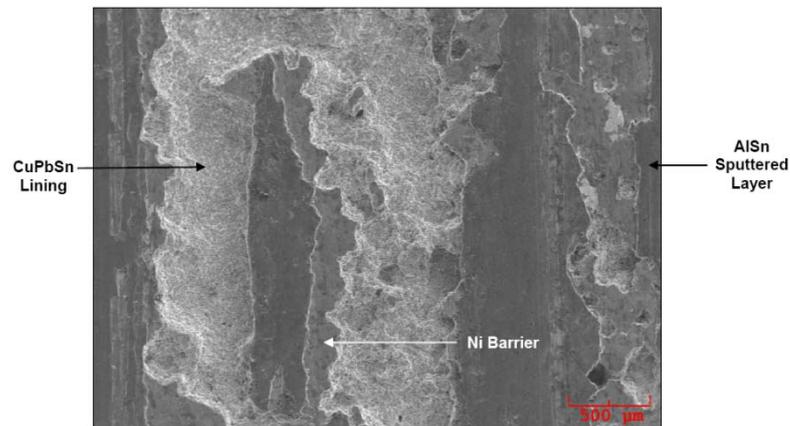
(constituyente gris) del revestimiento del cojinete indicado en la Figura 6, no hay indicación de una inadecuada química del componente. (4)



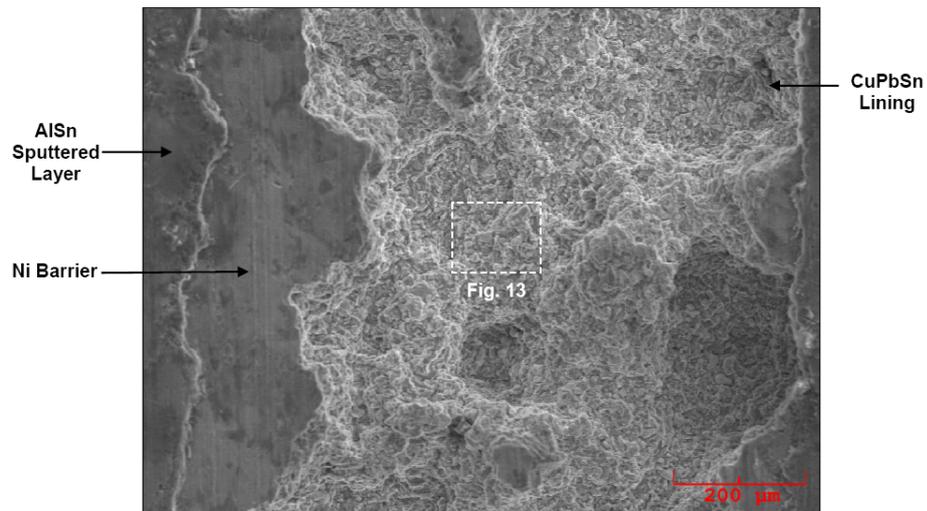
**Ilustración 30. Fotografía del cojinete de biela superior del cilindro B5 que indica la ubicación de los daños por picaduras en la superficie. Notar desgaste circunferencial asociado con las picaduras. Motor 5262001559. (4)**



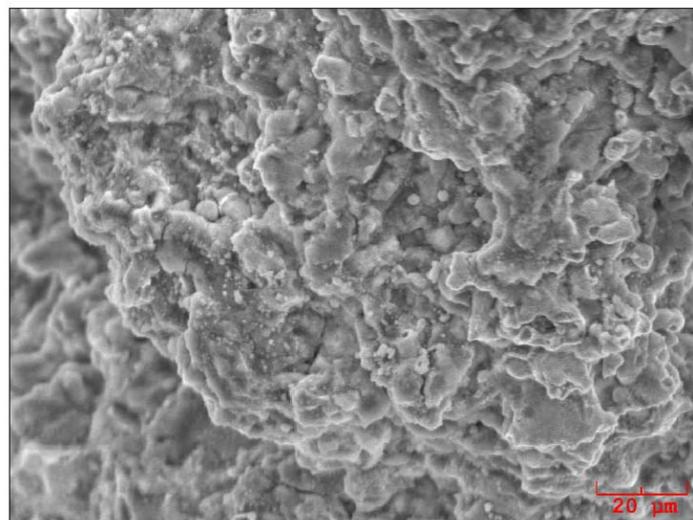
**Ilustración 31. Fotografía óptica de las picaduras sobre la superficie de apoyo en la posición indicada en la Ilustración 28. La apariencia oscura dentro de los pozos es característica de la corrosión. Notar regiones manchadas de la superficie de apoyo cerca de la corrosión. (4)**



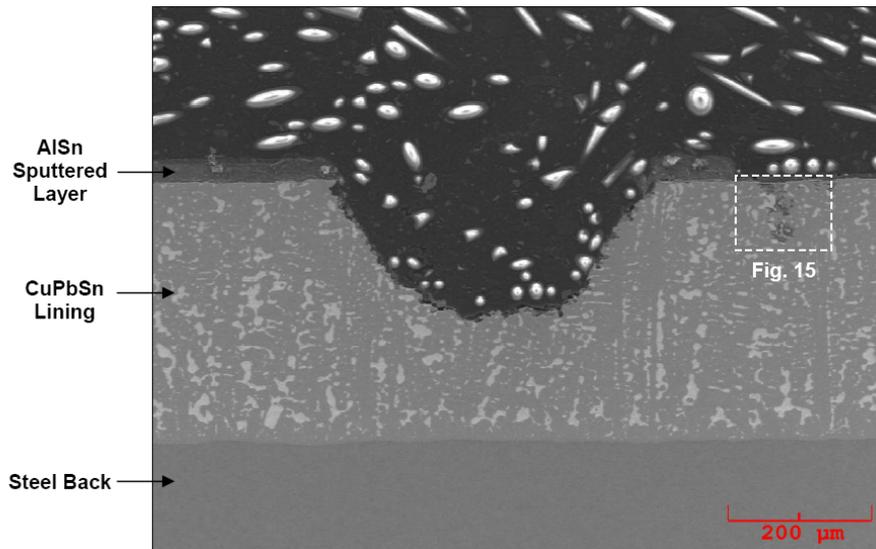
**Ilustración 32. SEM imagen de electrones secundarios de la corrosión por picaduras. Mientras que un daño significativo es evidente, no se observó la progresión a la parte posterior de acero. (4)**



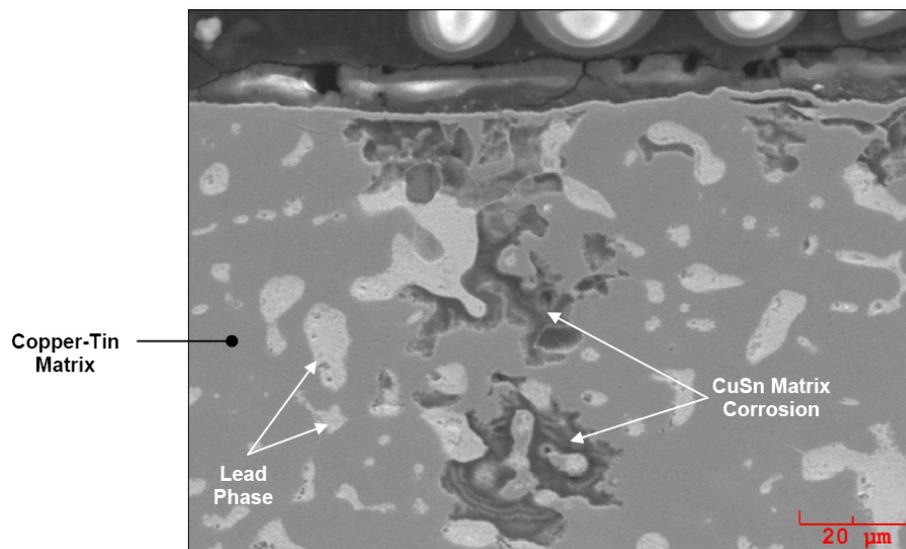
**Ilustración 33. Mayor aumento de imagen SEM de electrones secundarios de la picadura. (4)**



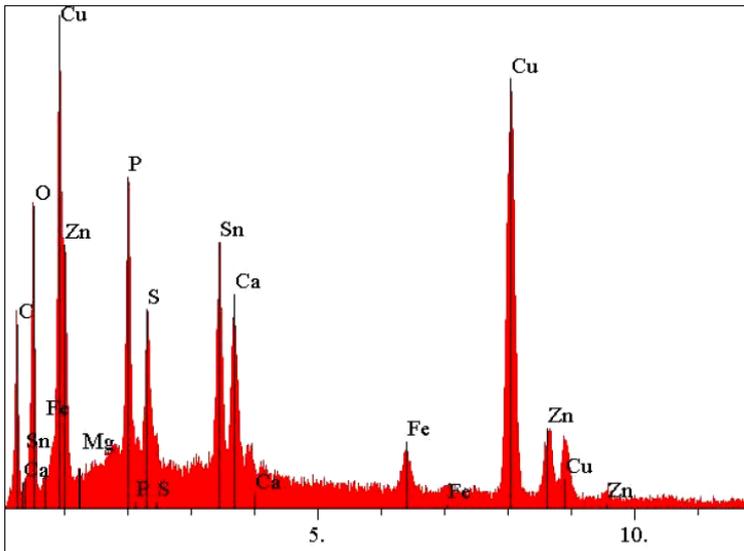
**Ilustración 34. SEM imagen de electrones secundarios del revestimiento del cojinete en la posición indicada en la figura 13 de la Ilustración 33. Morfología superficial es característica de la corrosión. (4)**



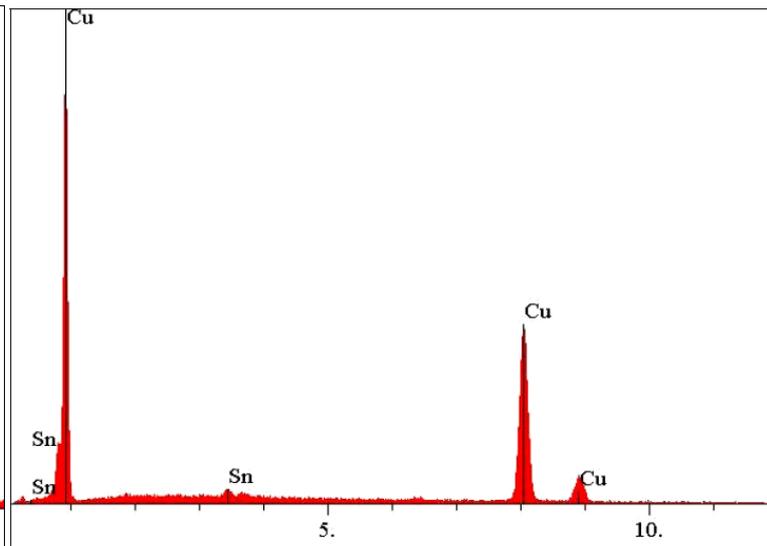
**Ilustración 35. SEM imagen de electrones secundarios de una sección metalográfica por la región corroído del cojinete. (4)**



**Ilustración 36. Imagen SEM del revestimiento del cojinete en la posición indicada en la figura 15 de la ilustración 35. Las regiones de color gris oscuro son características de ataque corrosivo de la matriz de cobre – estaño (constituyente gris) del revestimiento del cojinete. (4)**



**Ilustración 37. EDS resultados de la matriz de revestimiento corroída (regiones gris oscuro) indicada en la Figura 15, Ilustración 35. (4)**



**Ilustración 38. Resultados de la EDS de la matriz de cobre - estaño (constituyente gris) del revestimiento del cojinete indicado en la Figura 15, Ilustración 35. (4)**

En la ilustración 37 EDS resultados de la matriz de revestimiento corroída (regiones gris oscuro) indicada en la Figura 15 de la ilustración 35. Los picos de oxígeno (O), en combinación con la presencia de azufre (S) , fósforo (P), calcio (Ca) , zinc (Zn) y magnesio (Mg), es indicativo de que el aceite corrosivo es la causa de la picaduras en la superficie del cojinete. (4)

### Sumario de informe de análisis de laboratorio metalúrgico

1. El daño por picadura en ambos cojinetes se produjo como resultado de la corrosión. El análisis SEM / EDS de las regiones corroídas reveló altas concentraciones de azufre y oxígeno, junto con concentraciones significativas de fósforo, calcio, zinc y magnesio (típicas de los aditivos del aceite), lo que indica un entorno de aceite corrosivo como la causa de las picaduras. (4)
2. La mayoría de la corrosión se observó en la matriz de cobre-estaño de la aleación de revestimiento de cojinete; por lo tanto, el debilitamiento de la estructura resultante en la pérdida de material. El material desplazado provoca el manchado y rayas circunferenciales (es decir, un mayor desgaste) en la superficie de apoyo cerca de las regiones corroídas. (4)
3. No hay nada que sugiera, que la matriz de revestimiento de cobre y estaño era metalúrgicamente deficiente. (4)

### Recomendaciones de informe de análisis de laboratorio metalúrgico

1. Revisar el paquete de aditivos del aceite y el intervalo de cambio programado para esta aplicación. (4)
2. Monitorear la calidad del aceite del motor. (4)

## **2.4 Análisis de Resultados de Pruebas de Validación y Diagnostico de Falla.**

Durante la evaluación de los datos históricos de análisis de aceites, facilitados por el propietario de los motores, se evidencia que los valores presentados en el archivo tabulado se encuentran dentro de límites condinatorios para la operación, conforme indica el fabricante en el documento de especificaciones de fluidos y lubricantes (3); sin embargo los resultados de análisis realizados, a las muestras de lubricantes en uso en los equipos operativos, reportados por los laboratorios, tanto local como internacional, muestran condiciones inadecuadas de operación debido a que los lubricantes no ofrecen una adecuada protección contra los ácidos que se forman durante la combustión.

