



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

“ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA PARA MEJORAR LA FIABILIDAD EN LOS MOTORES CATERPILLAR SERIE 3500 DE LA ESTACIÓN GUANTA BLOQUE 56 DE LA EMPRESA PETROAMAZONAS EP”

RÓMULO JOHNNY ALVAREZ MIRANDA

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de **MAGISTER EN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

RIOBAMBA– ECUADOR

Marzo 2017

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado “ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA PARA MEJORAR LA FIABILIDAD EN LOS MOTORES CATERPILLAR SERIE 3500 DE LA ESTACIÓN GUANTA BLOQUE 56 DE LA EMPRESA PETROAMAZONAS EP”, de responsabilidad del Sr. Rómulo Johnny Alvarez Miranda ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Dr. Juan Vargas Guambo; M.Sc.

PRESIDENTE

FIRMA

Ing. Mónica Carrión Cevallos; M.Sc.

DIRECTOR

FIRMA

Ing. Jorge Freire Miranda; M.Sc.

MIEMBRO

FIRMA

Ing. Diego Machado Oleas; M.Sc.

MIEMBRO

FIRMA

Riobamba, Marzo 2017

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Rómulo Johnny Alvarez Miranda, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Rómulo Johnny Alvarez Miranda
CI. 1802479970

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Rómulo Johnny Alvarez Miranda, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, marzo de 2017

Rómulo Johnny Alvarez Miranda
CI. 1802479970

DEDICATORIA

A mi amada esposa Rocío y a mi querida hija Monserrath, por su apoyo y comprensión para consolidar un sueño. Y, sobre todo por el amor que día a día nos tenemos como familia y que las circunstancias de trabajo y la distancia, no han sido obstáculo para amarnos.

Rómulo Johnny

AGRADECIMIENTO

A mis padres por su interés en mi bienestar personal como de mi familia.

A mis suegros por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigos por su ayuda y motivación en la culminación de este trabajo.

Al personal Docente y Administrativo de la ESPOCH que hizo posible la culminación de una meta muy importante para mi vida profesional.

También a mis mentores y amigos miembros del Tribunal, por todo su apoyo, experiencia y conocimientos brindados.

Rómulo Johnny

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL.....	ii
DERECHOS INTELECTUALES.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	xii
LISTA GRÁFICOS.....	xiii
LISTA DE ECUACIONES.....	xx
LISTA DE ANEXOS.....	xxi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xxii
RESUMEN.....	xxiii
SUMMARY.....	xxiv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.1.1 Ubicación.....	3
1.1.2 Antecedentes.....	4
1.2 Formulación del problema.....	7
1.3 Sistematización del problema.....	7
1.4 Justificación de la investigación.....	8
1.4.1 Justificación teórica.....	8
1.4.2 Justificación práctica.....	8
1.5 Objetivos.....	9
1.5.1 Objetivo general.....	9
1.5.2 Objetivos específicos.....	9
1.6 Hipótesis.....	10

CAPÍTULO II

2.	MARCO DE REFERENCIA.....	11
2.1	Marco teórico.....	11
2.1.1	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	11
2.1.2	Fiabilidad.....	14
2.1.2.1	<i>Medidas de Fiabilidad.....</i>	16
2.1.2.2	<i>Función Infiabilidad (t).....</i>	17
2.1.2.3	<i>Función Fiabilidad (t).....</i>	18
2.1.2.4	<i>Densidad de Problabilidad f(t).....</i>	18
2.1.2.5	<i>Tasas de Fallos $\lambda(t)$.....</i>	18
2.1.2.6	<i>Tiempo Medio entre Fallos (TMEF).....</i>	19
2.1.3	Modelos de distribución Probabilidad.....	20
2.1.3.1	<i>Distribución Exponencial.....</i>	20
2.1.3.2	<i>Distribución Weibull.....</i>	21
2.1.4	Curva de Davis asociada al Mantenimiento.....	27
2.1.4.1	<i>Período de fallas infantiles o fallas iniciales.....</i>	28
2.1.4.2	<i>Periodo de vida útil o fallas normales.....</i>	29
2.1.4.3	<i>Período de Desgaste.....</i>	30
2.1.5	Software para el análisis de la Fiabilidad.....	32
2.1.5.1	<i>Software Fiasoft Versión 1.0.0.....</i>	32
2.1.5.2	<i>Software Relex 2009 Versión Evaluación.....</i>	33
2.1.6	Fiabilidad de sistemas.....	35
2.1.6.1	<i>Sistemas en serie.....</i>	35
2.1.6.2	<i>Sistemas en paralelo.....</i>	35
2.1.6.3	<i>Sistemas complejos.....</i>	36
2.1.7	Redundancia.....	36
2.1.8	Central de Generación de Guanta.....	36
2.1.8.1	<i>Ubicación.....</i>	36
2.1.8.2	<i>Funcionamiento.....</i>	37
2.1.9	Motores Caterpillar 3512.....	37
2.1.9.1	<i>Evolución de los motores Caterpillar 3512.....</i>	37
2.1.9.2	<i>Comparación entre motores Caterpillar 3512 de la serie B y C.....</i>	39
2.1.9.3	<i>Aplicación petrolera de los motores Caterpillar 3500C.....</i>	39

2.1.9.4	<i>Especificaciones técnicas motores Caterpillar 3512 C</i>	40
2.1.10	Fallas en los elementos de Motores Caterpillar	40
2.1.10.1	<i>Bielas</i>	40
2.1.10.2	<i>Áreas de Alta Tensión</i>	41
2.1.10.3	<i>Condiciones Anormales</i>	41
2.1.10.4	<i>Fuerzas externas</i>	42
2.1.10.5	<i>Fallas en cojinetes</i>	43
2.1.10.6	<i>Errores de Reconstrucción</i>	45
2.1.10.7	<i>Pernos flojos</i>	47
2.1.10.8	<i>Pernos rotos</i>	49
2.1.10.9	<i>Problemas de las Bielas</i>	51
2.1.10.10	<i>Forjado de Faldas</i>	51
2.1.10.11	<i>Tratamiento Térmico</i>	53
2.1.10.12	<i>Mecanizado y Granallado</i>	54
2.1.10.13	<i>Montaje</i>	55
2.1.11	Cojinetes	56
2.1.11.2	<i>Desgaste Normal</i>	57
2.1.11.3	<i>Desgaste Anormal</i>	59
2.1.11.4	<i>Desgaste Adhesivo</i>	63
2.1.11.5	<i>Desgaste Abrasivo</i>	65
2.1.11.6	<i>Picaduras por descarga eléctrica</i>	66
2.1.11.7	<i>Erosión por Cavitación</i>	67
2.1.11.8	<i>Corrosión por Fricción</i>	68
2.1.11.9	<i>Desgaste Corrosivo</i>	70
2.1.11.10	<i>Daños por impacto</i>	71
2.1.11.11	<i>Problemas de los Cojinetes</i>	72
2.1.12	Válvulas	74
2.1.12.1	<i>Alta Temperatura y Desgaste</i>	75
2.1.12.2	<i>Alta temperatura y Fractura</i>	76
2.1.12.3	<i>Fracturas de Acordes</i>	77
2.1.12.4	<i>Daños por impacto</i>	79
2.1.12.5	<i>Fugas</i>	82
2.1.12.6	<i>Corrosión</i>	83

2.1.12.7	<i>Materiales extraños</i>	85
2.1.12.8	<i>Problemas en válvulas</i>	86
2.1.13	Turbocompresores	87
2.1.13.1	<i>Falta de lubricación</i>	89
2.1.13.2	<i>Abrasivos en el lubricante</i>	92
2.1.13.3	<i>Altas temperaturas de Escape</i>	94
2.1.13.4	<i>Daños por objetos extraños</i>	95
2.1.13.5	<i>Daños por parada en caliente</i>	97
2.1.13.6	<i>Problemas turbocargadores</i>	98
2.1.14	Cigüeñales	99
2.1.14.1	<i>Fracturas</i>	99
2.1.14.2	<i>Fatiga por Flexión</i>	100
2.1.14.3	<i>Fatiga por Torsión</i>	100
2.1.14.4	<i>Ambientes Hostiles</i>	101
2.2	Estado del arte	103

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	106
3.1	Tipo de Investigación	106
3.2	Métodos de investigación	106
3.3	Enfoque	107
3.4	Población de estudio	107
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	108

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	109
4.1	Diagnóstico	109
4.1.1	Diseño de adquisición de datos	109
4.1.2	Análisis Estadístico	118
4.1.2.1	<i>Determinación de la Fiabilidad de los Motores Caterpillar año 2014</i>	118
4.2	Implementación de Acciones para mejorar la Fiabilidad	121
4.2.1	Implementar sistema de filtrado de combustible previo a su utilización	123

4.2.2	Otras actividades a realizar.....	124
4.2.3	Análisis Causa Raíz.....	125
4.3	Determinación de la Fiabilidad de los Motores Caterpillar año 2015..	125
4.4	Determinación de la Fiabilidad del Sistema de motores Caterpillar 3512C de la central de Generación Guanta.....	129
4.5	Cálculo de costos y pérdidas de producción por Mantenimientos correctivos.....	131
4.6	Resultados.....	133
4.6.1	Comprobación de hipótesis en base a T Student.....	134
	CONCLUSIONES.....	137
	RECOMENDACIONES.....	138
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1	Potencia y producción de pozos Guanta alimentador Norte.....	6
Tabla 2-1	Potencia y producción de pozos Guanta alimentador Sur.....	6
Tabla 1-2	Datos Técnicos de los Grupos Generadores de la Central Guanta.....	37
Tabla 2-2	Fases y series de motores Caterpillar.....	38
Tabla 3-2	Comparación entre motores Caterpillar 3512.....	39
Tabla 4-2	Aplicación petrolera de los motores Caterpillar 3500C.....	39
Tabla 1-3	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	108
Tabla 1-4	Áreas donde se realizan los mantenimientos.....	110
Tabla 2-4	Nomenclatura de Campos de Petroamazonas EP.....	111
Tabla 3-4	Códigos de Sistemas y sub sistemas de equipos de Petroamazonas EP.	112
Tabla 4-4	Registro de fallos de generadores Caterpillar de la Estación Guanta Año 2014.....	114
Tabla 5-4	Registro de fallos del motor MCO-0650 (2014).....	115
Tabla 6-4	Registro de fallos del motor MCO-0642 (2014).....	115
Tabla 7-4	Registro de fallos del motor MCO-0646 (2014).....	116
Tabla 8-4	Registro de fallos del motor MG1001-4 (2014).....	116
Tabla 9-4	Registro de fallos de los motores Caterpillar de la Estación Guanta Año 2015.....	116
Tabla 10-4	Registro de fallos del motor MCO-0650 (2015).....	117
Tabla 11-4	Registro de fallos del motor MCO-0642 (2015).....	117
Tabla 12-4	Registro de fallos del motor MCO-646 (2015).....	117
Tabla 13-4	Registro de fallos del motor MG1001-4 (2015).....	117
Tabla 14-4	Cálculos para la Fiabilidad año 2014.....	121
Tabla 15-4	Cálculos para la Fiabilidad año 2015.....	128
Tabla 16-4	Fiabilidad año 2014 y 2015.....	128
Tabla 17-4	Número de fallos por año y tiempo de parada de los motores Caterpillar 3512C año 2014.....	131
Tabla 18-4	Número de fallos por año y tiempo de parada de los motores Caterpillar 3512C año 2015.....	132