En las evaluación SEM / EDS de los cojinetes afectados por picaduras se reporta información contundente que ratifica las condiciones evidenciadas en los análisis realizados a los lubricantes en uso, en las unidades operativas.

En base a la información evidenciada en los reportes de los distintos análisis realizados, se concluye que las fallas analizadas se originan debido al desprendimiento de material que se origina por corrosión química, a la cual estuvo sometido el cojinete, diluyendo los componentes metálicos de las capas del mismo; debilitando su estructura dando como resultado el desplazamiento (giro) del cojinete de su posición, ocasionando el

taponamiento de los pasajes de lubricación, produciéndose de esta manera la deformación, fractura y quemadura del cojinete y demás componentes involucrados; en el presente modo de falla por Deterioro ambiental.

## **CÁPITULO 3**

### **3. MEDIDAS CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS PARA LA OPERACIÓN**

#### **3.1 Cambios en Parámetros Operativos.**

A fin de proteger el resto de la flota operativa se necesita realizar los siguientes cambios en la operación y mantenimiento de los equipos.

1. Reducción de periodo de cambio de lubricante de 700 a 250 horas de operación como se establece en el documento de especificación de fluidos y lubricantes del fabricante de los motores.
2. Reducción de periodo de cambio de filtros de lubricante de 700 a 250 horas de operación como se establece en el documento de especificación de fluidos y lubricantes del fabricante de los motores.

3. Procedimiento de inspección de filtros de lubricante mediante corte a fin de identificar partículas metálicas.
4. Establecer nuevo programa de análisis de aceites usado, cambiando periodos de monitoreo inicialmente cada 250 horas de operación del lubricante, realizando análisis paralelos en otro laboratorio distinto del proveedor de lubricantes.
5. Si los reportes de laboratorio muestran niveles de reserva alcalina por debajo de los requeridos para la operación, realizar cambio de la carga de lubricante y/o drenaje artificial para refrescamiento de las propiedades del mismo.

Si bien los costos operativos por mantenimiento aumentarían debido a la disminución del periodo de cambio del lubricante, aumentando el consumo de lubricantes, filtros de aceite; los costos de estas implementaciones serán menores ante la reparación total y/o parcial que representa la falla del motor sin mencionar el costo de oportunidad y/o penalidades en las que se incurriría por no poder cumplir con el contrato establecido de generación de energía.

El costo de reparación de un motor considerando un overhaul completo necesario para la recuperación del motor es de aproximadamente \$145.799 USD sin incluir cambio de block. Se debe considerar el impacto en la producción petrolera por falta de energía para la operación.

## **3.2 Plan de Contingencia Establecido para Prevención de Falla de Equipos.**

Es necesario el cumplimiento de las siguientes actividades para precautelar la integridad de las unidades operativas.

1. Realizar de manera inmediata la inspección y cambio de ser necesario de los cojinetes de biela en todas las unidades en operación. Iniciando esta inspección con las unidades operando en los campos de Shushufindi Sur y Sacha Central que fueron identificados como los más críticos.
2. Realizar el cambio de lubricante en periodos no mayores a 250 horas de operación.
3. Realizar la inspección de los filtros de lubricante, corte e inspección interna al cambio de los mismos y 1 filtro con las unidades actualmente en operación.
4. Realizar tareas de mantenimiento predictivo (análisis de vibraciones, análisis de ruidos, análisis de aceite usado, etc.) con la finalidad de prevenir posibles fallas.
5. Implementar sistema para medición de potencial eléctrico en el cigüeñal del motor (Grouding Device), que no debe ser mayor a 200 mV

6. Implementar nuevo programa de análisis de aceite en uso con análisis cruzados de entre laboratorios a fin de establecer fiabilidad de los resultados. La toma de muestras en las unidades operativas debe realizarse cada 250 horas de operación del lubricante, registrando debidamente la información de las muestras y volúmenes de relleno de lubricante realizado entre cada muestra tomada.
7. Revisar con el proveedor del lubricante el paquete de aditivos usados en su fabricación a fin de suministrar un lubricante que tenga la capacidad de proteger al motor en las condiciones de operación reportadas.
8. Realizar periódicamente (trimestralmente) análisis de combustible, asegurando que se encuentra dentro de los estándares requeridos para la operación. Utilizar dos o más laboratorios con muestras idénticas para establecer fiabilidad de resultados.

# CÁPITULO 4

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ante los resultados de los análisis y pruebas, expuestos en el presente informe se concluye que:

1. La causa raíz de la falla fue desgaste de los cojinetes debido a corrosión química, por estar sometido a un medio ácido; ocasionado por la pérdida de capacidad de neutralización de los ácidos del lubricante, expresada y/o medida como TBN, propiedad química de los lubricantes de motores diesel.
2. El programa de análisis de aceites en uso, implementado por el propietario de los motores en conjunto con el proveedor de lubricantes no representa una fuente fiable de información, ya que no identificó condiciones inadecuadas de operación del lubricante, generando las fallas descritas en el presente informe.
3. El lubricante en uso no ofrece adecuada protección a los motores contra la corrosión química en el periodo de cambio implementado, 700 horas, al momento de la falla.
4. El análisis de aceites en uso es una herramienta poderosa de mantenimiento predictivo y/o preventivo si se la implementa y monitorea de una manera adecuada y bajos estándares adecuados

tanto para la evaluación de los resultados como para la realización de los análisis en laboratorio.

Se recomienda:

1. Solicitar al fabricante de los lubricantes en uso, la revisión de la formulación de los mismos, tanto en la calidad de bases como aditivos utilizados a fin de ofrecer la protección adecuada a los motores para las condiciones de operación presentadas.
2. Implementar un adecuado programa de análisis de aceites con:
  - Adecuadas prácticas para la toma de muestras de aceite, registro y rotulación adecuada de muestras de aceite.
  - La medición de los parámetros adecuados del lubricante como: viscosidad, TBN, contenido de hollín, oxidación, metales de desgaste, elementos de aditivos y elementos contaminantes.
  - El control cruzado de resultados con muestras analizadas en dos o más laboratorios de terceros, aplicando principios de repetibilidad y reproducibilidad para los análisis de aceites en uso.
  - Uso de laboratorio de análisis de aceites que cumpla estándares ASTM para el análisis de aceites usado, no solo estándares de análisis de aceites nuevos.

- Periodo de monitoreo adecuado para las condiciones de operación al momento de la falla y para condiciones de operación posterior al control de la situación actual.
  - Seguimiento adecuado de resultados de análisis, con medidas correctivas en función a lo reportado en los mismos.
  - Implementación de límites condenatorios del fabricante, como guía de evaluación, ajustándolos a las condiciones de operación presentadas, conforme es sugerido por el fabricante de los motores.
3. Implementar programa de optimización de periodo de cambio basado en monitoreo de condición del lubricante con adecuado programa de análisis. Iniciar con 250 horas de periodo de cambio, con monitoreo de aceites a las 150 horas.
  4. Priorizar protección de los equipos en la optimización del periodo de cambio de lubricantes.
  5. Controlar condiciones de combustible mediante el análisis periódico de la calidad del mismo e implementando correctivos en función a la calidad del mismo como pueden ser variación en el periodo de cambio del lubricante y/o rellenos artificiales.
  6. Tener en cuenta la edad de los equipos, al optimizar el periodo de cambio, ya que puede requerirse reducir y/o mantener periodo de cambio base de 250 horas en estos equipos de mayor tiempo de vida.

7. Monitorear presiones de carter si como emisiones en el sistema de desfogue de gases de cárter.

# APÉNDICES

- APÉNDICE A: Bently Tribology Services Laboratory, batch # 7389, Summary Report Used Oil Analysis, April 18, 2008
- APÉNDICE B: Valvoline Servicio Post, laboratorio análisis de aceite usado # 7088, 7089, 7090, 7091, 7087; Abril 9, 2008
- APÉNDICE C: Departamento de Ingeniería Química Laboratorio de Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Reporte de análisis No. ALPEP 056-08, Julio 4, 2008
- APÉNDICE D: Registro de historial de reportes de análisis de aceite en uso, Justice Company, unidad 5262001560
- APÉNDICE E: Registro de historial de reportes de análisis de aceite en uso, Justice Company, unidad 5262001562
- APÉNDICE F: Registro de revisión de cojinetes de biela en motores, Justice Company, mayo 11, 2008

## **APÉNDICE A:**

Bently Tribology Services Laboratory, batch # 7389,

Summary Report Used Oil Analysis, April 18, 2008



**BTS West**  
1711 Orbit Way - Bldg 2  
Minden, NV 89423  
TEL: 775-783-4660  
FAX: 775-783-4651

**Cust Code**      **ASTRIVEN**  
**Attention Of**    Kepti Tinoco  
**Company**        Astriven C. Ltda

## ***ASTRIVEN - Batch #7389 - Summary Report***

### **Caution = 4**

<b>Unit ID</b>	<b>Dt Taken</b>	<b>Sample #</b>	<b>Observation(s)</b>
526001582	4/9/2008	4309	Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s uspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor. TBN (Total base number) is lower than it needs to be. Consider adding extra makeup oil now to boost the additives or Change oil at the next opportunity.
5262001549	4/9/2008	4310	Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s uspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor.
5262001563	4/9/2008	4308	Caution! High water content. Dewater, or drain and replace f luid. High water content promotes corrosion, wear and fluid breakdown.
5262001580	4/9/2008	4307	Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s uspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor. CAUTION! Elevated amounts of ferrous particles are present. Iron is a common wear element and could be coming from sour ces such as gears, bearings, shafts, housings. Filter lubri TBN (Total base number) is lower than it needs to be. Consider adding extra makeup oil now to boost the additives or Change oil at the next opportunity.

### **Normal = 1**

<b>Unit ID</b>	<b>Dt Taken</b>	<b>Sample #</b>	<b>Observation(s)</b>
GULF-SFS-15W40	4/15/2008	4306	Analysis indicates acceptable results prior to trending. The fluid is suitable for service.



**BTS West**  
 1711 Orbit Way - Bldg 2  
 Minden, NV 89423  
 TEL: 775-783-4660  
 FAX: 775-783-4651

<b>Cust Code</b>	ASTRIVEN
<b>Attention Of</b>	Kepti Tinoco
<b>Company</b>	Astriven C. Ltda
<b>End User</b>	JUSTICE COMPANY

<b>Date Taken</b>	<b>Date Received</b>	<b>Date Tested</b>	<b>Sump Cap</b>	<b>Unit ID</b>	<b>526001582</b>	<b>Caution</b>
4/9/2008	4/18/2008	4/18/2008		<b>Equipment</b>	GENERATOR	
<b>Common #</b>				<b>Sample Point</b>	GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40	
<b>Serial #</b>				<b>Lubricant</b>	EB	
<b>Make &amp; Model</b>				<b>Test Pkg</b>	Route	UNK

**Observations(s):** REC1 --- Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s suspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor. --- REC 2 ---TBN (Total base number) is lower than it needs to be. Consider adding extra makeup oil now to boost the additives or Change oil at the next opportunity.

**Sample Note:**

<b>Batch Number</b>	7389
<b>Sample Number</b>	4309
<b>Date Sampled</b>	04/09/08
<b>Time on Lube</b>	602
<b>Time on Unit</b>	19555

**FINE Spectrometric Results (ppm) ASTM D 6595  
Wear Metals**

Iron	22
Chromium	1
Lead	0
Copper	31 *
Tin	3
Aluminum	0
Nickel	2
Silver	3
Molybdenum	0
Titanium	0

**Additives/Contaminants**

Silicon	1
Boron	5
Sodium	10
Magnesium	58
Calcium	3401
Barium	0
Phosphorous	974
Zinc	1217
Vanadium	

**RFS COARSE Spectrometric Results (ppm)**

**Wear Metals**

Iron	
Chromium	
Lead	
Copper	
Tin	
Aluminum	
Nickel	
Silver	
Molybdenum	
Titanium	

**Contaminants**

Silicon	
Boron	
Sodium	



**BTS West**  
 1711 Orbit Way - Bldg 2  
 Minden, NV 89423  
 TEL: 775-783-4660  
 FAX: 775-783-4651

<b>Cust Code</b>	ASTRIVEN
<b>Attention Of</b>	Kepti Tinoco
<b>Company</b>	Astriven C. Ltda
<b>End User</b>	JUSTICE COMPANY

<b>Date Taken</b>	<b>Date Received</b>	<b>Date Tested</b>	<b>Sump Cap</b>	<b>Unit ID</b>	<b>526001582</b>	<b>Caution</b>
4/9/2008	4/18/2008	4/18/2008		<b>Equipment</b>	GENERATOR	
<b>Common #</b>				<b>Sample Point</b>	GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40	
<b>Serial #</b>				<b>Lubricant</b>	EB	
<b>Make &amp; Model</b>				<b>Test Pkg</b>	Route	UNK

**Observations(s):** REC1 --- Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s suspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor. --- REC 2 ---TBN (Total base number) is lower than it needs to be. Consider adding extra makeup oil now to boost the additives or Change oil at the next opportunity.

**Sample Note:**

<b>Batch Number</b>	7389
<b>Sample Number</b>	4309
<b>Date Sampled</b>	04/09/08
<b>Time on Lube</b>	602
<b>Time on Unit</b>	19555

**ASTM D 445 Viscosity Results (cSt)**

<b>@ 40 deg C</b>	
<b>@ 100 deg C</b>	11.50
<b>Viscosity Index</b>	

**FT-IR Results (Abs/.1mm or Percent)**

<b>Oxidation (Abs)</b>	0.09
<b>Sulfation (Abs)</b>	0.49
<b>Nitration (Abs)</b>	0.11
<b>Water(%)</b>	<0.05
<b>Fuel Dilution (%)</b>	<2.00
<b>Glycol( %)</b>	<0.05
<b>Soot (Abs)</b>	0.10
<b>Zinc Depl (Abs)</b>	-0.11

TAN ASTM D 664/974  
 TBN ASTM D 2896/4739  
 KFW ASTM D 6304/1533

**Titration Results**

<b>TAN (mgKOH/g)</b>	
<b>TBN (mgKOH/g)</b>	3.51 C
<b>KF Water (ppm)</b>	

**ISO 11218/4406 Particle Count Results ( m m(c))**

<b>&gt; 4</b>		
<b>&gt; 6</b>	per	
<b>&gt; 14</b>	100	
<b>&gt; 21</b>	ml	
<b>&gt; 38</b>		
<b>&gt; 70</b>		
<b>ISO &gt; 4</b>		
<b>ISO &gt; 6</b>	per	
<b>ISO &gt; 14</b>	1	
<b>ISO Code</b>	ml	
<b>SAE Code</b>		

**Extra/Special Test Results**




**BTS West**  
 1711 Orbit Way - Bldg 2  
 Minden, NV 89423  
 TEL: 775-783-4660  
 FAX: 775-783-4651

<b>Cust Code</b>	ASTRIVEN
<b>Attention Of</b>	Kepti Tinoco
<b>Company</b>	Astriven C. Ltda
<b>End User</b>	JUSTICE COMPANY

<b>Date Taken</b>	<b>Date Received</b>	<b>Date Tested</b>	<b>Sump Cap</b>	<b>Unit ID</b>	<b>5262001549</b>	<b>Caution</b>
4/9/2008	4/18/2008	4/18/2008		<b>Equipment</b>	GENERATOR	
<b>Common #</b>				<b>Sample Point</b>	GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40	
<b>Serial #</b>				<b>Lubricant</b>	EB	
<b>Make &amp; Model</b>				<b>Test Pkg</b>	Route	UNK

**Observations(s):** REC1 --- Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s uspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor.

**Sample Note:**

<b>Batch Number</b>	7389
<b>Sample Number</b>	4310
<b>Date Sampled</b>	04/09/08
<b>Time on Lube</b>	428
<b>Time on Unit</b>	19535

**FINE Spectrometric Results (ppm) ASTM D 6595  
Wear Metals**

Iron	20
Chromium	1
Lead	0
Copper	26 *
Tin	0
Aluminum	0
Nickel	1
Silver	0
Molybdenum	0
Titanium	0

**Additives/Contaminants**

Silicon	2
Boron	0
Sodium	15
Magnesium	47
Calcium	2925
Barium	0
Phosphorous	822
Zinc	1060
Vanadium	

**RFS COARSE Spectrometric Results (ppm)**

**Wear Metals**

Iron	
Chromium	
Lead	
Copper	
Tin	
Aluminum	
Nickel	
Silver	
Molybdenum	
Titanium	

**Contaminants**

Silicon	
Boron	
Sodium	



**BTS West**  
 1711 Orbit Way - Bldg 2  
 Minden, NV 89423  
 TEL: 775-783-4660  
 FAX: 775-783-4651

<b>Cust Code</b>	ASTRIVEN
<b>Attention Of</b>	Kepti Tinoco
<b>Company</b>	Astriven C. Ltda
<b>End User</b>	JUSTICE COMPANY

<b>Date Taken</b>	<b>Date Received</b>	<b>Date Tested</b>	<b>Sump Cap</b>	<b>Unit ID</b>	<b>5262001549</b>	<b>Caution</b>
4/9/2008	4/18/2008	4/18/2008		<b>Equipment</b>	GENERATOR	
<b>Common #</b>				<b>Sample Point</b>	GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40	
<b>Serial #</b>				<b>Lubricant</b>	EB	
<b>Make &amp; Model</b>				<b>Test Pkg</b>	EB	<b>Route</b> UNK

**Observations(s):** REC1 --- Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s uspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor.

**Sample Note:**

<b>Batch Number</b>	7389
<b>Sample Number</b>	4310
<b>Date Sampled</b>	04/09/08
<b>Time on Lube</b>	428
<b>Time on Unit</b>	19535

**ASTM D 445 Viscosity Results (cSt)**

<b>@ 40 deg C</b>	
<b>@ 100 deg C</b>	11.30
<b>Viscosity Index</b>	

**FT-IR Results (Abs/.1mm or Percent)**

<b>Oxidation (Abs)</b>	0.08
<b>Sulfation (Abs)</b>	0.39
<b>Nitration (Abs)</b>	0.10
<b>Water(%)</b>	<0.05
<b>Fuel Dilution (%)</b>	<2.00
<b>Glycol( %)</b>	<0.05
<b>Soot (Abs)</b>	0.09
<b>Zinc Depl (Abs)</b>	-0.09

TAN ASTM D 664/974  
 TBN ASTM D 2896/4739  
 KFW ASTM D 6304/1533

**Titration Results**

<b>TAN (mgKOH/g)</b>	
<b>TBN (mgKOH/g)</b>	4.78
<b>KF Water (ppm)</b>	

**ISO 11218/4406 Particle Count Results ( m m(c))**

<b>&gt; 4</b>		
<b>&gt; 6</b>	per	
<b>&gt; 14</b>	100	
<b>&gt; 21</b>	ml	
<b>&gt; 38</b>		
<b>&gt; 70</b>		
<b>ISO &gt; 4</b>		
<b>ISO &gt; 6</b>	per	
<b>ISO &gt; 14</b>	1	
<b>ISO Code</b>	ml	
<b>SAE Code</b>		

**Extra/Special Test Results**




**BTS West**  
 1711 Orbit Way - Bldg 2  
 Minden, NV 89423  
 TEL: 775-783-4660  
 FAX: 775-783-4651

<b>Cust Code</b>	ASTRIVEN
<b>Attention Of</b>	Kepti Tinoco
<b>Company</b>	Astriven C. Ltda
<b>End User</b>	JUSTICE COMPANY

<b>Date Taken</b>	<b>Date Received</b>	<b>Date Tested</b>	<b>Sump Cap</b>	<b>Unit ID</b>	<b>5262001563</b>	<b>Caution</b>
4/9/2008	4/18/2008	4/18/2008		<b>Equipment</b>	GENERATOR	
<b>Common #</b>				<b>Sample Point</b>	GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40	
<b>Serial #</b>				<b>Lubricant</b>	EB	
<b>Make &amp; Model</b>				<b>Test Pkg</b>		<b>Route</b> UNK

**Observations(s):** REC1 --- Caution! High water content. Dewater, or drain and replace f luid. High water content promotes corrosion, wear and fluid breakdown.

**Sample Note:**

<b>Batch Number</b>	7389
<b>Sample Number</b>	4308
<b>Date Sampled</b>	04/09/08
<b>Time on Lube</b>	1
<b>Time on Unit</b>	20262

**FINE Spectrometric Results (ppm) ASTM D 6595  
Wear Metals**

Iron	8
Chromium	0
Lead	17
Copper	22
Tin	0
Aluminum	0
Nickel	0
Silver	0
Molybdenum	0
Titanium	0

**Additives/Contaminants**

Silicon	5
Boron	1
Sodium	4
Magnesium	51
Calcium	3107
Barium	0
Phosphorous	975
Zinc	1113
Vanadium	

**RFS COARSE Spectrometric Results (ppm)**

**Wear Metals**

Iron	
Chromium	
Lead	
Copper	
Tin	
Aluminum	
Nickel	
Silver	
Molybdenum	
Titanium	

**Contaminants**

Silicon	
Boron	
Sodium	



**BTS West**  
 1711 Orbit Way - Bldg 2  
 Minden, NV 89423  
 TEL: 775-783-4660  
 FAX: 775-783-4651

<b>Cust Code</b>	ASTRIVEN
<b>Attention Of</b>	Kepti Tinoco
<b>Company</b>	Astriven C. Ltda
<b>End User</b>	JUSTICE COMPANY

<b>Date Taken</b>	<b>Date Received</b>	<b>Date Tested</b>	<b>Sump Cap</b>	<b>Unit ID</b>	<b>5262001563</b>	<b>Caution</b>
4/9/2008	4/18/2008	4/18/2008		<b>Equipment</b>	GENERATOR	
<b>Common #</b>				<b>Sample Point</b>	GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40	
<b>Serial #</b>				<b>Lubricant</b>	EB	
<b>Make &amp; Model</b>				<b>Test Pkg</b>	EB	<b>Route</b> UNK

**Observations(s):** REC1 --- Caution! High water content. Dewater, or drain and replace f fluid. High water content promotes corrosion, wear and fluid breakdown.

**Sample Note:**

<b>Batch Number</b>	7389
<b>Sample Number</b>	4308
<b>Date Sampled</b>	04/09/08
<b>Time on Lube</b>	1
<b>Time on Unit</b>	20262

**ASTM D 445 Viscosity Results (cSt)**

<b>@ 40 deg C</b>	
<b>@ 100 deg C</b>	13.50
<b>Viscosity Index</b>	

**FT-IR Results (Abs/.1mm or Percent)**

<b>Oxidation (Abs)</b>	0.04
<b>Sulfation (Abs)</b>	0.04
<b>Nitration (Abs)</b>	0.04
<b>Water(%)</b>	0.29 *
<b>Fuel Dilution (%)</b>	<2.00
<b>Glycol( %)</b>	<0.05
<b>Soot (Abs)</b>	0.00
<b>Zinc Depl (Abs)</b>	-0.01

TAN ASTM D 664/974  
 TBN ASTM D 2896/4739  
 KFW ASTM D 6304/1533

**Titration Results**

<b>TAN (mgKOH/g)</b>	
<b>TBN (mgKOH/g)</b>	11.56
<b>KF Water (ppm)</b>	

**ISO 11218/4406 Particle Count Results ( m m(c))**

<b>&gt; 4</b>		
<b>&gt; 6</b>	per	
<b>&gt; 14</b>	100	
<b>&gt; 21</b>	ml	
<b>&gt; 38</b>		
<b>&gt; 70</b>		
<b>ISO &gt; 4</b>		
<b>ISO &gt; 6</b>	per	
<b>ISO &gt; 14</b>	1	
<b>ISO Code</b>	ml	
<b>SAE Code</b>		

**Extra/Special Test Results**




**BTS West**  
 1711 Orbit Way - Bldg 2  
 Minden, NV 89423  
 TEL: 775-783-4660  
 FAX: 775-783-4651

<b>Cust Code</b>	ASTRIVEN
<b>Attention Of</b>	Kepti Tinoco
<b>Company</b>	Astriven C. Ltda
<b>End User</b>	JUSTICE COMPANY

<b>Date Taken</b>	<b>Date Received</b>	<b>Date Tested</b>	<b>Sump Cap</b>	<b>Unit ID</b>	<b>5262001580</b>	<b>Caution</b>
4/9/2008	4/18/2008	4/18/2008		<b>Equipment</b>	UGS-SACHA GENERATION	
<b>Common #</b>				<b>Sample Point</b>	GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40	
<b>Serial #</b>				<b>Lubricant</b>	EB	
<b>Make &amp; Model</b>				<b>Test Pkg</b>	EB	<b>Route</b> UNK

**Observations(s):** REC1 --- Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s suspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor. --- REC 2 ---CAUTION! Elevated amounts of ferrous particles are present. Iron is a common wear element and could be coming from sources such as gears, bearings, shafts, housings. Filter lubri --- REC 3 ---TBN (Total base number) is lower than it needs to be. Consider adding extra makeup oil now to boost the additives or Change oil at the next opportunity.