Tabla 19-4	Tiempo de parada y costos por Mantenimientos correctivos.....	132
Tabla 20-4	Costos de pérdidas de producción por Mantenimientos correctivos.....	133

LISTA DE GRÁFICOS

Figura 1-1	Ubicación geográfica, Bloque 56 Lago Agrio.....	4
Figura 2-1	Central de Generación de Guanta.....	5
Figura 1-2	Esquema basado en las siete preguntas básicas en un proceso RCM...	12
Figura 2-2	Representación gráfica general de los parámetros de fiabilidad.....	19
Figura 3-2	Variación de la densidad de probabilidad $f(t)$, tasa de fallos $\lambda(t)$ y la función acumulativa de fallos $F(t)$ en función del tiempo para distintos valores del parámetro de forma β	24
Figura 4-2	Curva de la bañera o curva de ciclo de vida de un equipo.....	28
Figura 5-2	Software Fiasoft.....	32
Figura 6-2	Pantalla Software Fiasoft.....	33
Figura 7-2	Software Relex.....	34
Figura 8-2	Motor Caterpillar 3512.....	38
Figura 9-2	Áreas de alto stress de la Biela.....	41
Figura 10-2	Biela doblada debido al bloqueo hidráulico.....	42
Figura 11-2	Parte superior del pistón.....	42
Figura 12-2	Parte superior del cojinete.....	43
Figura 13-2	Biela dañada por falta de lubricación.	44
Figura 14-2	Fallo de cojinete de biela lubricada.....	44
Figura 15-2	Daño del cojinete.....	44
Figura 16-2	Daño en biela.....	45
Figura 17-2	Fractura por fatiga de cojinete.....	45
Figura 18-2	Biela fracturada.....	46
Figura 19-2	Parte posterior de cojinete fracturado.....	46
Figura 20-2	Fractura en el interior del orificio del cigüeñal.....	46
Figura 21-2	Buje de la barra reemplazado.....	47
Figura 22-2	Fallas debido a pernos flojos.....	48
Figura 23-2	Caras con marcas de pulido.....	48

Figura 24-2	Cabeza de vástago roto.....	49
Figura 25-2	Pernos con daño.....	49
Figura 26-2	Fallo debido a un perno roto.....	50
Figura 27-2	Cojinete con poco daño.....	50
Figura 28-2	Vástago y perno con daño.....	50
Figura 29-2	Acercamiento de factura.....	51
Figura 30-2	Forjado de faldas.....	52
Figura 31-2	Biela rota en el orificio del cigüeñal.....	52
Figura 32-2	La parte superior de la biela tiene una fractura dúctil que indica daño resultante.....	52
Figura 33-2	La fractura de biela es la fatiga con sitios de iniciación por debajo de la superficie de granallado.	53
Figura 34-2	Una vista más cercana de los sitios de iniciación.....	53
Figura 35-2	Una grieta de temple causa una severa elevación de tensión.....	54
Figura 36-2	Superficie oscura, rugosa en la parte superior de la fractura vista más de cerca.....	54
Figura 37-2	Indica una fractura por fatiga, se ha separado la biela en un asiento de la tuerca.....	54
Figura 38-2	Se ha sobrecargado el otro lado, la bisagra dúctil y fractura del perno	55
Figura 39-2	Esta biela falló a través del orificio altamente cargado porción 120°.....	55
Figura 40-2	Impacto y los daños de cizalla indican que el orificio de la biela abrieron primero.....	55
Figura 41-2	Fractura por fatiga de partida	56
Figura 42-2	Instalación de Cojinete.....	56
Figura 43-2	Desgaste del cojinete.....	57
Figura 44-2	Desgaste del cojinete luego de miles de horas de servicio.....	57
Figura 45-2	Debilitamiento del cojinete.....	57
Figura 46-2	Desgaste de plomo-estaño en las zonas de alta carga y erosión	58
Figura 47-2	La erosión por cavitación puede progresar ligeramente en la capa de aluminio en condiciones normales.....	58
Figura 48-2	Grietas de fatiga.....	58

Figura 49-2	Decoloración en los cojinetes.....	59
Figura 50-2	Condiciones Anormales.....	59
Figura 51-2	Identificación de la ubicación del cojinete.....	60
Figura 52-2	Ubicación correcta de cojinetes.....	60
Figura 53-2	Limpieza de cojinetes.....	60
Figura 54-2	Cojinetes contaminados.....	61
Figura 55-2	Comparación de los tipos de limpieza del cojinete.....	61
Figura 56-2	Afectación de altas temperaturas.....	61
Figura 57-2	El desgaste del lado opuesto sobre cojinete indica carga desalineada.	62
Figura 58-2	Identificación de cojinetes competitivos.....	62
Figura 59-2	Replica no original de cojinete.....	62
Figura 60-2	Características visibles de los cojinetes Caterpillar.....	63
Figura 61-2	Señales de uso de desgaste adhesivo.....	63
Figura 62-2	Desgaste adhesivo y cambio de color en cojinetes.....	64
Figura 63-2	Dilución de cojinete por combustible.....	64
Figura 64-2	Efectos de operación continua sin aceite.....	65
Figura 65-2	Cojinetes con superficie oscura.....	65
Figura 66-2	Picaduras por descarga eléctrica.....	66
Figura 67-2	Muestra de picadura de descarga.....	66
Figura 68-2	Aspecto de los muñones de los cojinetes.....	67
Figura 69-2	Daño de picaduras de descarga eléctrica.....	67
Figura 70-2	Erosión por cavitación que no provoca fallas.....	68
Figura 71-2	Erosión por cavitación que acorta la vida del cojinete.....	68
Figura 72-2	Corrosión por fricción.....	69
Figura 73-2	Al mover el tercer rodamiento en el lado revela la acumulación irregular de óxido y el sector caliente en la superficie correspondiente.....	69
Figura 74-2	La parte posterior del cojinete claramente ha sido empujado hacia arriba desde el punto de ensamble por la acumulación de oxidación de contacto.....	69
Figura 75-2	Cojinetes atacados por ácido.....	70
Figura 76-2	Visión cercana de cojinete atacado por ácido.....	70

Figura 77-2	Daño por impacto.....	71
Figura 78-2	Daño abrasivo secundario de cojinete.....	71
Figura 79-2	La parte posterior del cojinete nos indica que estaban sueltos y al ser golpeados, deformados giran en carrera de potencia resultando el daño.....	72
Figura 80-2	Superposición de láminas en cojinete.....	72
Figura 81-2	Cojinete con grietas.....	73
Figura 82-2	Roturas de aluminio en cojinete.....	73
Figura 83-2	Cojinete con enlace débil con buena lubricación.....	73
Figura 84-2	Falla en la unión de cojinete.....	74
Figura 85-2	Grietas por fatiga térmica en las válvulas.....	75
Figura 86-2	Inclinación de válvula sobrecalentada.....	75
Figura 87-2	Muestras de sobrecalentamiento de válvula	76
Figura 88-2	La oxidación de los vástagos de las válvulas indican el calor y la corrosión presentes.....	76
Figura 89-2	Válvulas dobladas encontrados durante las operaciones.....	76
Figura 90-2	Fractura de válvula.....	77
Figura 91-2	Fractura por fatiga de rotación.....	77
Figura 92-2	Grietas en válvula.....	78
Figura 93-2	Válvula rota.....	78
Figura 94-2	Fractura en válvula por fatiga curvada.....	78
Figura 95-2	Las válvulas pueden ser golpeadas, dobladas y se fracturan por choque o impacto de carga.....	79
Figura 96-2	Fractura de válvula por fragilidad.....	79
Figura 97-2	Otras veces las fracturas serán mucho más dúctiles con daños por impacto secundario.....	80
Figura 98-2	Daños por impacto secundario en chavetas.....	80
Figura 99-2	Válvula con doble fractura.....	80
Figura 100-2	Fractura cordal inferior de válvula.....	81
Figura 101-2	Efectos de la carga de impacto.....	81
Figura 102-2	Identificación de la carga impacto.....	81
Figura 103-2	Válvula trabada.....	82
Figura 104-2	Comienza la canalización con el aumento de fuga.....	82

Figura 105-2	La canalización se hace más grande y se produce en más lugares.....	83
Figura 106-2	Los canalones (canalización masiva) se desarrolla con el uso continuo.....	83
Figura 107-2	Las picaduras en las válvulas de asiento puede ser resultado de un ataque corrosivo.....	84
Figura 108-2	Desgaste por ranurado profundo.....	84
Figura 109-2	El desgaste excesivo de la guía de la válvula puede ocurrir en un ambiente corrosivo.....	84
Figura 110-2	Vista interior de la guía de la válvula de escape con desgaste corrosivo.....	85
Figura 111-2	Válvula con daños por material extraño.....	85
Figura 112-2	Cabeza de válvula con daño.....	86
Figura 113-2	Fallas de soldadura por fricción.....	86
Figura 114-2	Comprobación de soldadura.....	87
Figura 115-2	Retenedor con grietas finas de procesamiento.....	87
Figura 116-2	Proceso de circulación del aceite.....	88
Figura 117-2	Ejes centrales.....	88
Figura 118-2	Endurecimiento de eje central.....	88
Figura 119-6	Ruedas de compresor.....	89
Figura 120-2	Rueda de turbina.....	89
Figura 121-2	Los colores de revenido y aceite negro carbonizado son evidencia de insuficiente suministro de aceite.....	90
Figura 122-2	La operación continua sin suministro de lubricante adecuada permite desgaste adhesivo de los bujes y puede debilitar el eje central.....	90
Figura 123-2	Eje roto.....	90
Figura 124-2	El desgaste adhesivo y la presencia de colores de revenido sobre el eje central indica la inadecuada alimentación de aceite y eliminación de calor.....	91
Figura 125-2	Un cojinete liso se tomó en el centro de la vivienda debido a temperaturas excesivamente altas.....	91
Figura 126-2	Las fracturas deben ser inspeccionadas y clasificadas. Esta fractura parece ser una fractura rápida, secundaria que se origina en el filete donde los cambios de diámetro.....	91