**Sample Note:**

<b>Batch Number</b>	7389
<b>Sample Number</b>	4307
<b>Date Sampled</b>	04/09/08
<b>Time on Lube</b>	474
<b>Time on Unit</b>	18999

**FINE Spectrometric Results (ppm) ASTM D 6595  
Wear Metals**

Iron	36 *
Chromium	1
Lead	0
Copper	64 C
Tin	0
Aluminum	0
Nickel	1
Silver	0
Molybdenum	0
Titanium	0

**Additives/Contaminants**

Silicon	7
Boron	0
Sodium	24
Magnesium	54
Calcium	3530
Barium	0
Phosphorous	1014
Zinc	1264
Vanadium	

**RFS COARSE Spectrometric Results (ppm)**

**Wear Metals**

Iron	
Chromium	
Lead	
Copper	
Tin	
Aluminum	
Nickel	
Silver	
Molybdenum	
Titanium	

**Contaminants**

Silicon	
Boron	
Sodium	



**BTS West**  
 1711 Orbit Way - Bldg 2  
 Minden, NV 89423  
 TEL: 775-783-4660  
 FAX: 775-783-4651

<b>Cust Code</b>	ASTRIVEN
<b>Attention Of</b>	Kepti Tinoco
<b>Company</b>	Astriven C. Ltda
<b>End User</b>	JUSTICE COMPANY

<b>Date Taken</b>	<b>Date Received</b>	<b>Date Tested</b>	<b>Sump Cap</b>	<b>Unit ID</b>	<b>5262001580</b>	<b>Caution</b>
4/9/2008	4/18/2008	4/18/2008		<b>Equipment</b>	UGS-SACHA GENERATION	
<b>Common #</b>				<b>Sample Point</b>	GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40	
<b>Serial #</b>				<b>Lubricant</b>	EB	
<b>Make &amp; Model</b>				<b>Test Pkg</b>	EB	<b>Route</b> UNK

**Observations(s):** REC1 --- Corrosion of copper, brass or bronze component of the unit s suspected. The copper debris will, in turn, accelerate fluid oxidation, increasing corrosion. Continue to monitor. --- REC 2 ---CAUTION! Elevated amounts of ferrous particles are present. Iron is a common wear element and could be coming from sour ces such as gears, bearings, shafts, housings. Filter lubri --- REC 3 ---TBN (Total base number) is lower than it needs to be. Consider adding extra makeup oil now to boost the additives or Change oil at the next opportunity.

**Sample Note:**

<b>Batch Number</b>	7389
<b>Sample Number</b>	4307
<b>Date Sampled</b>	04/09/08
<b>Time on Lube</b>	474
<b>Time on Unit</b>	18999

**ASTM D 445 Viscosity Results (cSt)**

<b>@ 40 deg C</b>	
<b>@ 100 deg C</b>	13.41
<b>Viscosity Index</b>	

**FT-IR Results (Abs/.1mm or Percent)**

<b>Oxidation (Abs)</b>	0.11
<b>Sulfation (Abs)</b>	0.47
<b>Nitration (Abs)</b>	0.15
<b>Water(%)</b>	0.50
<b>Fuel Dilution (%)</b>	<2.00
<b>Glycol( %)</b>	<0.05
<b>Soot (Abs)</b>	0.10
<b>Zinc Depl (Abs)</b>	-0.09

TAN ASTM D 664/974  
 TBN ASTM D 2896/4739  
 KFW ASTM D 6304/1533

**Titration Results**

<b>TAN (mgKOH/g)</b>	
<b>TBN (mgKOH/g)</b>	4.49
<b>KF Water (ppm)</b>	

**ISO 11218/4406 Particle Count Results ( m m(c))**

<b>&gt; 4</b>		
<b>&gt; 6</b>	per	
<b>&gt; 14</b>	100	
<b>&gt; 21</b>	ml	
<b>&gt; 38</b>		
<b>&gt; 70</b>		
<b>ISO &gt; 4</b>		
<b>ISO &gt; 6</b>	per	
<b>ISO &gt; 14</b>	1	
<b>ISO Code</b>	ml	
<b>SAE Code</b>		

**Extra/Special Test Results**




**BTS West**  
 1711 Orbit Way - Bldg 2  
 Minden, NV 89423  
 TEL: 775-783-4660  
 FAX: 775-783-4651

<b>Cust Code</b>	ASTRIVEN
<b>Attention Of</b>	Kepti Tinoco
<b>Company</b>	Astriven C. Ltda
<b>End User</b>	JUSTICE COMPANY

<b>Date Taken</b>	4/15/2008	<b>Date Received</b>	4/18/2008	<b>Date Tested</b>	4/18/2008	<b>Sump Cap</b>		<b>Unit ID</b>	<b>GULF-SFS-15W40</b>	<b>Normal</b>
<b>Common #</b>		<b>Equipment</b>		<b>Sample Point</b>	PAIL	<b>Lubricant</b>	GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40	<b>Test Pkg</b>	EB	<b>Route</b> UNK
<b>Serial #</b>		<b>Make &amp; Model</b>								

**Observations(s):** REC1 --- Analysis indicates acceptable results prior to trending. The fluid is suitable for service.

**Sample Note:**

<b>Batch Number</b>	7389
<b>Sample Number</b>	4306
<b>Date Sampled</b>	04/15/08
<b>Time on Lube</b>	
<b>Time on Unit</b>	

**FINE Spectrometric Results (ppm) ASTM D 6595  
Wear Metals**

Iron	1
Chromium	0
Lead	1
Copper	0
Tin	0
Aluminum	0
Nickel	0
Silver	1
Molybdenum	0
Titanium	0

**Additives/Contaminants**

Silicon	4
Boron	2
Sodium	2
Magnesium	54
Calcium	3119
Barium	0
Phosphorous	1004
Zinc	1103
Vanadium	

**RFS COARSE Spectrometric Results (ppm)**

**Wear Metals**

Iron	
Chromium	
Lead	
Copper	
Tin	
Aluminum	
Nickel	
Silver	
Molybdenum	
Titanium	

**Contaminants**

Silicon	
Boron	
Sodium	



**BTS West**  
 1711 Orbit Way - Bldg 2  
 Minden, NV 89423  
 TEL: 775-783-4660  
 FAX: 775-783-4651

<b>Cust Code</b>	ASTRIVEN
<b>Attention Of</b>	Kepti Tinoco
<b>Company</b>	Astriven C. Ltda
<b>End User</b>	JUSTICE COMPANY

<b>Date Taken</b>	4/15/2008	<b>Date Received</b>	4/18/2008	<b>Date Tested</b>	4/18/2008	<b>Sump Cap</b>		<b>Unit ID</b>	<b>GULF-SFS-15W40</b>	<b>Normal</b>
<b>Common #</b>		<b>Equipment</b>		<b>Sample Point</b>	PAIL	<b>Lubricant</b>	GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40	<b>Test Pkg</b>	EB	<b>Route</b> UNK
<b>Serial #</b>		<b>Make &amp; Model</b>								

**Observations(s):** REC1 --- Analysis indicates acceptable results prior to trending. The fluid is suitable for service.

**Sample Note:**

<b>Batch Number</b>	7389
<b>Sample Number</b>	4306
<b>Date Sampled</b>	04/15/08
<b>Time on Lube</b>	
<b>Time on Unit</b>	

**ASTM D 445 Viscosity Results (cSt)**

<b>@ 40 deg C</b>	
<b>@ 100 deg C</b>	14.57
<b>Viscosity Index</b>	

**FT-IR Results (Abs/.1mm or Percent)**

<b>Oxidation (Abs)</b>	0.01
<b>Sulfation (Abs)</b>	0.01
<b>Nitration (Abs)</b>	0.01
<b>Water(%)</b>	<0.05
<b>Fuel Dilution (%)</b>	<2.00
<b>Glycol( %)</b>	<0.05
<b>Soot (Abs)</b>	0.00
<b>Zinc Depl (Abs)</b>	0.00

TAN ASTM D 664/974  
 TBN ASTM D 2896/4739  
 KFW ASTM D 6304/1533

**Titration Results**

<b>TAN (mgKOH/g)</b>	
<b>TBN (mgKOH/g)</b>	11.36
<b>KF Water (ppm)</b>	

**ISO 11218/4406 Particle Count Results ( m m(c))**

<b>&gt; 4</b>		
<b>&gt; 6</b>	per	
<b>&gt; 14</b>	100	
<b>&gt; 21</b>	ml	
<b>&gt; 38</b>		
<b>&gt; 70</b>		
<b>ISO &gt; 4</b>		
<b>ISO &gt; 6</b>	per	
<b>ISO &gt; 14</b>	1	
<b>ISO Code</b>	ml	
<b>SAE Code</b>		

**Extra/Special Test Results**




**BTS West**  
 1711 Orbit Way - Bldg 2  
 Minden, NV 89423  
 TEL: 775-783-4660  
 FAX: 775-783-4651

<b>Cust Code</b>	<b>ASTRIVEN</b>
<b>Attention Of</b>	Kepti Tinoco
<b>Company</b>	Astriven C. Ltda
<b>End User</b>	<b>JUSTICE COMPANY</b>

# Understanding your Analysis Report

## Comprehensive Condition Testing

This report contains a sequence of tests designed to evaluate the machine for wear condition, lubricant condition and contamination condition. The choice of tests is determined by the laboratory with consideration of the machine being tested, and/or by consultation with the primary contact.

## Report Format

Client and machine information is displayed at the top of each page of the report, followed by overall observations and notes by the laboratory analyst reviewing the data. The analyst defines the overall status; Normal, Caution or Alert. Each sample is given a unique number and tests are oriented so that the report reads left to right, most recent sample to oldest. The first column contains caution levels (if available for this machine), followed by the current sample, previous results (if available), and the reference oil data for the lubricant (if provided). Individual test parameters are flagged when limits or trends are considered above normal. The key to these alarms are as follows:

Code	Color	Description
	GREEN	Normal. All parameters are within normal ranges.
*	GREY	Marginal. This result is not expected for this fluid or machine. The level is not of the concern to affect machine performance, but needs to be monitored.
C	YELLOW	Caution. The result is above normal. Consider acting on the problem before machine health is adversely affected.
A	RED	Alert. Result is abnormal. Inspect or work on machine immediately to prevent breakdown.
T	PURPLE	Trend. If a result is trending abnormally, this alarm flag is triggered.
L	BLUE	Low. The result is lower than expected, or alarm

## Frequently Used Tests

**Spectrometric Analysis:** Technique for detecting and quantifying metallic elements in a used oil resulting from wear, contamination or additives. The oil sample is energized to make each element emit or absorb a quantifiable amount of energy, which indicates the element's concentration in the oil. These values are classified as "fine" readings on your report, and reflect the concentration of all dissolved metals (from additive packages) and particulates up to 2 microns in size.

**Rotrode Filter Spectroscopy (RFS):** Spectrometric Technique for detecting and quantifying large or coarse wear metals and contaminants in a used oil sample. "Coarse" particles include all particulates above 1 micron in size but excludes all additives. "Coarse" particles are especially important since these particles are the first indicators of abnormal wear situations. This test is a specialty of BTS and both fine and coarse tests together are offered as the DOUBLECHECK technique.

**Ferrogaphy:** A technique which separates magnetic wear particles from the oil and deposits them on a glass slide known as a ferrogram. Microscopic examination permits characterization of the wear mode and probable sources of wear in the machine.

**Viscosity:** The resistance of a fluid to flow. Viscosity is the most important lubricant physical property. Lubricants must have suitable flow characteristics to insure that an adequate supply reaches lubricated parts at different operating temperatures. BTS compares this result to the nominal oil value of the lubricant provided.

**Total Acid Number:** A titration method designed to indicate the relative acidity in a lubricant. The acid number is used as a guide to follow the oxidative degeneration of an oil in-service. An abrupt rise in TAN would be indicative of abnormal operating conditions (e.g. overheating) that require investigation.

**Total Base Number:** The converse of the TAN, this titration is used to determine the reserve alkalinity of a lubricant. The TBN is generally accepted as an indicator of the ability of the oil to neutralize harmful acidic byproducts of engine combustion.

**Infrared Analysis (FT-IR):** Spectrometric technique for detecting organic contaminants, water and oil degradation products in an oil sample. During a lubricant's service life, oxidation products accumulate, causing the oil to become degraded, and in most instances, slightly acidic. If oxidation becomes severe, the lubricant will corrode the equipment's critical surfaces. The greater the "oxidation number", the more oxidation is present. Similarly, the "nitration number" reflects the level of nitrogen compounds in the oil resulting from nitrogen fixation (common in natural gas fueled engines). It can also indicate thermal degradation due to ESD (electrostatic discharge) in turbine and hydraulic systems. Conditions such as varnishing, sludge deposits, sticky rings, lacquering and filter plugging occur in systems with oxidation and/or nitration problems. Infrared spectroscopy also indicates contamination due to free water, glycol antifreeze, soot deposits and fuel dilution.

**Water:** Usually not desirable in oil, water can be detected visually if gross contamination is present (cloudy appearance). Water contamination should not exceed 0.25% for most equipment, and not more than 100 ppm for turbine lube and control systems. The Karl Fischer method is used for moisture contamination down to levels of 10 ppm (.001%). Excessive water in a system destroys a lubricant's ability to separate opposing moving parts, allowing severe wear to occur with resulting high frictional heat.

**Particle Count:** A method used to count and classify particulate in a fluid according to accepted size ranges, usually to ISO 4406. High counts lead to filter plugging, servo valve jamming, and hydraulic piston failure. The test is a good reflector of filter efficiency. Turbine and hydraulic systems ('clean systems') typically should not exceed ISO 18/16/12 in most cases, although some applications require more stringent limits.

F-212 Rev 1

Bently Tribology Services' fluid analysis is provided solely as an advisory function. No guarantee is expressed or implied.



1711 Orbit Way, Bldg 2, Minden, NV 89423  
 Tel: 775.783.4660 Fax: 775.783.4651

**ASTRIVEN** Sample Date \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ EB

**Unit ID:** GULF-SFS-15W40

**End User:** JUSTICE COMPANY

**Make/Model:**

**Equipment**

**Sample Point** PAIL

**Lubricant:** GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40

**Hours on Lube** **Hours on Unit**



1711 Orbit Way, Bldg 2, Minden, NV 89423  
 Tel: 775.783.4660 Fax: 775.783.4651

**ASTRIVEN** Sample Date \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ EB

**Unit ID:** 5262001563

**End User:** JUSTICE COMPANY

**Make/Model:**

**Equipment**

**Sample Point** GENERATOR

**Lubricant:** GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40

**Hours on Lube** **Hours on Unit**



1711 Orbit Way, Bldg 2, Minden, NV 89423  
 Tel: 775.783.4660 Fax: 775.783.4651

**ASTRIVEN** Sample Date \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ EB

**Unit ID:** 5262001549

**End User:** JUSTICE COMPANY

**Make/Model:**

**Equipment**

**Sample Point** GENERATOR

**Lubricant:** GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40

**Hours on Lube** \_\_\_\_\_ **Hours on Unit** \_\_\_\_\_



1711 Orbit Way, Bldg 2, Minden, NV 89423  
 Tel: 775.783.4660 Fax: 775.783.4651

**ASTRIVEN** Sample Date \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ EB

**Unit ID:** 5262001580

**End User:** JUSTICE COMPANY

**Make/Model:**

**Equipment**

**Sample Point** UGS-SACHA GENERATION

**Lubricant:** GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40

**Hours on Lube** **Hours on Unit**



1711 Orbit Way, Bldg 2, Minden, NV 89423  
 Tel: 775.783.4660 Fax: 775.783.4651

**ASTRIVEN** Sample Date \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ EB

**Unit ID:** 526001582

**End User:** JUSTICE COMPANY

**Make/Model:**

**Equipment**

**Sample Point** GENERATOR

**Lubricant:** GULF SUPER FLEET SUPREME 15W40

**Hours on Lube** \_\_\_\_\_ **Hours on Unit** \_\_\_\_\_

## **APÉNDICE B:**

Valvoline Servicio Post, laboratorio análisis de aceite usado #

7088, 7089, 7090, 7091, 7087; Abril 9, 2008



## SERVICIO POST VALVOLINE

### REPORTE DE ANÁLISIS DE ACEITE USADO

NO. LAB	7088
CLIENTE	JUSTICE
NO. EQUIPO	SACHA CENTRAL UG5
MARCA	MTU
MODELO	12V4000 G81
SERIE	5262001580
HOROMETRO	18999
HORAS DEL ACEITE	474
COMPARTIMENTO	MOTOR
FECHA MUESTRA	09/04/08
TIPO ACEITE	SAE 15W40

RESULTADOS		
	RESULTADO	LÍMITE CONDENATORIO
AGUA	POSITIVO	POSITIVO
COMBUSTIBLE	NEGATIVO	POSITIVO
VISCOSIDAD A 100 CENT	12.78	13.5 - 16.3
TBN	0	4
HOLLÍN	9%	100%
OXIDACIÓN	17%	100%
SULFATACION	77%	100%
Metales de Desgaste	PPM	PPM
COBRE	46	25
HIERRO	26	80
CROMO	0	15
PLOMO	13	25

### COMENTARIOS

SE ENCUENTRA PRESENCIA DE AGUA EN EL ACEITE. COBRE SE ENCUENTRA ELEVADO. INVESTIGAR CONTAMINACIÓN CON AGUA. TOME OTRA MUESTRA PARA COMPARAR RESULTADOS. VISCOSIDAD BAJA, TBN ES 0 ( CERO) ACEITE EN MAL ESTADO

Ing. Luis Encalada P.  
Gerente Técnico





**SERVICIO POST VALVOLINE**

**REPORTE DE ANÁLISIS DE ACEITE USADO**

NO. LAB	7089
CLIENTE	JUSTICE
NO. EQUIPO	SHUSHUFINDI SUR UG3
MARCA	MTU
MODELO	12V4000 G81
SERIE	5262001563
HOROMETRO	20262
HORAS DEL ACEITE	1
COMPARTIMENTO	MOTOR
FECHA MUESTRA	09/04/08
TIPO ACEITE	SAE 15W40

RESULTADOS		
	RESULTADO	LÍMITE CONDENATORIO
AGUA	NEGATIVO	POSITIVO
COMBUSTIBLE	NEGATIVO	POSITIVO
VISCOSIDAD A 100 CENT	14.39	13.5 - 16.3
TBN	9.74	4
HOLLÍN	0%	100%
OXIDACIÓN	0%	100%
SULFATACION	13%	100%
Metales de Desgaste	PPM	PPM
COBRE	14	25
HIERRO	6	80
CROMO	0	15
PLOMO	7	25

**COMENTARIOS**

NO SE ENCUENTRA PRESENCIA DE AGUA NI DE COMBUSTIBLE EN EL ACEITE.  
VALORES DE DESGASTE DE METALES DENTRO DEL RANGO NORMAL. CONTINUE  
MUESTREANDO. VISCOSIDAD Y TBN NORMALES

Ing. Luis Encalada P.  
Gerente Técnico





**SERVICIO POST VALVOLINE**

**REPORTE DE ANÁLISIS DE ACEITE USADO**

NO. LAB	7090
CLIENTE	JUSTICE
NO. EQUIPO	SACHA UG 2
MARCA	MTU
MODELO	12V4000 G81
SERIE	5262001550
HOROMETRO	19326
HORAS DEL ACEITE	600
COMPARTIMENTO	MOTOR
FECHA MUESTRA	27/03/08
TIPO ACEITE	SAE 15W40

RESULTADOS		
	RESULTADO	LÍMITE CONDENATORIO
AGUA	NEGATIVO	POSITIVO
COMBUSTIBLE	NEGATIVO	POSITIVO
VISCOSIDAD A 100 CENT	15.08	13.5 - 16.3
<b>TBN</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
HOLLÍN	7%	100%
OXIDACIÓN	20%	100%
SULFATACION	83%	100%
Metales de Desgaste	PPM	PPM
<b>COBRE</b>	<b>38</b>	<b>25</b>
HIERRO	19	80
CROMO	1	15
PLOMO	0	25

**COMENTARIOS**

NO SE ENCUENTRA PRESENCIA DE AGUA NI DE COMBUSTIBLE EN EL ACEITE.  
 COBRE SE ENCUENTRA ELEVADO. TOME OTRA MUESTRA PARA COMPARAR  
 RESULTADOS. TBN ES 0 ( CERO )

Ing. Luis Encalada P.  
 Gerente Técnico





## SERVICIO POST VALVOLINE

### REPORTE DE ANÁLISIS DE ACEITE USADO

NO. LAB	7091
CLIENTE	JUSTICE
NO. EQUIPO	CULEBRA UG1
MARCA	MTU
MODELO	12V4000 G81
SERIE	5262001893
HOROMETRO	1143
HORAS DEL ACEITE	481
COMPARTIMENTO	MOTOR
FECHA MUESTRA	03/04/08
TIPO ACEITE	SAE 15W40

RESULTADOS		
	RESULTADO	LÍMITE CONDENATORIO
AGUA	NEGATIVO	POSITIVO
COMBUSTIBLE	NEGATIVO	POSITIVO
VISCOSIDAD A 100 CENT	15.14	13.5 - 16.3
TBN	6.63	4
HOLLÍN	5%	100%
OXIDACIÓN	17%	100%
SULFATACION	50%	100%
Metales de Desgaste	PPM	PPM
COBRE	6	25
HIERRO	23	80
CROMO	0	15
PLOMO	0	25

### COMENTARIOS

NO SE ENCUENTRA PRESENCIA DE AGUA NI DE COMBUSTIBLE EN EL ACEITE. LOS VALORES DE DESGASTE DE METALES SE ENCUENTRAN DENTRO DEL RANGO NORMAL. VISCOSIDAD NORMAL, TBN DENTRO DEL LIMITE

Ing. Luis Encalada P.  
Gerente Técnico





**SERVICIO POST VALVOLINE**

**REPORTE DE ANÁLISIS DE ACEITE USADO**

NO. LAB	7087
CLIENTE	JUSTICE
NO. EQUIPO	
MARCA	ACEITE VUEVO
MODELO	
SERIE	
HOROMETRO	
HORAS DEL ACEITE	
COMPARTIMENTO	
FECHA MUESTRA	03/04/08
TIPO ACEITE	SAE 15W40

RESULTADOS		
	RESULTADO	LÍMITE CONDENATORIO
AGUA	NEGATIVO	POSITIVO
COMBUSTIBLE		POSITIVO
VISCOSIDAD A 100 CENT	14.65	13.5 - 16.3
TBN	10.45	4
HOLLÍN	0	100%
OXIDACIÓN	0	100%
SULFATACION	0	100%
<b>Metales de Desgaste</b>		<b>PPM</b>
COBRE		25
HIERRO		80
CROMO		15
PLOMO		25

**COMENTARIOS**

NO SE ENCUENTRA PRESENCIA DE AGUA EN EL ACEITE. LOS VALORES DE VISCOSIDAD Y TBN NORMALES

Ing. Luis Encalada P.  
Gerente Técnico



## **APÉNDICE C:**

Departamento de Ingeniería Química Laboratorio de  
Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Reporte de  
análisis No. ALPEP 056-08, Julio 4, 2008

042392049  
392250

180



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R."

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

LABORATORIO DE PETRÓLEOS

## REPORTE DE ANÁLISIS No. ALPEP 056-08

Fecha de recepción: 2 de Julio de 2008  
Muestras: Una muestra de diesel  
Análisis: Caracterización de una muestra  
Solicitado por: Ing. Lady Manzur  
Taller División Motores  
Fecha de entrega: 4 de julio de 2008