Figura 127-2	Fractura con evidencia de deformación.....	92
Figura 128-2	Señales de uso.....	92
Figura 129-2	Desgaste por abrasión.....	93
Figura 130-2	Residuo duro de gran tamaño ha cortado y acanalado rodamientos del eje.....	93
Figura 131-2	Daño abrasivo es más grave en las superficies fuera que dentro.....	93
Figura 132-2	Corte abrasivo.....	94
Figura 133-2	Superficie con desgaste.....	94
Figura 134-2	Turbocompresor con oxidación.....	95
Figura 135-2	Evidencia de daño al desmontar.....	95
Figura 136-2	Daño en turbina por ingreso de objetos extraños.....	96
Figura 137-2	Daño en rueda de compresor por ingreso de objetos extraños.....	96
Figura 138-2	El material extraño más pequeño va a hacer un daño menos severo en el mismo lugar.....	96
Figura 139-2	El rodamiento del lado caliente tiene desgaste abrasivo fino por el aceite carburado.....	97
Figura 140-2	Evidencia de desgaste excesivo.....	97
Figura 141-2	Evidencia de paradas calientes.....	98
Figura 142-2	Revisión cuidadosa de fractura.....	98
Figura 143-2	Grieta por fatiga.....	99
Figura 144-2	Fatiga por Flexión.....	100
Figura 145-2	Fatiga por Torsión.....	101
Figura 146-2	Contaminación.....	101
Figura 147-2	Fallo cigüeñal por desalineación.....	102
Figura 148-2	Fallo del cigüeñal por calor.....	103
Figura 1-4	Flujo de las Ordenes de Trabajo	113
Figura 2-4	Fiabilidad Motor Caterpillar MCO-650.....	118
Figura 3-4	Fiabilidad Motor Caterpillar MCO-642.....	119
Figura 4-4	Fiabilidad Motor Caterpillar MCO-646.....	119
Figura 5-4	Fiabilidad Motor Caterpillar MG1001-4	120
Figura 6-4	Fiabilidad Generadores.....	120
Figura 7-4	Prueba de solenoide de los cilindros.....	122
Figura 8-4	Parámetros del motor (a)	122

Figura 9-4	Parámetros del motor (b)	123
Figura 10-4	Filtros RACORD.....	123
Figura 11-4	Porta Filtros RACORD.....	124
Figura 12-4	Fiabilidad Motor Caterpillar MCO-650.....	126
Figura 13-4	Fiabilidad Motor Caterpillar MCO-642.....	126
Figura 14-4	Fiabilidad Motor Caterpillar MCO-646.....	127
Figura 15-4	Motor Caterpillar MG1001-4.....	127
Figura 16-4	Fiabilidad Generadores.....	128
Figura 17-4	Fiabilidad del sistema de motores Caterpillar 3512C de la central de Generación Guanta, 2014.....	129
Figura 18-4	Fiabilidad del sistema de motores Caterpillar 3512C de la central de Generación Guanta, 2015.....	129
Figura 19-4	Diagrama de bloques del sistema de motores Caterpillar 3512 C de la central de Generación Guanta, 2014.....	130
Figura 20-4	Diagrama de bloques del sistema de motores Caterpillar 3512 C de la central de Generación Guanta, 2015.....	130
Figura 21-4	Resultados estimación de Fiabilidad.....	135
Figura 22-4	Resultados prueba de hipótesis T student muestras relacionadas.....	136

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1-2	.....	17
Ecuación 2-2	.....	17
Ecuación 3-2	.....	18
Ecuación 4-2	.....	18
Ecuación 5-2	.....	18
Ecuación 6-2	.....	18
Ecuación 7-2	.....	18
Ecuación 8-2	.....	19
Ecuación 9-2	.....	19
Ecuación 10-2	.....	19
Ecuación 11-2	.....	21
Ecuación 12-2	.....	22
Ecuación 13-2	.....	23
Ecuación 14-2	.....	23
Ecuación 15-2	.....	23
Ecuación 16-2	.....	23
Ecuación 17-2	.....	23

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A Organigrama del Departamento de Mantenimiento

ANEXO B Reporte de Análisis de Aceite

ANEXO C Reporte de Termografías

ANEXO D Análisis de Vibraciones

ANEXO E Análisis Causa Raíz (ACR)

LISTA DE ABREVIATURAS

ACR	Análisis Causa Raíz	PM	Mantenimiento preventivo.
BAPD	Barriles de agua por día	R	Confiabilidad
BPPD	Barriles de Petróleo por día	RA	Confiabilidad y disponibilidad.
CAPEX	Gastos de capital	RAM	Confiabilidad, disponibilidad, Mantenibilidad
CBM	Monitoreo bajo condición	RCM	Mantenimiento centrado en confiabilidad
CMMIS	Sistema de información y gestión de mantenimiento computarizado	RM	Confiabilidad y mantenimiento
LCC	Coste del ciclo de vida	R^2	Coficiente de determinación.
M	Mantenibilidad	RS	Fiabilidad del sistema
MI	Elemento mantenible	TTR	Tiempo para reparar
MTBF	Tiempo medio entre fallos	Λ	Tasa de Fallos
MTTF	Tiempo hasta el fallo	Γ	(Gamma) factor de desplazamiento
MTTR	Tiempo medio para reparar	μ	Tasa de reparación
MTTM	Tiempo medio para mantener	B	Parámetro de forma Weibull
WO	Orden de trabajo	H	Parámetro de escala Weibull
OPEX	Gastos operativos		

RESUMEN

Se analizó los modos de falla de los motores Caterpillar 3512C para incrementar los índices de Fiabilidad en los sistemas de generación, power oil y transferencia de petróleo para que los equipos provean ininterrumpidamente el servicio de una energía limpia, permanente, confiable, segura y económica. Los problemas que se afronta en la Central de Generación de Guanta del Bloque 56, se suscitan por no corregir a tiempo los fallos presentados. Los datos para el estudio propuesto se los recopiló del software Máximo para Oil&Gas de Gestión de Mantenimiento, el cual permite la recopilación de datos durante todo el ciclo de vida operacional del equipo. Con la aplicación de los software Fiasoft y Relex 2009 (Versión Evaluación) se analizan los datos de Fiabilidad para los motores Caterpillar 3512 individualmente y por sistema (tres operando y uno en standby) para el año 2014 y luego aplicar acciones correctivas para mejorar el funcionamiento de los equipos de generación para el año 2015. En el análisis de resultados de la Fiabilidad se despliegan datos de fiabilidad, disponibilidad, número de fallos, tiempo medio entre fallos del sistema de motores; además información del diagrama de bloques de fiabilidad y se sugieren acciones para mejorar la Fiabilidad y las prácticas más adecuadas para evitar fallos en el funcionamiento de los diferentes sistemas. El índice de Fiabilidad de los motores Caterpillar 3512C se incremento del 33% en el año 2014 al 96% en el año 2015. Se concluye que al mejorar la Fiabilidad se disminuyó el tiempo de parada de los motores Caterpillar 3512C por mantenimientos correctivos. Se recomienda la aplicación de las acciones correctivas implementadas no solo para los equipos de la Empresa Petroamazonas sino donde operen equipos de similares características.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERIA EN MANTENIMIENTO>, <FIABILIDAD>, <FIASOFT (SOFTWARE)>, <RELEX (SOFTWARE)>, <ANÁLISIS CAUSA RAÍZ>, <SISTEMA DE GENERACIÓN>, <FALLAS>, < BLOQUE 56, GUANTA (COMUNIDAD) >.

SUMMARY

The failure modes of Caterpillar 3512C engines were analyzed to increase reliability ratings in power generation, oil transfer and oil transfer systems so that the equipment provides uninterrupted service for clean, permanent, reliable, safe and economical energy. The problems faced in the Guanta Generation Plant of Block 56 are caused by not correcting the errors presented in a timely manner. The data for the proposed study were compiled from the Maximum Maintenance Oil & Gas Maintenance software, which allows the collection of data throughout the equipment's operational life cycle. With the application of the Fiasoft and Relex 2009 (Evaluation Version), the reliability data for Caterpillar 3512 engines are analyzed individually and by systems (three working and one in standby) by 2014 and the apply corrective actions to improve the operation of the generation equipment for the year 2015. In the analysis of results of the Reliability data of reliability, availability, number of failures, average time between failures of the engine system are deployed; In addition to information on the block diagram of reliability and suggest actions to improve reliability and best practices to avoid failures in the operation of different systems. The reliability index of Caterpillar 3512C engines increased from 33% in 2014 to 96% in 2015. It is concluded that improved reliability reduced the downtime of Caterpillar 3512C engines for corrective maintenance. It is recommended to apply the corrective actions implemented not only for the equipment of the Company Petroamazonas but where similar characteristic equipment are operated.

Key words: <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <RELIABILITY>, <FIASOFT (SOFTWARE)> <RELEX (SOFTWARE)> <ANALYSIS CAUSE ROOT>, <GENERATION SYSTEM>, <FAILURES>, <BLOCK 56>, <GUANTA (COMMUNITY)>.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El Departamento de Mantenimiento, con sus secciones: Planta de Generación, Mecánica, Energética e Instrumentación de PETROAMAZONAS EP, tiene como principal misión el mantener los niveles de fiabilidad de los equipos, en porcentajes adecuados que permitan satisfacer la demanda de energía eléctrica para la producción de petróleo, en forma ininterrumpida. Para lo cual, es necesario integrar los pozos del campo Guanta a la Central de Generación, de esta manera incrementar la fiabilidad en la operación de los equipos.

La Sección de Planta de Generación debe mantener en óptimas condiciones los equipos de generación en base a los lineamientos generales, evitando los fallos que provocan paradas inesperadas en los equipos de la Central de Generación de Guanta y por consiguiente pérdidas en la producción.

Primeramente, se presenta los problemas en la Central de Generación de Guanta del Bloque 56 que afronta el Departamento de Mantenimiento en el sistemas de Generación, conformado por cuatro grupos electrógenos al no tomar los correctivos a tiempo ante los fallos presentados para tener una mejor fiabilidad en los equipos.

Seguidamente se muestra la información referente a la Fiabilidad utilizada para realizar el análisis de los equipos de generación de la Central de Guanta, una breve reseña de los motores Caterpillar 3512C utilizados para la generación y las fallas más recurrentes en algunos componentes de los motores.

Luego se expone la metodología, la obtención de datos para el estudio propuesto, la aplicación de software de Fiabilidad (Fiasoft y Relex 2009) con los cuales se analizará los datos de Fiabilidad antes y después de aplicar las acciones correctivas para mejorar el funcionamiento de los equipos de generación.

Inmediatamente, se despliega el análisis de los resultados de la Fiabilidad de los motores Caterpillar 3512C utilizados en el sistema de generación de la central de Guanta. Además se presentan los datos de disponibilidad, número de fallos, tiempo medio entre fallos del sistema de motores Caterpillar; además, se encuentra el diagrama de bloques de Fiabilidad con la ayuda de los software de Fiabilidad Fiasoft y Relex 2009 Versión Evaluación.

Finalmente, se sugieren acciones a tomar para mejorar la Fiabilidad y evitar fallos de funcionamiento en los diferentes sistemas, usando el diagrama de bloques de Fiabilidad con la ayuda del software, de esta manera la empresa se innova tecnológicamente y mantiene sus equipos actualizados.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Los fallos se presentan en los equipos de todas las empresas por más pequeños o grandes que sean, solucionables a corto, mediano o largo plazo y representan pérdidas económicas; motivo por lo cual es importante contar con un grupo o Departamento de Mantenimiento, mismo que se encarga de minimizar la parada de equipos por los diversos fallos que se presenten.

Mantenimiento; asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual (Moubray, 2000).

Por otra parte, Luis Sexto (2015), menciona que Fiabilidad es la duración o la probabilidad de un desempeño sin fallos bajo declaradas condiciones.

Por lo antes mencionado, se establece que es necesario realizar el estudio de fiabilidad de los motores Caterpillar 3512C del sistema de generación de la central de Generación del Bloque 56 para tener el funcionamiento continuo de los equipos; es decir, con el menor

número de fallas, lo que aumenta la vida útil de los mismos, disminuyendo costos de mantenimientos correctivos y evitando pérdidas de producción de petróleo.

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Ubicación

El campo Guanta – Dureno está localizado al Noroeste de la región Amazónica Ecuatoriana, en la provincia de Sucumbios, al Sur Oeste del Campo Parahuacu y a 15 Km, en dirección Sur Este del campo Lago Agrio.

El campo Guanta fue descubierto por Texaco-Gulf, mediante la perforación del pozo exploratorio Dureno – 01, en el mes de Julio de 1969, e inició su desarrollo productivo en el año 1984. Las pruebas iniciales del pozo, en Septiembre de 1984 dieron en la arena T: 799 BPPD; 343 BAPD y 32° API.

Los principales reservorios productivos del Campo Guanta-Dureno son: Hollín Superior e Inferior con 31° API, Formación Napo “T” con 32.1° API, “U” con 32.5° API y Basal Tena con 27.5° API.

El campo Guanta produce desde 1984, ha acumulado 34.3 millones de barriles de petróleo, sus reservas remanentes son de 23.3 millones de barriles, su tasa de producción actual es de 4,112 BPPD, tiene una declinación del 0.2 % anual. Cuenta con estudios de simulación matemática, instalaciones de producción operativas por más de 10 años adicionales y varios métodos de levantamiento artificial.

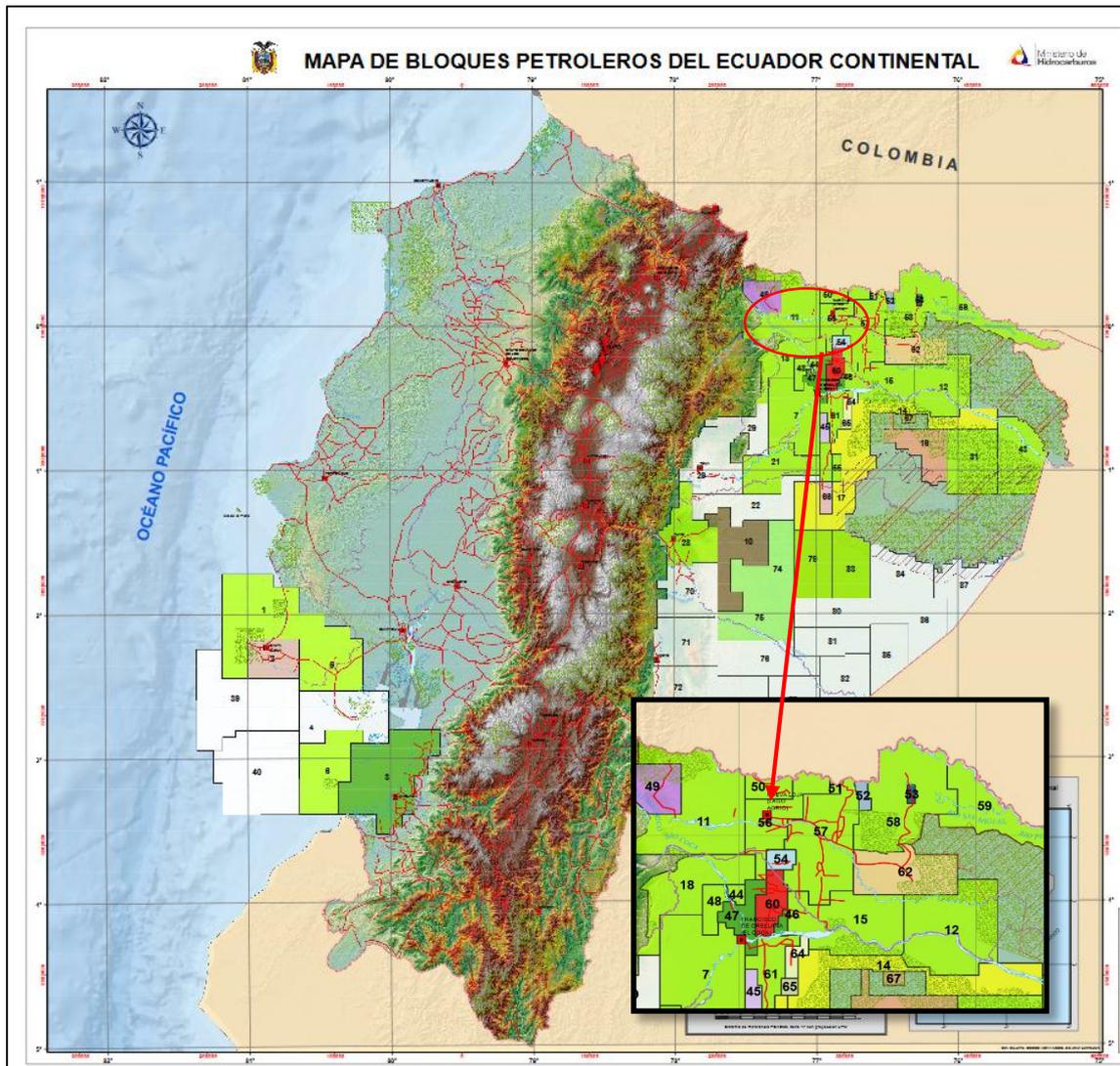


Figura 1–1: Ubicación geográfica, Bloque 56 Lago Agrio

Fuente: Secretaria de Hidrocarburos (2015)

Realizado por: Instituto Geográfico Militar

En la Figura 1-1 se muestra los campos y bloques que se encuentran bajo la administración de la Secretaría de Hidrocarburos, siendo esta institución parte del Estado Ecuatoriano.

1.1.2 Antecedentes

PETROAMAZONAS EP es una Empresa Pública dedicada a la gestión de las actividades asumidas por el Estado en el sector estratégico de los hidrocarburos y sustancias que los acompañan, en las fases de exploración y explotación con patrimonio propio, autonomía

presupuestaria, financiera, económica, administrativa y de gestión, creada al amparo de la Ley Orgánica de Empresas Públicas, mediante Decreto Ejecutivo No. 314 de 06 de abril de 2010, publicado en el Registro Oficial Suplemento No. 171 de 14 de abril de 2010.

- Empresa Pública Ecuatoriana dedicada a la exploración y extracción de crudo.
- Opera 20 Bloques: 17 en la Cuenca Oriente Ecuatoriana y 3 en el Litoral.
- Producción de 364.989 BPPD (febrero 2016).
- Certificaciones ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001.
- Cultura corporativa y talento humano consolidados.
- Estabilidad y crecimiento de los cuadros gerenciales y organizacionales en general.
- Controles internos sólidos que garantizan el correcto funcionamiento de la operación.
- Enfoque real en seguridad y medio ambiente.
- Políticas y procedimientos claros y respetados.
- Enfoque en la obtención de resultados.
- Contabilidad y modelos de costos simple y efectivo.
- Infraestructura tecnológica y sistemas de información de clase mundial.



Figura 2-1: Central de Generación de Guanta

Fuente: Petroamazonas EP (2016)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

En la ciudad de Lago Agrio se encuentra el Bloque 56 y en él la Estación Guanta que cuenta con una Central de Generación conformada por cuatro grupos electrógenos Caterpillar 3512C cuya potencia nominal es 1200 kW. Al momento trabajan tres grupos electrógenos en paralelo y uno en reserva (back up).