### INFORMACIÓN DE LA MUESTRA:

Envase	Plásticos
Capacidad	1000 ml
Identificación	N/A
Código del Laboratorio	M1

### RESULTADOS:

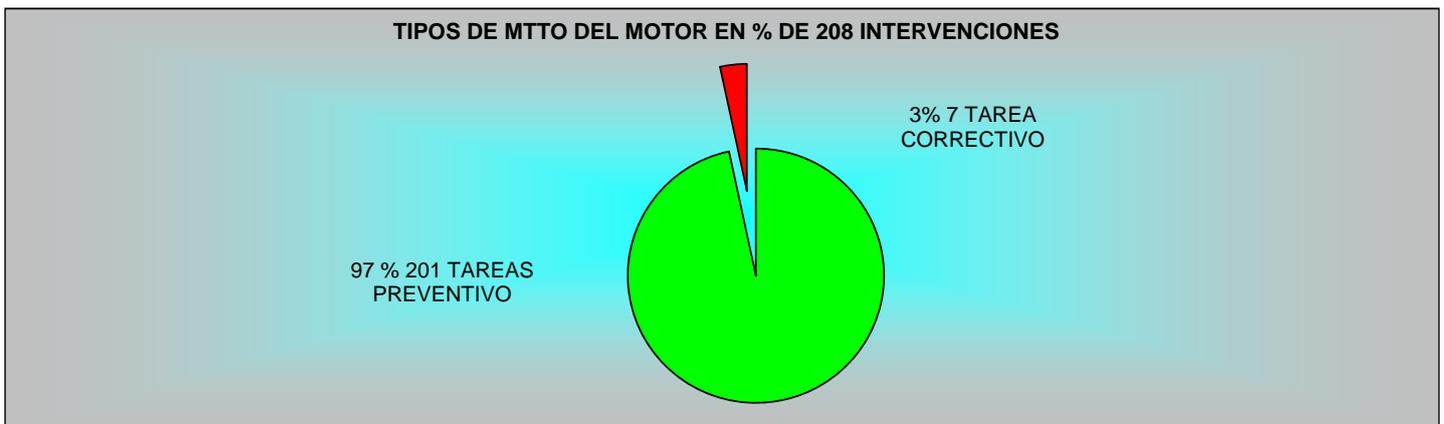
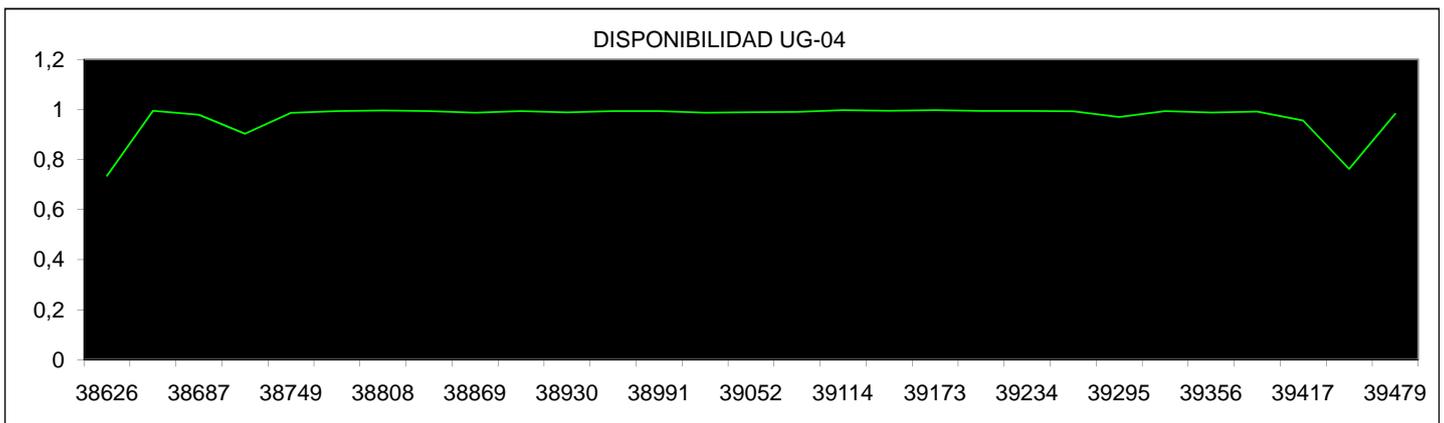
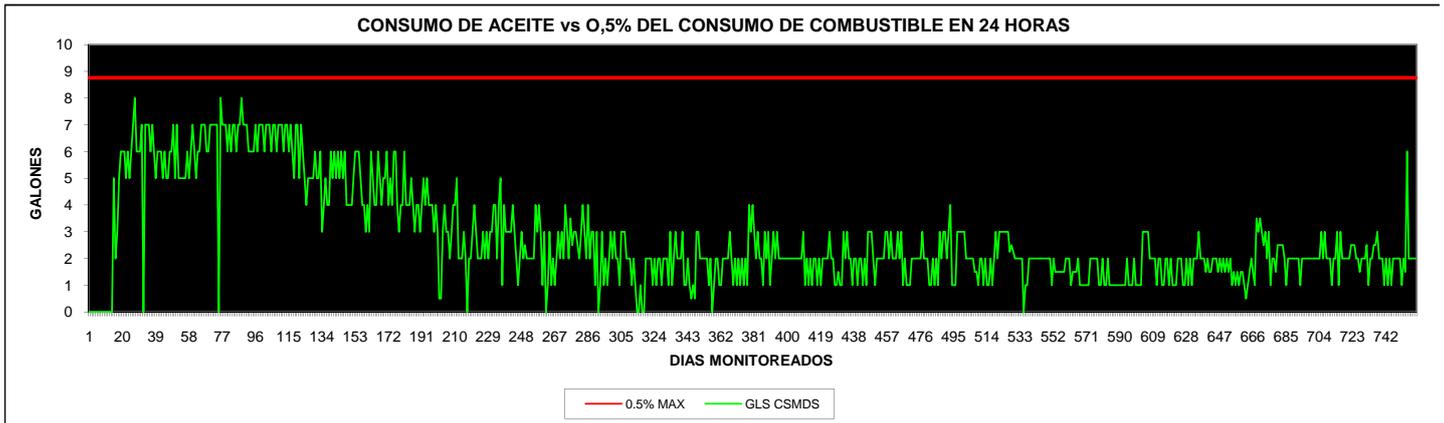
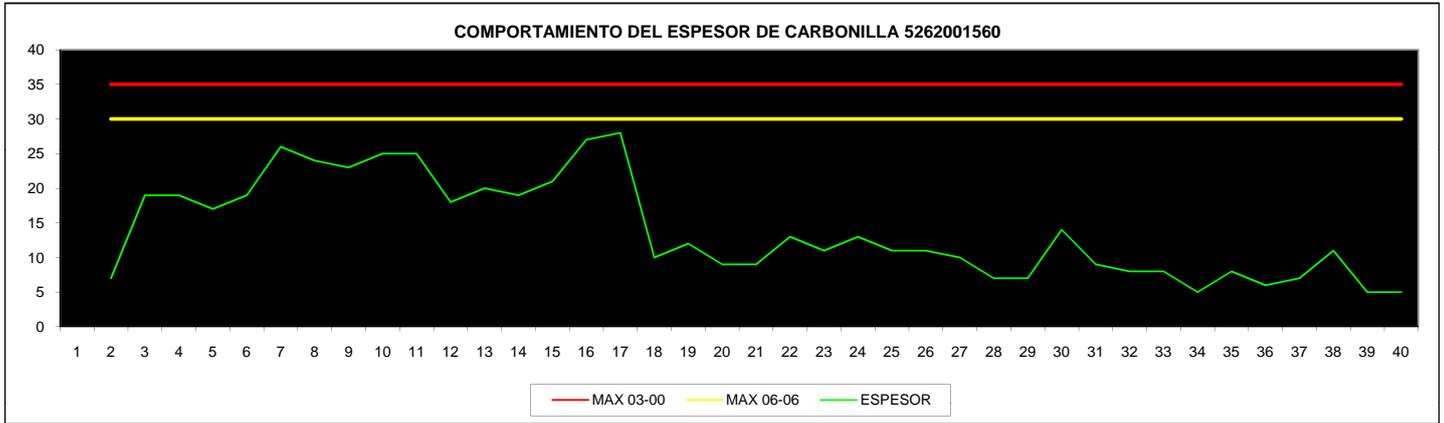
ENSAYO	NORMA	VALOR TEORICO	VALOR DETERMINADO
Punto de inflamación (°C)	INEN 1047	51 Mín	86.0
Contenido de azufre (%p)	INEN 1490	0.7 Máx	0.437
Corrosión a la lámina de cobre	INEN 927	No. 3 Máx	1 B
Índice de celano calculado	INEN 1495	45 Mín	49.5
Ensayo de destilación : Temperatura del 90% (°C)	INEN 926	360 Máx	331
Residuo de Carbón Conradson sobre el 10% de residuo (%)	INEN 1491	0.15 Máx	0.014
Cenizas (%p)	INEN 1492	0.01 Máx	0.00
Viscosidad cinemática a 37.8 °C (cSt)	INEN 1981	2.5 a 6.0	3.67
Agua y sedimentos (%V)	INEN 1494	0.05 Máx	<0.05

Ing. Miguel Parra  
JEFE DEL LABORATORIO

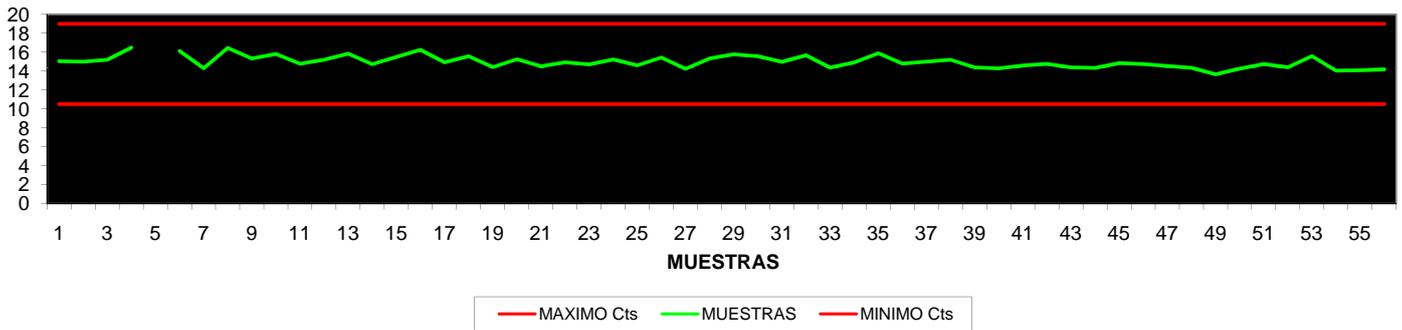
## **APÉNDICE D:**

Registro de historial de reportes de análisis de aceite en uso,

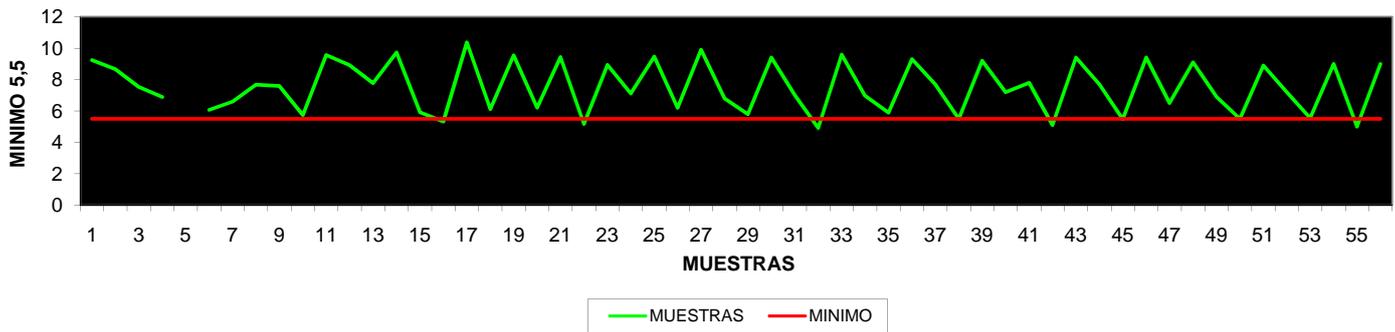
Justice Company, unidad 5262001560



### COMPORTAMIENTO DE VISCOSIDAD



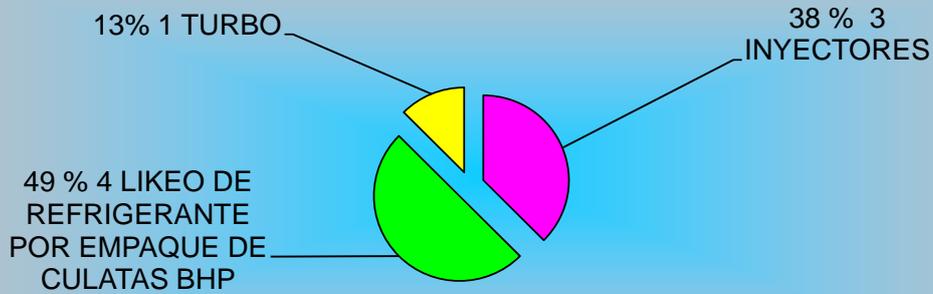
### COMPORTAMIENTO DEL TBN



### COMPORTAMIENTO DEL SILICE



### FALLAS DE COMPONENTES DEL MOTOR EN %



# Gulf Oil International

## Lubricantes

### Servicio Técnico Reporte de Progreso

Empresa: JUSTICE (ShushufindiSur)  
Atención: Ing. Carlos Torres

Generador: 4  
Parte: Motor  
Lubricante Utilizado: Texaco Ursa Premium TDX 15W40 (Muestra 1) / Gulf Fleet Supreme 15W40 (Resto)

Ensayo	Límites de Servicio	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8
Fecha de muestreo		Oct./17/2005	Oct. 28/2005	Nov. 9/2005	Nov. 24/2005	NP	Dic. 14/2005	Ene 6 2006	Feb. 1/2006
Tiempo de servicio del aceite (hrs)		50	169	177	502		508	517	508
Tiempo de servicio del equipo (hrs)		50	219	477	802	NP	1.336	1855	2383
Metales de desgaste (ppm)									
Hierro	Máximo 30 ppm	7	5	6	15		12	9	15
Aluminio	Máximo 10 ppm	1	4	2	2		6	1	9
Plomo	Máximo 20 ppm	1	1	1	1		4	1	1
Cobre	Máximo 20 ppm	9	10	3	85	11	137	71	76
Silicio	Máximo 15 ppm	1	3	7	3		5	4	13
Viscosidad @ 100 -C (cst)	Entre 10.5 y 19	15,05	15,01	15,21	16,49		16,14	14,32	16,46
TBN	Mínimo 5,5	9,24	8,66	7,53	6,89		6,07	6.666	7,68

AGUA (%)

MAXIMO Cts	19	19	19	19	19	19	19	19	19
MUESTRAS	15,05	15,01	15,21	16,49		16,14	14,32	16,46	
MINIMO Cts	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
MUESTRAS	9,24	8,66	7,53	6,89		6,07	7	7,68	
MINIMO	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
MAXIMO PPM	15	15	15	15	15	15	15	15	15
MUESTRAS	1	3	7	3		5	4	13	

Muestra 9	Muestra 10	Muestra 11	Muestra 12	Muestra 13	Muestra 14	Muestra 15	Muestra 16	Muestra 17	Muestra 18	Muestra 19	Muestra 20
Feb. 11/2006	Feb. 25/2006	Feb. 25/2006	Marzo 11/2006	Marzo 21/2006	Marzo 21/2006	Mayo 19/2006	Mayo 6/2006	Mayo 6/2006	Junio 20/2006	Junio 20/2006	Julio 11/2006
250	528	1	257	500	1	309	528	1	504	2	502
2633	2911	2912	3168	3411	3412	4743	4440	4441	5477	5479	5979
8	17	4	7	11	2	12	14	5	13	4	14
12	6	3	7	4	7	0	0	0	1	1	7
1	8	2	1	3	1	0	0	0	2	3	3
14	58	18	9	33	5	54	72	18	144	16	60
8	1	6	10	4	8	7	7	8	0	11	7
15,35	15,82	14,79	15,2	15,85	14,74	15,49	16,26	14,94	15,58	14,43	15,26
7,59	5,74	9,57	8,92	7,78	9,73	5,92	5,33	10,37	6,12	9,55	6,21