Los pozos individuales o Pads (más de dos pozos) tanto del Alimentador Norte y Alimentador Sur que producen petróleo mediante bombas electrosumergibles, bombas power oil balancín o rotaflex alimentados por la Central de Generación de Guanta, se detallan a continuación:

Tabla 1-1 Potencia y producción de pozos Guanta alimentador Norte

ALIMENTADOR NORTE										
N°	PAD	POZOS	POTENCIA (kW)	TIPOS DE BOMBEO	HIDRÁULICO	ELECTROSUMERGIBLE	MECÁNICO	BFPD	BPPD	BSW
				STATUS OPERATIVO	TIPO DE BOMBA	TIPO DE BOMBA	TIPO DE BOMBA			
1		D1	66	Bomba Electrosumergible		PF-10X		225	99	56,0
2	G	12	65	Bomba Electrosumergible		P-6X		395	174	56,0
3	F	11	180	Power Oil quintuplex	JET 10-I			188	117	37,80
4		39	165	Power Oil quintuplex	JET 10-J			285	273	4,2
5		38	53	Bomba Electrosumergible		DN-460		294	176	40
6		5	55	Bomba Electrosumergible		DN-460		213	85	60
7	D	33	28	Rotaflex				43	43	1,0
8		10	47	Bomba Electrosumergible		TD-650		340	122	64,0
9		2	55	Bomba Electrosumergible		TD-460		355	107	70,0
		TOTAL	714	kW						

Fuente: Departamento de Mantenimiento de Petroamazonas EP (2015)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2015

Tabla 2-1 Potencia y producción de pozos Guanta alimentador Sur

ALIMENTADOR SUR										
N°	PAD	POZOS	POTENCIA (kW)	TIPOS DE BOMBEO	HIDRÁULICO	ELECTROSUMERGIBLE	MECÁNICO	BFPD	BPPD	BSW
				STATUS OPERATIVO	TIPO DE BOMBA	TIPO DE BOMBA	TIPO DE BOMBA			
1	E	46	80	Bomba Electrosumergible		TD-850		230	66	70,0
2		31	105	Power Oil	JET 10-J			461	442	4,2
3		4	55	Bomba Electrosumergible				198	196	1,0
4	C	13	100	Power Oil triplex	JET 9-A			150	149	0,5
5		23	90	Power Oil triplex	JET 9-A			181	149	17,6
6		25	60	Bomba Electrosumergible		P-4X		161	160	0,5
7	A	18	100	Power Oil triplex	JET 10-J			302	290	4,1
8		20	75	Bomba Electrosumergible		DN-800		357	125	65,0
9		40	114	Power Oil triplex	JET 10-J			291	274	6,0
10		6	100	Power Oil triplex	JET 8-A			245	203	17,2
11		9	12	Balancín			RHBC 1.75'X20'	60	59	1,0
		BOMBAS BOOSTER	106							
		TOTAL	997	kW						

Fuente: Departamento de Mantenimiento de Petroamazonas EP (2015)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2015

La demanda total de potencia es de 1711 kW para mantener la producción de los pozos. En el año 2014 y 2015 se suscitaron varios inconvenientes con la generación debida a fallas producidas en los grupos electrógenos lo cual ha ocasionado pérdidas de producción.

1.2 Formulación del problema

El desconocimiento de los modos de falla más recurrentes en los motores Caterpillar serie 3500 de la Estación Guanta Bloque 56 es lo que provoca incertidumbre en la fiabilidad de los equipos y a causa de su posible paralización se puede suscitar excesivas pérdidas económicas de la Empresa Petroamazonas EP.

1.3 Sistematización del problema

- ¿La inexistencia de un modelo de Fiabilidad que determine los fallos más recurrentes de los motores Caterpillar 3512C de la Central de generación de la estación Guanta del Bloque 56 durante su operación, induce a una disminución del rendimiento de los mismos y por consiguiente a un aumento del costo operativo?.
- ¿Es la falta de un análisis de la Fiabilidad de los motores Caterpillar 3512C que operan en la central de Generación de la estación Guanta Bloque 56 lo que ocasiona fallos más recurrentes y por consiguiente pérdidas económicas en la Empresa Petroamazonas EP?.
- ¿Sin identificar la Fiabilidad de los equipos del sistema de generación de la Central de la estación Guanta Bloque 56, es improbable mejorar la operación de los mismos y tomar las acciones correctivas a tiempo?.
- ¿El desconocimiento de los históricos de fallos de los motores Caterpillar 3512C ocasiona desconfianza en los datos del Sistema de Gestión de Mantenimiento de la empresa llamado Maximo para Oil&Gas, que impide implementar adecuadamente tareas que disminuyan la parada de los equipos?.

1.4 Justificación de la investigación

La investigación es importante debido a que se necesita tener la mayor fiabilidad de los equipos de la Central de Generación de la Estación de Guanta, con una gestión adecuada en los mantenimientos tanto preventivos como correctivos, mismos que dependen de los resultados de realizar la inspección basada en el Análisis de Fallas.

1.4.1 Justificación teórica

La central de generación de Guanta del Bloque 56 está compuesta por cuatro motores Caterpillar 3512C que presentan altas tasas de fallos durante su operación. Es necesario aplicar un análisis de la Fiabilidad de estos motores para mantener un historial ordenado de los fallos más recurrentes y un modelo estadístico adecuado a ser implementado para mejorar la operación.

Estos históricos de fallos se puede obtener de datos reales del Sistema de Gestión de Mantenimiento Maximo para Oil&Gas con la finalidad de estudiar la fiabilidad e implementar tareas que disminuyan la parada de los equipos.

Mediante el diagrama de bloques de fiabilidad del sistema de generación de la Central de Guanta se identifica la fiabilidad de los equipos mediante el software Relex 2009 para tomar las acciones correctivas y mejorar la operación de los mismos.

1.4.2 Justificación práctica

Al presentarse los fallos en los equipos de generación de la Central de Generación de Guanta, la fiabilidad de los mismos va aumentar aplicando las soluciones a plantear para reducir los problemas.

Los resultados de la investigación realizada, estarán disponibles para todo el personal del Bloque 56, para poderlo aplicar para seguir mejorando la Fiabilidad de los equipos y con los correctivos adecuados disminuir los fallos que se presentan en la operación.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar los modos de falla de los motores Caterpillar 3512C para incrementar los índices de fiabilidad en los Sistemas de generación, power oil y transferencia de petróleo para que los equipos provean ininterrumpidamente el servicio de una energía limpia, permanente, confiable, segura y económica.

1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar los índices de Fiabilidad y calidad del servicio de suministro de los motores Caterpillar 3512C de la Central de Generación Guanta, para el aumento de la confianza de la operación en los mismos.
- Determinar las fallas más recurrentes para minimizarlas y mantener en óptimas condiciones los motores utilizados en la central de Generación de Guanta Bloque 56, mejorando su rendimiento a un menor costo operativo y por consiguiente evitar pérdidas de producción de los pozos a los cuales suministra energía.
- Identificar los mantenimientos correctivos en los motores Caterpillar 3512C que operan en la estación Guanta Bloque 56, para una planificación adecuada que prevenga la parada de los equipos.

- Establecer la utilización del software Relex 2009 que identifica la fiabilidad de los equipos mediante el diagrama de bloques de fiabilidad del sistema de generación de la Central de Guanta, y con un modelo estadístico adecuado tomar las acciones correctivas y mejorar la operación de los mismos.

1.6 Hipótesis

Las acciones correctivas basadas en el análisis de falla mejora los índices de fiabilidad de los motores Caterpillar 3512C de la Central de Generación de la Estación Guanta Bloque 56.

CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM según sus siglas en inglés)

Es una tecnología orientada a la determinación de los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos. Aunque su basamento, en esencia, ya estaba planteado en los años 70, no es hasta la década de los 90 que las ideas que plantea han madurado, han sido ajustadas y se han extendido con mayor fuerza por América latina.

Aunque, sería totalmente inexacto afirmar que goza de una generalización privilegiada en el sector empresarial de los países de mayor desarrollo.

El problema de las tecnologías de mantenimiento es que no es posible aplicarlas paralelamente a la concepción y cultura que tiene la empresa. Si desde el mantenimiento se exige la interacción con otras áreas de la organización y, a su vez, la empresa trabaja según una cultura mecanicista, entonces no será posible avanzar debido a la manifiesta incompatibilidad en la forma de entender los procesos de la organización.

No existe impedimento alguno, relacionado con la tecnología misma del RCM, para fusionarse con otras tecnologías aplicadas al manejo del mantenimiento en la empresa. De hecho, haciendo un análisis de puntos comunes, prácticamente todas las tecnologías de mantenimiento se orientan a poder lograr la planificación, ejecución, control y mejora de las funciones que realizan los activos y las personas relacionadas con él.

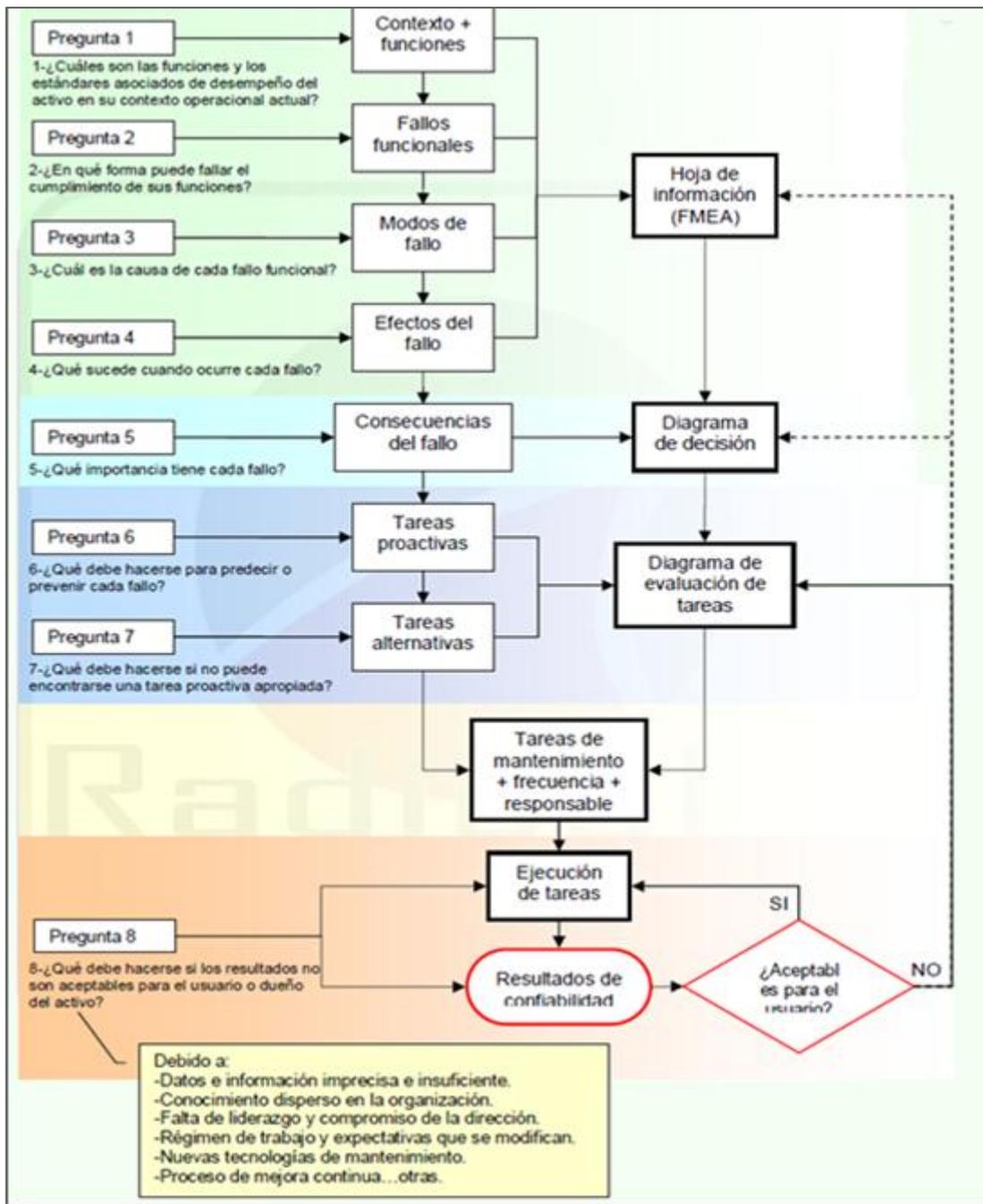


Figura 1-2 Esquema basado en las siete preguntas básicas en un proceso RCM

Fuente: Radical Management (2004)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

La Figura 1-2 presenta un esquema basado en las siete preguntas básicas que deben ser respondidas en un proceso RCM según la norma SAE JA 1011. A lo que sería prudente agregar una octava: ¿Qué debe hacerse si los resultados no son aceptables para el usuario o dueño del activo? Derivado de cada interrogante se relaciona en la Figura 1-2 una secuencia de pasos lógicos para llegar a los requerimientos de mantenimiento.

La inspección basada en el Análisis de Fallas es una herramienta del RCM que sirve para realizar un análisis de las causas que producen fallas y las acciones correctivas a ser empleadas para que no vuelvan a suceder. La “falla” se la define como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga.

Las **fallas funcionales** son ocurrencias que producen la incapacidad del activo de cumplir con una función dada a un nivel de rendimiento que sea aceptable para el usuario.

Los **modos de falla** son todos los eventos que ocasionan las fallas funcionales y solo deben registrarse los más razonablemente posibles:

- Fallas que hayan ocurrido antes en el propio activo o en uno similar
- Modos de falla que ya estén incluidos en rutinas de mantenimiento proactivo
- Otros modos de falla que, aunque no hayan ocurrido, se considere que tienen posibilidades reales de ocurrencia.

Los **efectos de falla** describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla. Entre los aspectos a considerar tenemos:

- Evidencia de falla
- Riesgos para el medio ambiente y la seguridad
- Afectaciones a la producción y/o la operación
- Daños físicos ocasionados
- Acciones correctivas

También se realiza el Análisis Causa Raíz (Otra herramienta del RCM) de algunos eventos suscitados en los motores Caterpillar 3512C de la Estación Guanta. El término Causa Raíz es comúnmente utilizado en conexión de análisis de falla. Implica que, si uno ahonda lo suficiente, es posible llegar a un nivel causal final y absoluto.

El Análisis Causa Raíz puede implementarse en forma reactiva para investigar hechos ocurridos en forma proactiva, para evitar la ocurrencia de éstos.

- Evitar fallas con impacto de seguridad de las personas o en la protección al medio ambiente.
- Analizar los posibles errores cometidos durante el diseño, la operación o el mantenimiento de un activo.
- Evitar o reducir las consecuencias de las fallas recurrentes con una elevada repercusión en los costos de operación y/o mantenimiento.

El término **fallo** se obtiene de la traducción del idioma inglés “**Failure**” y se trata de un **evento** es decir algo que puede pasar en cualquier momento.

Después del fallo, el artículo tiene una **avería** o **falla** que se obtiene del término en inglés “**fault**” y está en un **estado** de indisponibilidad comprobada.

Para efectos de este documento y para obtener la normalización y el lenguaje común se utiliza de preferencia los términos de la norma ISO 14224, 2006 sin excluir o interpretar como incorrecto la utilización de los otros términos de similar definición.

2.1.2 Fiabilidad

Es la probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente su función prevista a lo largo del tiempo, cuando opera en el entorno en que ha sido diseñado. Según las Normas Internacionales, se designa a la Fiabilidad como:

Norma Cubana NC 92-47.- Fiabilidad es la probabilidad que tiene un artículo de cumplir con las funciones asignadas, conservando en el tiempo, el valor de los requisitos de utilización establecidos, dentro de los límites, en correspondencia con las condiciones establecidas.

Norma Americana MIL 217B/70.- Fiabilidad o confiabilidad es la capacidad de un elemento o artículo de satisfacer una función requerida en condiciones fijadas, por un período de tiempo establecido.

Norma Francesa AFNOR X06.50L.- Fiabilidad, característica de un dispositivo expresada, por la probabilidad, de que este dispositivo cumpla una función requerida, en condiciones de utilización, por un período determinado.

Norma Italiana UNI 5497.- La confiabilidad de un objeto es la tendencia de satisfacer una función requerida, en condiciones fijadas, por un período de tiempo establecido.

La Fiabilidad es uno de los problemas fundamentales de la Ingeniería. En la actualidad el problema de la Fiabilidad o seguridad de las máquinas, sistemas técnicos y de sus componentes se han agudizado fuertemente, fundamentalmente debido a las siguientes causas:

- Complejidad de los sistemas técnicos modernos que incluye hasta 10^4 - 10^6 elementos individuales.
- Intensidades de regímenes de trabajo o funcionamiento del sistema o sus partes individuales: a altas temperaturas, altas presiones, altas velocidades.
- La complejidad de las condiciones en que se opera: alta o baja temperatura, alta humedad, vibración, aceleración, y radiación, etc.
- Exigencia en la calidad del trabajo, alta presión, efectividad, etc.
- Automatización total o parcial y la exclusión de la participación directa del hombre, cuando sus funciones las cumple el sistema técnico.
- El aumento de responsabilidades de las funciones cumplidas por la máquinas; alto valor técnico y económico de la interrupción brusca o falla.

Esto da lugar a que las probabilidades de aparición de fallas puedan incrementarse en 25-100 veces en comparación con la probabilidad de fallas al trabajar las máquinas y los sistemas técnicos en condiciones de laboratorios.

La complejidad de las máquinas y equipos, las difíciles condiciones de funcionamiento dificultan el control del buen estado de los componentes, lo que no permite descubrir a tiempo los procesos, que dan lugar a las fallas y prever su aparición. Las responsabilidades de las funciones a cumplir por los sistemas técnicos modernos, máquinas y equipos, están relacionadas con que su falla da lugar a grandes pérdidas técnicas y económicas. El problema

de garantizar la fiabilidad está vinculado con todas las etapas de diseño, producción y período de servicio de una máquina, equipo, sistema o componente.

La Fiabilidad de una máquina se prevé durante su diseño y cálculo y se garantiza en su producción mediante la utilización correcta de tecnología de fabricación, control de calidad de materiales iniciales, productos semi acabados y producto terminado, control de regímenes y condiciones de elaboración.

La Fiabilidad de las máquinas se conserva utilizando métodos correctos de almacenamiento y se mantiene con su correcto funcionamiento, mantenimiento sistemático, control preventivo y la reparación.

La teoría de la Fiabilidad es la encargada de estudiar los procesos de envejecimiento de las máquinas y mecanismos, entendiéndose por envejecimiento al cambio de calidad en el tiempo, y por fiabilidad, la probabilidad que tienen los artículos y sistemas en general de cumplir las funciones prefijadas a él, manteniendo el nivel de sus parámetros dentro de los límites establecidos, en condiciones y regímenes de funcionamiento dados durante un periodo de tiempo prefijado, o en general, durante la realización de una labor determinada en las condiciones de funcionamiento establecida.

2.1.2.1 *Medidas de Fiabilidad*

La Fiabilidad se define como la probabilidad de que una máquina, sistema, componente determinado ejecute satisfactoriamente su función asignada durante su vida propuesta bajo condiciones de operación especificadas. Por lo tanto, la fiabilidad está relacionada con la probabilidad de funcionamiento eficaz.

Es importante definir lo que es un funcionamiento eficaz, o lo que significa el fallo de la máquina, de otro modo, no es posible predecir cuándo fallará en el desempeño de su función asignada.

El tiempo que tarda en fallar una máquina, es decir, su vida, no se puede determinar precisamente, por lo tanto, es una variable aleatoria. Consecuentemente, la fiabilidad se debe cuantificar asignándole una función de probabilidad a la variable aleatoria del tiempo de falla.

Se tiene básicamente los siguientes índices de fiabilidad:

Función de distribución de fallos acumulados o Probabilidad de fallo $F(t)$

Función de fiabilidad o Probabilidad de trabajo sin fallo $R(t)$

Función Densidad de probabilidad de fallo $f(t)$

Función tasa de fallos $\lambda(t)$

Tiempo medio entre fallos (TMEF)

2.1.2.2 Función Infiabilidad (t)

Es la probabilidad de que una máquina falle en un instante de tiempo $t = 0$ a $t = t$ ó $0 < t < t$.