19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
15,35	15,82	14,79	15,2	15,85	14,74	15,49	16,26	14,94	15,58	14,43	15,26
10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5

7,59	5,74	9,57	8,92	7,78	9,73	5,92	5,33	10,37	6,12	9,55	6,21
5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5

15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
8	1	6	10	4	8	7	7	8	0	11	7

Muestra 21	Muestra 22	Muestra 23	Muestra 24	Muestra 25	Muestra 26	Muestra 27	Muestra 28	Muestra 29	Muestra 30	Muestra 31	Muestra 32
Julio 11/2006	Agosto 2/2006	Agosto 2/2006	Agosto 23/2006	Agosto 24/2006	Sept. 15/2006	Sept. 15/2006	Sept. 29/2006	Oct. 11/2006	Oct. 11/2006	Oct. 25/2006	Nov. 5/2006
2	527	1	501	1	505	3	336	620	1	339	602
5981	6506	6507	7007	7008	7512	7515	7848	8132	8133	8471	8734
7	12	3	8	3	9	3	7	9	3	9	12
6	8	8	6	6	4	2	1	2	1	2	2
2	1	2	2	1	2	1	0	0	1	1	1
15	75	11	55	12	79	18	29	177	22	29	144
8	9	9	3	4	3	3	0	0	0	0	0
14,52	14,93	14,71	15,24	14,62	15,45	14,24	15,34	15,78	15,57	14,99	15,68
9,43	5,17	8,94	7,12	9,47	6,2	9,9	6,8	5,79	9,4	7	4,92
0,23											
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
14,52	14,93	14,71	15,24	14,62	15,45	14,24	15,34	15,78	15,57	14,99	15,68
10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
9,43	5,17	8,94	7,12	9,47	6,2	9,9	6,8	5,79	9,4	7	4,92
5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
8	9	9	3	4	3	3	0	0	0	0	0

<b>Muestra 33</b>	<b>Muestra 34</b>	<b>Muestra 35</b>	<b>Muestra 36</b>	<b>Muestra 37</b>	<b>Muestra 38</b>	<b>Muestra 39</b>	<b>Muestra 40</b>	<b>Muestra 41</b>	<b>Muestra 42</b>	<b>Muestra 43</b>	<b>Muestra 44</b>
Nov. 5/2006	Dic. 23/2006	Ene. 8/2007	Ene. 8/2007	Ene. 23/2007	Feb. 9/2007	Feb. 9/2007	Feb. 27/2007	Mayo 7/07	Mayo 25/07	Mayo 25/07	Junio 13/07
1	416	791	1	360	758	2	375	355	753	2	362
8735	9773	10146	10147	10506	10905	10907	11285	12772	13170	13172	13532
4	9	13	3	7	12	4	8	11	18	4	10
1	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2
1	2	2	0	1	1	0	0	1	1	0	1
30	52	150	17	19	93	15	17	34	107	21	35
0	0	0	0	0	2	1	0	1	2	1	2
14,38	14,92	15,9	14,8	15	15,2	14,4	14,3	14,6	14,76	14,4	14,34
9,6	6,97	5,9	9,3	7,7	5,5	9,2	7,2	7,8	5,1	9,4	7,7

19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
14,38	14,92	15,9	14,8	15	15,2	14,4	14,3	14,6	14,76	14,4	14,34
10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5

9,6	6,97	5,9	9,3	7,7	5,5	9,2	7,2	7,8	5,1	9,4	7,7
5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5

15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
0	0	0	0	0	2	1	0	1	2	1	2

<b>Muestra 45</b>	<b>Muestra 46</b>	<b>Muestra 47</b>	<b>Muestra 48</b>	<b>Muestra 49</b>	<b>Muestra 50</b>	<b>Muestra 51</b>	<b>Muestra 52</b>	<b>Muestra 53</b>	<b>Muestra 54</b>	<b>Muestra 55</b>	<b>Muestra 56</b>
Junio 26/07	Junio 26/07	Julio 22/2007	Julio 22/2007	Agosto 8/2007	Agosto 24/2007	Agosto 2/2007	Sept.9/2007	Sept.25/2007	Sept.25/2007	Nov. 29/2007	Nov. 29/2007
693	1	672	1	402	772	1	370	743	1	747	2
13863	13864	14535	14536	14937	15307	15308	15677	16050	16051	17564	17566
16	5	18	4	13	18	4	14	22	4	23	4
2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1
1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
90	12	89	14	60	80	13	39	94	14	65	9
1	1	1	1	1	0	0	2	2	2	2	1
14,85	14,75	14,54	14,34	13,67	14,26	14,75	14,41	15,6	14,05	14,1	14,18
5,48	9,4	6,51	9,1	6,9	5,5	8,9	7,2	5,55	9	5	9

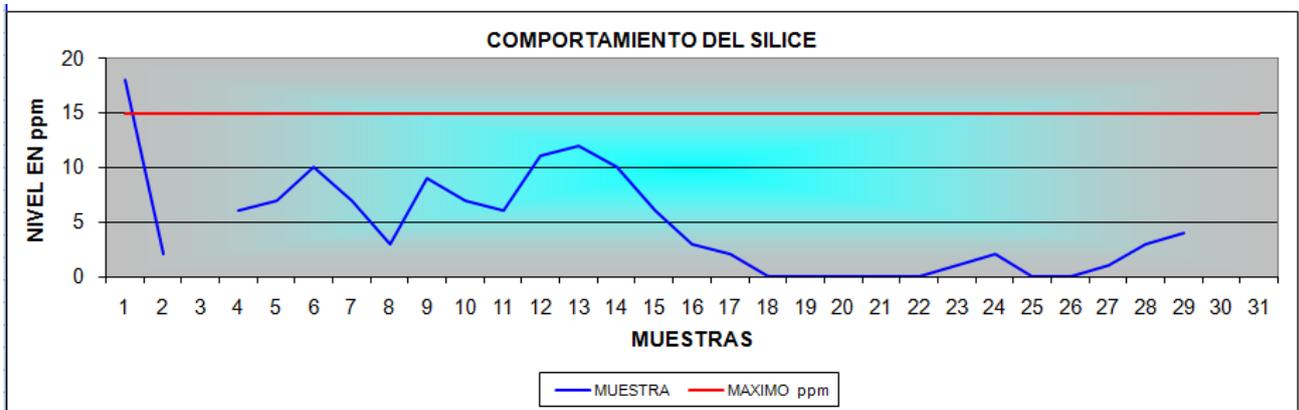
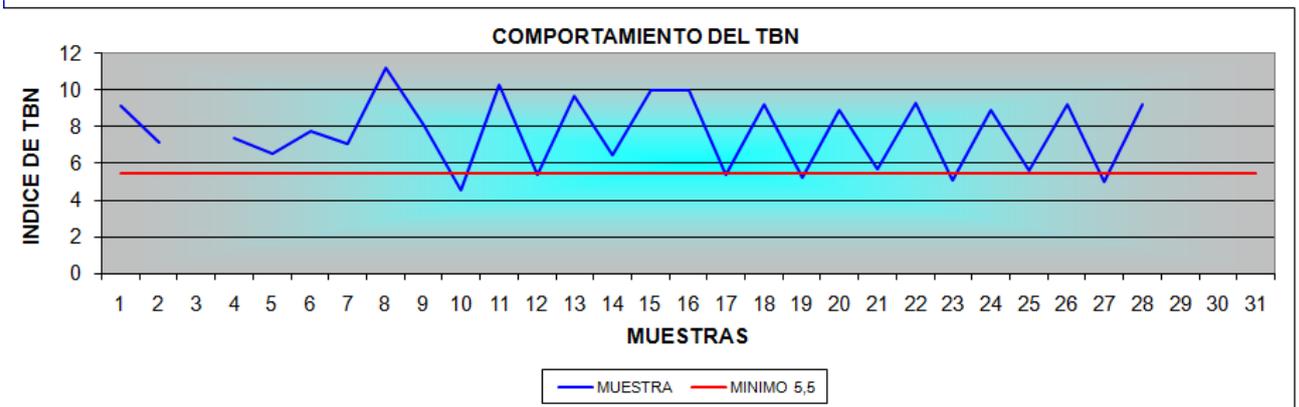
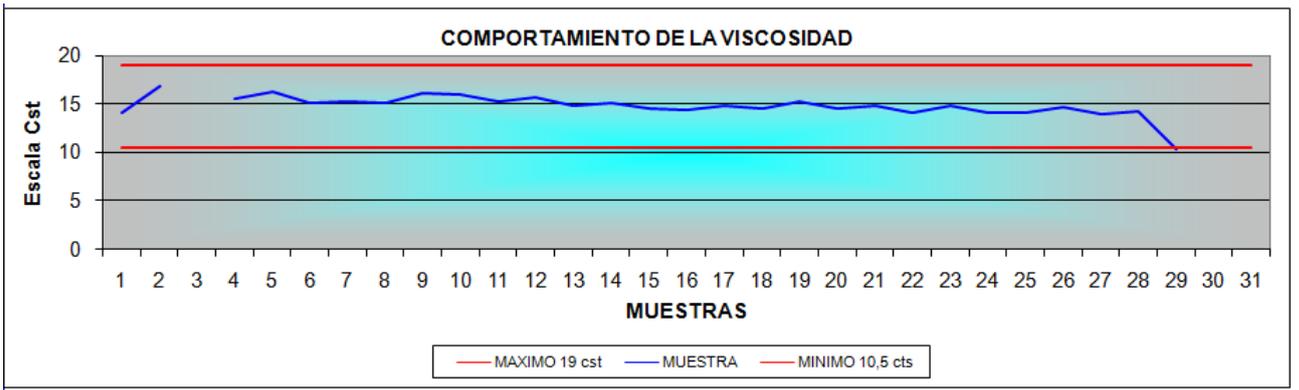
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
14,85	14,75	14,54	14,34	13,67	14,26	14,75	14,41	15,6	14,05	14,1	14,18
10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5

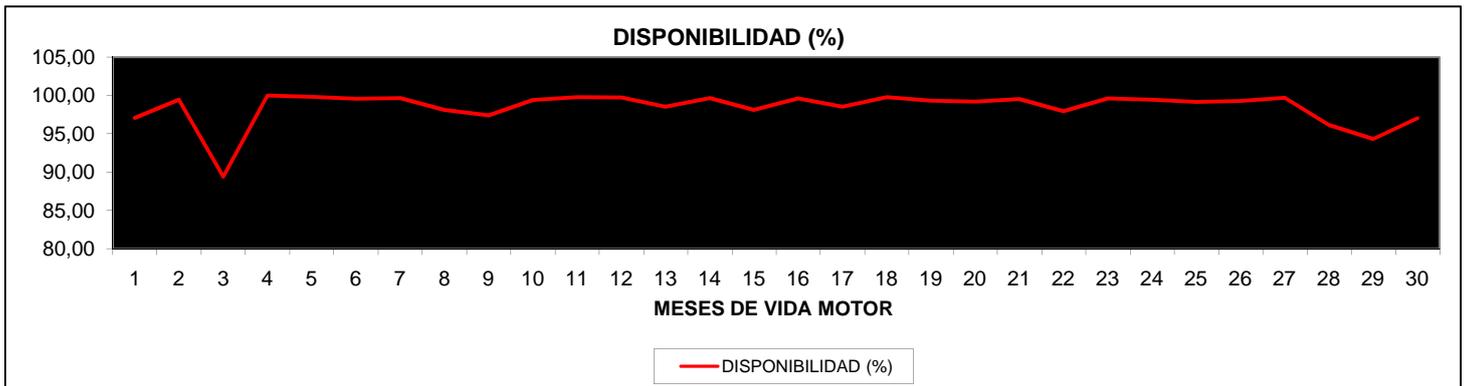
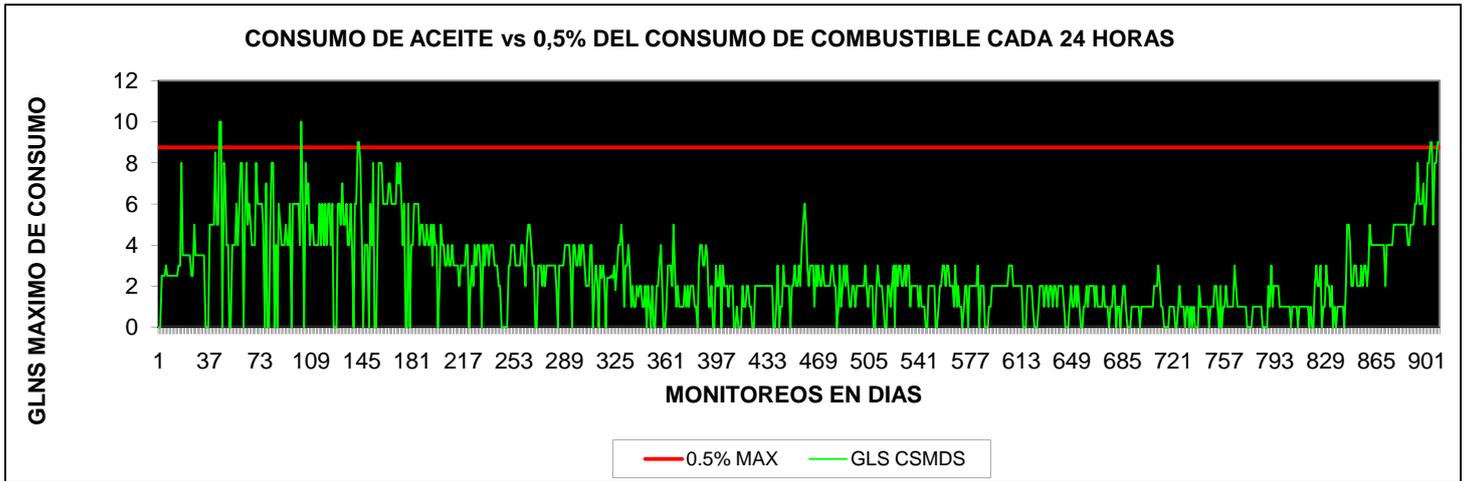
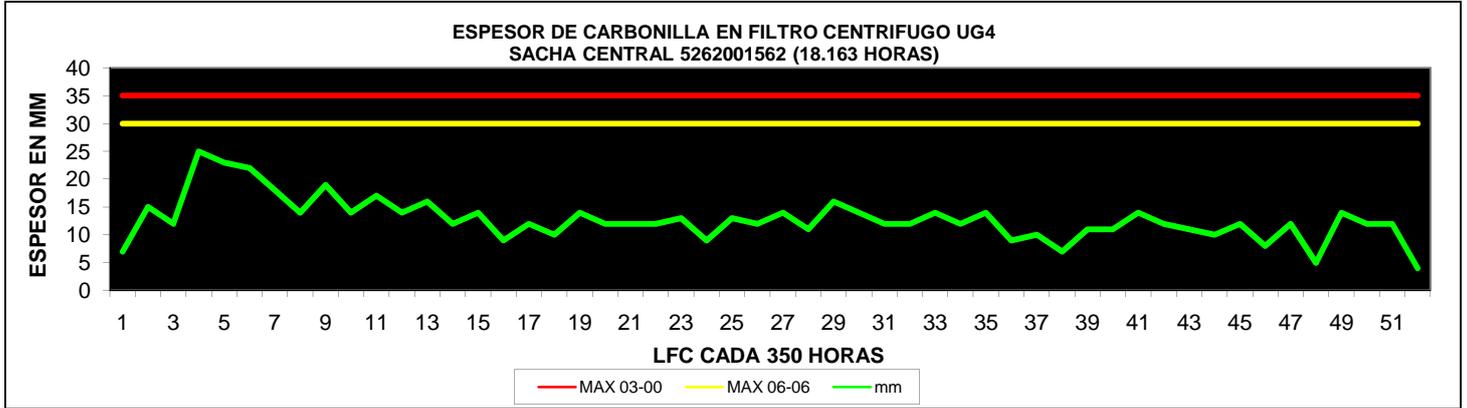
5,48	9,4	6,51	9,1	6,9	5,5	8,9	7,2	5,55	9	5	9
5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5