Se supone que el sistema está operativo en el instante $t = 0$

$$F(t) = P[z \leq t]$$

Ecuación 1-2

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

Ecuación 2-2

Donde:

$F(t)$ = Función de distribución de la variable aleatoria z , (Infiabilidad)

$f(t)$ = Función densidad de probabilidad de fallo

z = instante de fallo

t = tiempo

$P[z \leq t]$ = Probabilidad

2.1.2.3 Función Fiabilidad (t)

Es la probabilidad de que el artículo no falle antes de un tiempo t, viene dado por:

$$R(t) = 1 - F(t) = P[z \geq t] \quad \text{Ecuación 3-2}$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad \text{Ecuación 4-2}$$

2.1.2.4 Densidad de Probabilidad f(t)

Es la probabilidad de que ocurra un fallo en el intervalo de tiempo t y t + Δt.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad \text{Ecuación 5-2}$$

2.1.2.5 Tasas de Fallos λ(t)

La función del porcentaje de averías permite la determinación del número de las fallas que ocurren por tiempo de la unidad.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad [\text{fallos / hora}] \quad \text{Ecuación 6-2}$$

$$\lambda(t) = -\frac{d}{dt} \frac{R(t)}{R(t)} = -\frac{1}{R(t)} * \frac{dR(t)}{dt} \quad \text{Ecuación 7-2}$$

Esta ecuación diferencial nos indica que la tasa de falla no es sino una medida de la variación del índice de supervivientes por unidad de tiempo. Integrando esta ecuación se tiene:

$$\int_0^t \lambda(t) dt = \int_0^t \frac{-dR(t)}{R(t)} = -Ln [R(t)]$$

Ecuación 8-2

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$$

Ecuación 9-2

2.1.2.6 Tiempo Medio entre Fallos (TMEF)

Es la vida media del elemento y es la esperanza matemática del tiempo de funcionamiento hasta el fallo de un elemento cuya densidad de fallos es f(t):

$$TMEF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Ecuación 10-2

En la Figura 2-2 representamos gráficamente y en forma general los parámetros expuestos en la Ecuación 3-2:

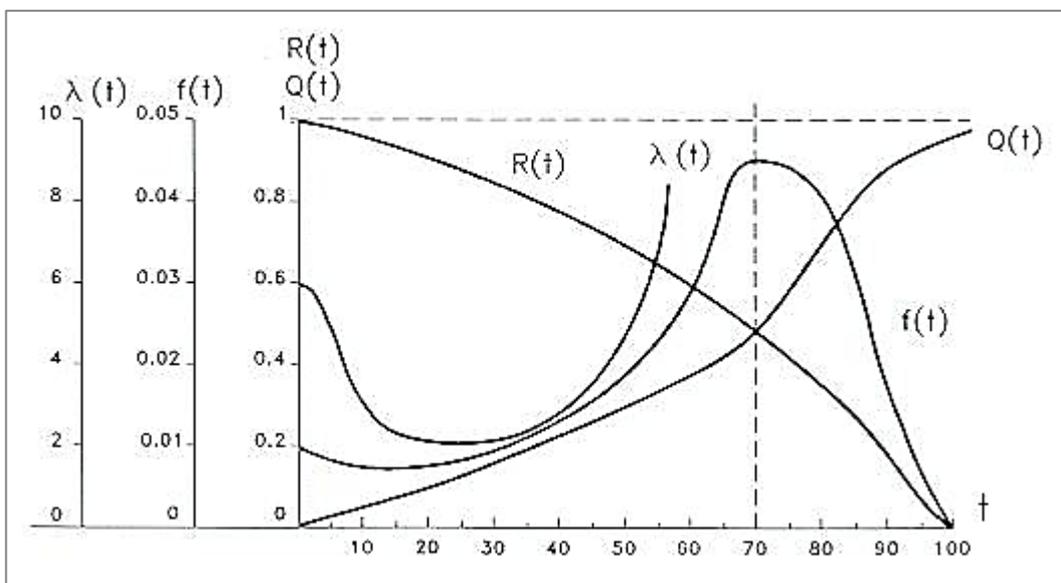


Figura 2-2 Representación gráfica general de los parámetros de fiabilidad

Fuente: Centro Nacional de Condiciones de Trabajo (2012)

Realizado por: José Tamborero del Pino, 2012

2.1.3 Modelos de distribución de Probabilidad

En principio se puede utilizar cualquier función de distribución para crear un modelo de duración de equipos. En la práctica, las funciones de distribución que tienen funciones de riesgo monótonicas parecen más realistas y, dentro de esta clase, existen unas pocas que son consideradas como aquellas que proporcionan los modelos más razonables de fiabilidad de dispositivos. La función de distribución que se utiliza más a menudo para modelar la fiabilidad es la distribución exponencial. Este es un modelo de fiabilidad de dispositivos porque: en primer lugar, es sencillo desde el punto de vista algebraico y, segundo se considera representativo del intervalo de vida funcional del ciclo de vida del dispositivo.

Algunas personas creen que las empresas gestionan sus componentes o dispositivos envejeciéndolos a lo largo del ciclo de vida inicial antes de ponerlos en servicio. Se esperan que los dispositivos estén obsoletos antes de llegar al período de desgaste, de forma que un modelo apropiado de fiabilidad de dispositivos es uno que tiene un riesgo constante. Este punto de vista es controvertido. No obstante, se utiliza mucho el modelo exponencial.

La distribución exponencial es la única distribución de probabilidad que tiene una función de riesgo constante. Un modelo de distribución de vida alternativo que también se utiliza mucho es la distribución Weibull.

2.1.3.1 *Distribución Exponencial*

La distribución exponencial es una distribución comúnmente usada en la ingeniería de la confiabilidad. Matemáticamente, es una distribución bastante simple, que muchas veces conducen a su utilización en situaciones inadecuadas. Este, en hecho, es un caso especial de la distribución de Weibull donde $\beta = 1$.

La distribución exponencial se utiliza para modelar el comportamiento de las unidades que tienen un porcentaje de averías constante, es decir que no degraden con el tiempo.

Se utiliza comúnmente entonces, para predecir la fiabilidad de componentes eléctricos y electrónicos.

Se caracteriza porque la tasa de fallos es constante, es decir: $\lambda(t)=const.$, y se la define matemáticamente como:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

Ecuación 11-2

En esta definición, observe que t es nuestra variable al azar que representa el tiempo y la letra griega λ (lambda) representa qué se refiere comúnmente como el parámetro de la distribución.

Dependiendo del valor de t , $f(t)$ será escalado diferentemente.

Dado la representación matemática de una distribución, podemos también derivar todas las funciones necesitadas para el análisis de datos de la vida, que dependerá otra vez solamente del valor de t después de que el valor del parámetro o de los parámetros de la distribución se haya estimado de datos.

2.1.3.2 Distribución Weibull

La distribución de Weibull, que recibe el nombre del investigador sueco que la desarrolló, se caracteriza por considerar la tasa de fallos variable, siendo utilizada por su gran flexibilidad, al poder ajustarse a una gran variedad de funciones de fiabilidad de dispositivos o sistemas. En general es de gran aplicación en el campo de la mecánica.

Es una distribución de fines generales de la confiabilidad, usada para predecir la fiabilidad en componentes mecánicos y a la vez nos sirve para determinar el efecto del mantenimiento.

Variando el parámetro de forma β se puede obtener otros modelos de distribución. Así, si $\beta = 1$ es una Distribución Exponencial.

La distribución de Weibull, permite caracterizar fallos en la edad infantil, vida útil, y desgaste del equipo, o sistema.

Aunque existen varios tipos de soluciones analíticas de la distribución de Weibull, la mayoría de ellos no son utilizados debido a su complejidad. En su lugar se utiliza la resolución gráfica a base de determinar un parámetro de origen. Un papel especial para gráficos, llamado papel de Weibull, hace esto posible. El procedimiento gráfico, aunque exige varios pasos y una o dos iteraciones, es relativamente directo y requiere, a lo sumo, álgebra sencilla.

La distribución de Weibull nos permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente clave de seguridad que pretendemos controlar y que a través de nuestro registro de fallos observamos que estos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso.

El método no determina cuáles son las variables que influyen en la tasa de fallos, pero al menos la distribución de Weibull facilitará la identificación de aquellos y su consideración, aparte de disponer de una herramienta de predicción de comportamientos. Esta metodología es útil para aquellas empresas que desarrolla programas de mantenimiento preventivo de sus instalaciones.

En la distribución de Weibull para tres parámetros, los índices de fiabilidad vienen determinados por:

Función Densidad de Probabilidad de Fallo $f(t)$. -

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t - t_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha} \right)^\beta}$$

Ecuación 12-2

Donde:

α = Parámetro de escala ó vida característica

β = Parámetro de forma.

T = Tiempo de predicción.

t_0 = Tiempo inicial o parámetro de localización.

Función Tasa de Fallos o Porcentaje de Averías $\lambda(t)$.

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t - t_0}{\alpha} \right)^{\beta - 1}$$

Ecuación 13-2

Función Fiabilidad o Probabilidad de Trabajo Sin Fallo $R(t)$.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t - t_0}{\alpha}\right)^\beta}$$

Ecuación 14-2

Función Infiabilidad o Probabilidad de Trabajo con Fallo $F(t)$.

$$F(t) = 1 - R(t)$$

Ecuación 15-2

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t - t_0}{\alpha}\right)^\beta}$$