15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1	1	1	1	1	0	0	2	2	2	2	1

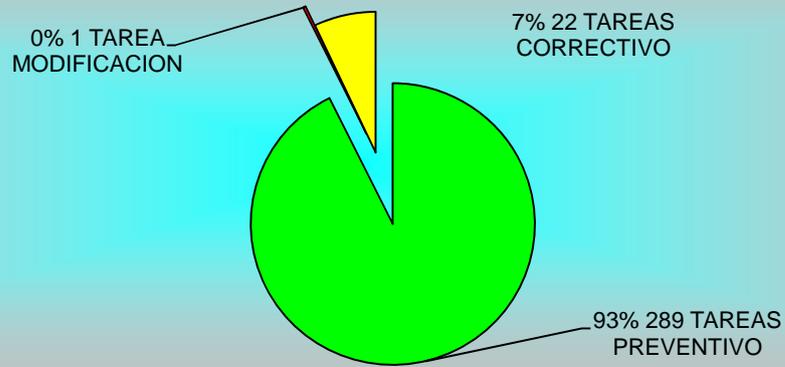
## **APÉNDICE E:**

Registro de historial de reportes de análisis de aceite en  
uso, Justice Company, unidad 5262001562

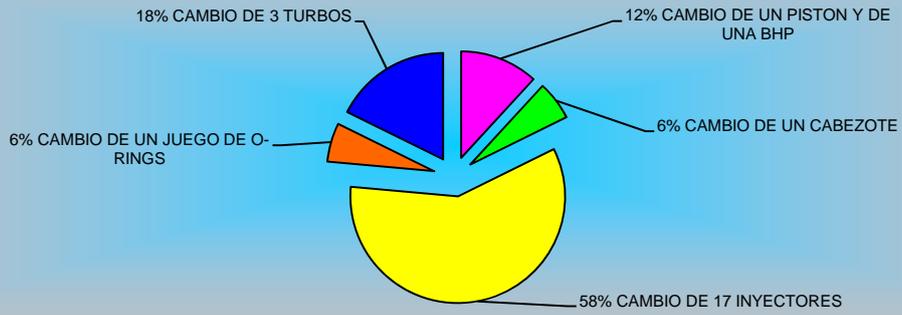




### TIPOS DE MTTO DEL MOTOR EN % DE 312 INTERVENCIONES



### FALLAS DE COMPONENTES DEL MOTOR EN %



## **APÉNDICE F:**

Registro de revisión de cojinetes de biela en motores,

Justice Company, mayo 11, 2008



**REGISTROS DE REVISION DE BEARINGS DE BIELA MOTORES JUSTICECOMPANY ECUADOR**  
**HORAS MAQUINAS ACTUALIZADA 11-05-08**

ITEMS	UBICACIÓN	UG	MOTOR				FECHA A.I	HORAS	Rev Date	TIPO	FABRICA	DATE	# PARTE	SIZE	CONDICION DE BEARINGS DE BIELAS												%					OBSERVACIONES
			MODELO	SERIE	A1	B1									A2	B2	A3	B3	A4	B4	A5	B5	A6	B6	SR	DN	BR	AG	Rev			
1	SSFD-SUR	1	T1237M36	5262001559	15/10/2005	21675	15/04/2008	SPUTTER	Miba	O304	524 038 41 10	0-0	SR	SR	AG/BR	AG/BR	DN	DN	DN	BR	BR	BR	DN	DN	17	50	29	4	83	Las A1-B1 no se revizaron por tiempo y falta de herramienta		
2								RINLLERLAGER	Miba	O304	524 038 31 11	0-0	SR	SR	DN	DN	DN	DN	BR	BR	BR	BR	BR	DN	DN						Las A1-B1 no se revizaron por tiempo y falta de herramienta	
3	SSFD-SUR	2	T1237M36	5262001558	15/10/2005	13320	02/05/2008	SPUTTER	Miba	O304	524 038 41 10	0-0	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	0	0	100	0	100	Motor en EICA Guayaquil		
4								RINLLERLAGER	Miba	O304	524 038 31 11	0-0	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR								
5	SSFD-SUR	3	T1237M36	5262001563	15/10/2005	20262	02/05/2008	SPUTTER	Miba	O304	524 038 41 10	0-0	AG/BR	DN	BR	DN	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	0	20	80	0	100	Motor en EICA Guayaquil		
6								RINLLERLAGER	Miba	O304	524 038 31 11	0-0	DN	DN	BR	DN	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR								
7	SSFD-SUR	4	T1237M36	5262001560	15/10/2005	21167	16/04/2008	SPUTTER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR						Motores nuevos		
8								RINLLERLAGER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								
9	SSFD-SUR	5	T1237M36	5262001561	15/10/2005	21615	17/04/2008	SPUTTER	Miba	O304	524 038 41 10	0-0	SR	SR	DN	DN	DN	DN	AG/BR	AG/BR	AG/BR	BR	DN	SR	25	58	8	12	75	Las A1-B1-B6 no se revizaron por tiempo y falta de herramienta		
10								RINLLERLAGER	Miba	O304	524 038 31 11	0-0	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR						Las A1-B1-B6 no se revizaron por tiempo y falta de herramienta		
11	SSFD-SUR	6	T1237K36	5262000876	25/06/2007	8052		SPUTTER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR						Motores nuevos			
12								RINLLERLAGER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								
13	SACHA-CENTRAL	1	T1237M36	5262001582	20/10/2005	20461	10/05/2008	SPUTTER	Miba	O304	524 038 41 10	0-0	SR	SR	BR	BR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								
14								RINLLERLAGER	Miba	O304	524 038 31 11	0-0	SR	SR	BR	BR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								
15	SACHA-CENTRAL	2	T1237M36	5262001550	20/10/2005	20369	18/04/2008	SPUTTER	Miba	O304	524 038 41 10	0-0	SR	SR	AG/BR	AG/BR	DN	DN	DN	DN	BR	DN	DN	SR	25	58	8	8	75	Las A1-B1-B6 no se revizaron por tiempo y falta de herramienta		
16								RINLLERLAGER	Miba	O304	524 038 31 11	0-0	SR	SR	DN	DN	DN	DN	DN	DN	BR	DN	DN	SR						Las A1-B1-B6 no se revizaron por tiempo y falta de herramienta		
17	SACHA-CENTRAL	3	T1237M36	5262001549	20/10/2005	20384	19/04/2008	SPUTTER	Miba	O304	524 038 41 10	0-0	SR	SR	DN	DN	DN	DN	DN	DN	BR	DN	SR	33	58	8	0	67	Las A1-B1-A6-B6 no se revizaron por tiempo y falta de herramienta			
18								RINLLERLAGER	Miba	O304	524 038 31 11	0-0	SR	SR	DN	DN	DN	DN	DN	DN	BR	DN	SR									
19	SACHA-CENTRAL	4	T1237M36	5262001562	20/10/2005	18161	26/04/2008	SPUTTER	Miba	O304	524 038 41 10	0-0	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	0	4	96	0	100	Motor en EICA Guayaquil		
20								RINLLERLAGER	Miba	O304	524 038 31 11	0-0	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR								
21	SACHA-CENTRAL	5	T1237M36	5262001580	20/10/2005	19001	27/04/2008	SPUTTER	Miba	O304	524 038 41 10	0-0	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	0	0	100	0	100	Motor en EICA Guayaquil		
22								RINLLERLAGER	Miba	O304	524 038 31 11	0-0	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR	BR								
23	SSFD-CENTRAL	1	T1237M36	5262001608	15/01/2006	19622		SPUTTER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR							POR REVISAR		
24								RINLLERLAGER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR									
25	SSFD-CENTRAL	2	T1237M36	5262001919	15/01/2006	19579		SPUTTER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								POR REVISAR	
26								RINLLERLAGER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR									
27	SSFD-CENTRAL	3	T1237M36	5262001628	15/01/2006	19672		SPUTTER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								POR REVISAR	
28								RINLLERLAGER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR									
29	SSFD-CENTRAL	4	T1237M36	5262001615	15/01/2006	19604		SPUTTER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								POR REVISAR	
30								RINLLERLAGER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR									
31	SSFD-CENTRAL	5	T1237M36	5262001572	15/01/2006	19762		SPUTTER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								POR REVISAR	
32								RINLLERLAGER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR									
33	CULEBRA	1	T1237M36	5262001893	21/03/2008	1092		SPUTTER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								Motores nuevos	
34								RINLLERLAGER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR									
35	CULEBRA	2	T1237M36	5262001901	21/03/2008	1214		SPUTTER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								Motores nuevos	
36								RINLLERLAGER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR									
37	CULEBRA	3	T1237M36	526103370	21/03/2008	1186		SPUTTER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								Motores nuevos	
38								RINLLERLAGER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR									
39	CULEBRA	4	T1237M36		21/03/2008	1008		SPUTTER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								Motores nuevos	
40								RINLLERLAGER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR									
41	CULEBRA	5	T1237M36	526102899	21/03/2008	1172		SPUTTER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR								Motores nuevos	
								RINLLERLAGER	Miba				SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR									
														<b>CLASIFICACION DE ABREVIATURAS</b>																		
														<b>BR</b>	<b>BEARINGS LIGERAMENTE RAYADOS</b>																	
														<b>AG</b>	<b>AGUJEROS EN BEARING</b>																	
														<b>Rev</b>	<b>REVIZADAS</b>																	
														<b>DN</b>	<b>DESGASTE NORMAL</b>																	
														<b>SR</b>	<b>SIN REVIZAR</b>																	

# BIBLIOGRAFÍA

1. **Martinez Madrid, Miguel y Lozano Guzman, Alejandro.** *EL ANALISIS DE FALLA MECANICA EN PIEZAS. Publicacion Técnica No.11.* Queretaro : Instituto Mexicano del Transporte Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 1992.
2. **Stachowiak, Gwidon W. y Batchelor, Andrew W.** *Engineering Tribology.* Burlington : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.
3. **DIESEL, MTU DETROIT.** Fluids and Lubricants Specification . *Fluids and Lubricants Specification A001061/32E.* Friedrichshafen, Germany : MTU DETROIT DIESEL, 2007.
4. **Nettleman, Joel.** *Metallurgical Laboratory Analysis Report # 2288-08 Detroit Diesel.* Detroit : Metallurgical Laboratory Detroit Diesel, 2008.