Ecuación 16-2

Estas fórmulas están dadas para las siguientes condiciones:

$$t - t_0 > 0$$

$$\alpha \geq 0$$

$$\beta > 0$$

Cuando $(t - t_0) = \alpha$. Entonces:

$$R(t) = e^{-1} = 0,368 = 36,8\%$$

Ecuación 17-2

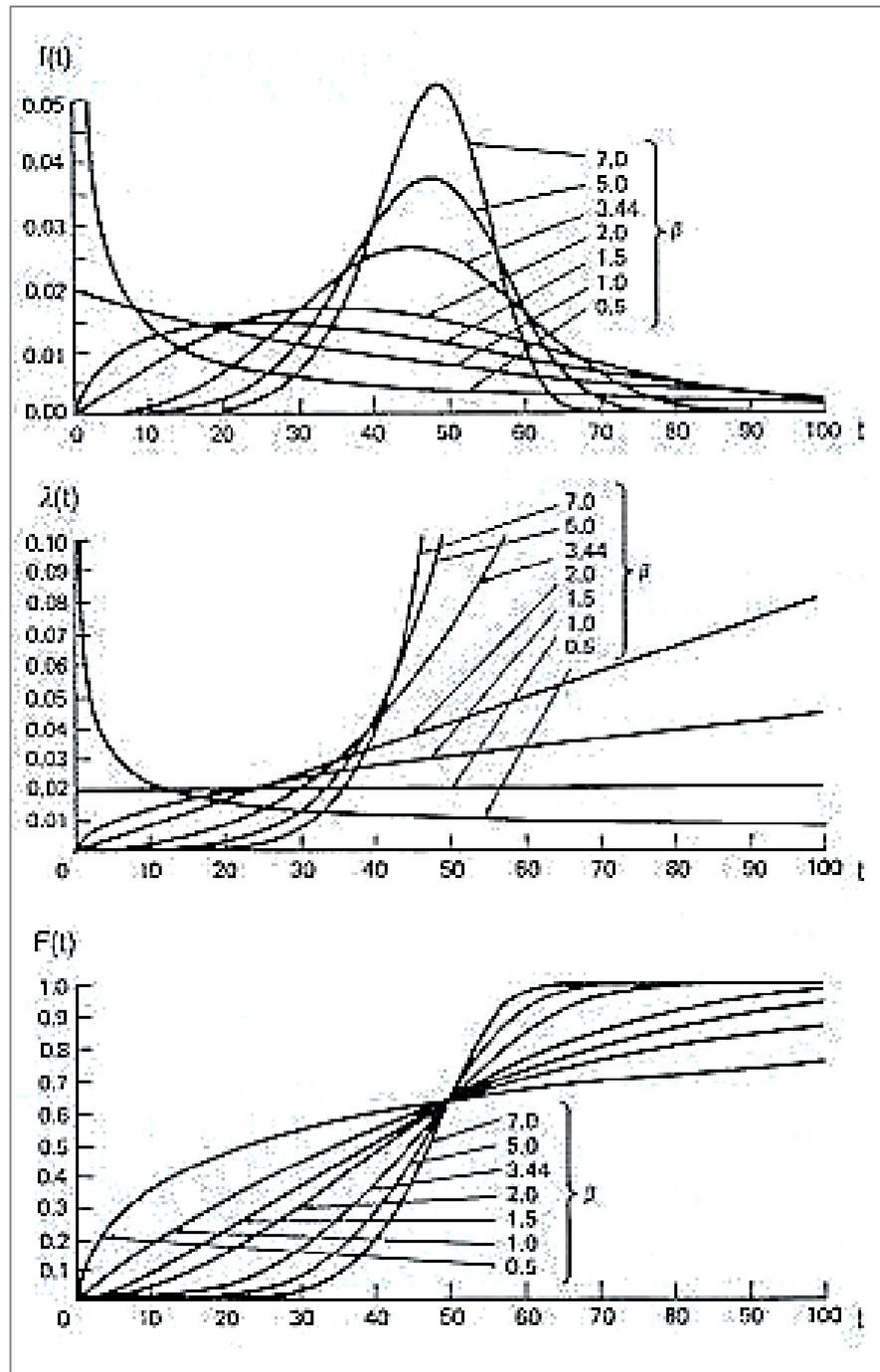


Figura 3-2 Variación de la densidad de probabilidad $f(t)$, tasa de fallos $\lambda(t)$ y la función acumulativa de fallos $F(t)$ en función del tiempo para distintos valores del parámetro de forma β

Fuente: Centro Nacional de Condiciones de Trabajo (2012)

Realizado por: José Tamborero del Pino, 2012

En el estudio de la distribución se pueden dar las siguientes combinaciones de los parámetros de Weibull con mecanismos de fallo particulares:

a.-

- $t_0 = 0$: el mecanismo no tiene una duración de fiabilidad intrínseca, y:
- Si $\beta < 1$ la tasa de fallos disminuye con la edad sin llegar a cero, por lo que podemos suponer que nos encontramos en la juventud del componente con un margen de seguridad bajo, dando lugar a fallos por tensión de rotura.
- Si $\beta = 1$ la tasa de fallo se mantiene constante siempre lo que nos indica una característica de fallos aleatoria. En este caso nos encontramos que la distribución de Weibull es igual a la exponencial.
- Si $\beta > 1$ la tasa de fallo se incrementa con la edad de forma continua lo que indica que los desgastes empiezan en el momento en que el mecanismo se pone en servicio.
- Si $\beta = 3,44$ se cumple que la media es igual a la mediana y la distribución de Weibull es sensiblemente igual a la normal.

b.-

- $t_0 > 0$: El mecanismo es intrínsecamente fiable desde el momento en que fue puesto en servicio hasta que $t = t_0$, y además:
- Si $\beta < 1$ hay fatiga u otro tipo de desgaste en el que la tasa de fallo disminuye con el tiempo después de un súbito incremento hasta t_0 ; valores de β bajos ($\sim 0,5$) pueden asociarse con ciclos de fatigas bajos y los valores de β más elevados ($\sim 0,8$) con ciclos más altos.
- Si $\beta > 1$ hay una erosión o desgaste similar en la que la constante de duración de carga disminuye continuamente con el incremento de la carga.

c.-

- $t_0 < 0$. Indica que el mecanismo fue utilizado o tuvo fallos antes de iniciar la toma de datos, de otro modo
- Si $\beta < 1$ podría tratarse de un fallo de juventud antes de su puesta en servicio, como resultado de un margen de seguridad bajo.
- Si $\beta > 1$ se trata de un desgaste por una disminución constante de la resistencia iniciado antes de su puesta en servicio, por ejemplo, debido a una vida propia limitada que ha finalizado o era inadecuada.

Matemáticamente utiliza el método de Categoría mediana para realizar los cálculos.

Algoritmo del Programa Fiasoft.

Se necesita los siguientes datos:

- 1.- Número de observaciones de la muestra.
- 2.- Definición del tipo de ensayo. (Completo o censurado)
- 3.- Fallas o suspensiones. (Ciclos, tiempo, Km.)

Determinación del software:

- 1.- Probabilidad de falla por categoría mediana.

$$F(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$$

- 2.- Linealiza la ecuación de Weibull.

$$X_i = \ln(t - t_0)$$

$$Y_i = \ln[-\ln(1 - F(t))]$$

- 3.- Realiza un ajuste de la recta por el método de los mínimos cuadrados

$$Y = \beta X + C$$

- 4.- Evalúa la recta por el coeficiente de correlación.

$0.9 \leq r \leq 1$	Correlación excelente
$0.8 \leq r \leq 0.9$	Correlación Buena
$0.6 \leq r \leq 0,8$	Correlación aceptable
$r \leq 0.6$	Correlación mala

5.- Con la recta $Y = \beta X + C$ se determina el parámetro de forma β , correspondiente a la pendiente de la recta y la vida característica α , y la tasa de fallo característica.

$$\lambda_o = \frac{1}{\alpha}$$

6.- Determina los índices de fiabilidad

R(t)

F(t)

$\lambda(t)$

f(t)

TMEF

Para el análisis se utiliza el software Fiasoft que determina la Fiabilidad.

2.1.4 Curva de Davis asociada al Mantenimiento

Dado que la tasa de fallos varía respecto al tiempo, su representación típica tiene forma de bañera, debido a que la vida de los dispositivos tiene un comportamiento que viene reflejado por tres etapas diferenciadas:

- 1.- Fallos iniciales (Tasa decrece)
- 2.- Fallos normales (Tasa constante)
- 3.- Fallos de desgaste (Tasa aumenta)

En la Figura 4-2 se puede ver la representación de la curva típica de la evolución de la tasa de fallos.

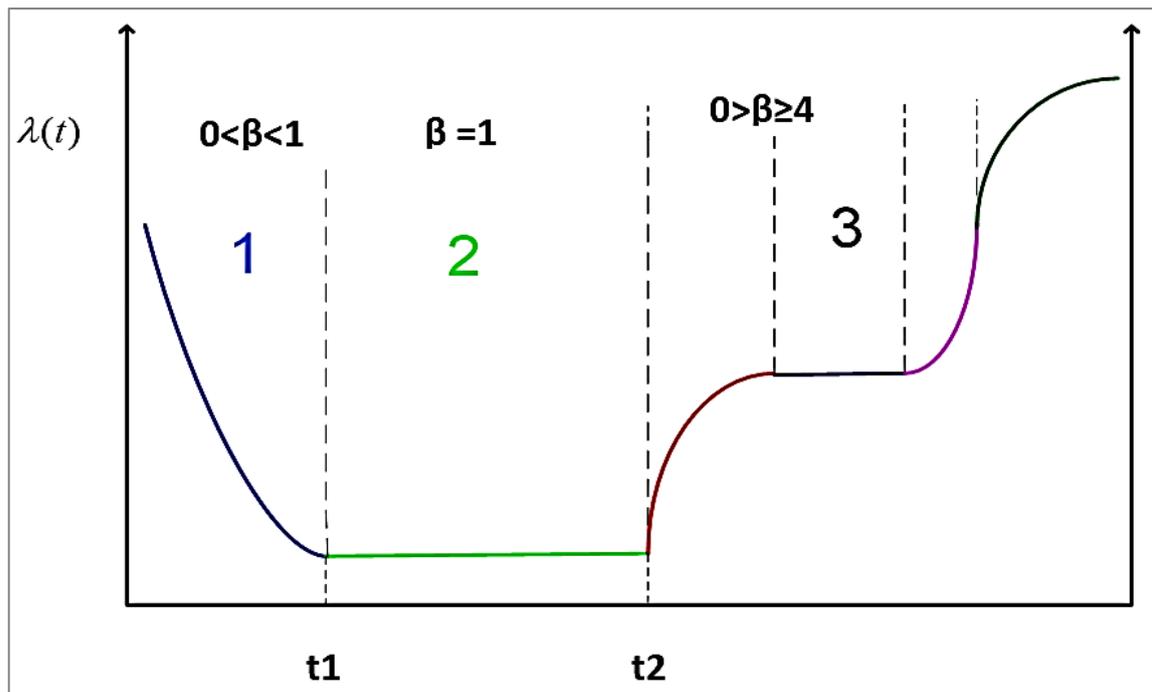


Figura 4-2 Curva de la bañera o curva de ciclo de vida de un equipo

Fuente: Apuntes personales (2015)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2015

2.1.4.1 Período de fallas infantiles o fallas iniciales

Generalmente, la población total de artículos o de un sistema presenta un alto índice de falla relativamente alto en el principio, el cual decrece rápidamente y se estabiliza a un tiempo aproximado t_1 . Por lo común este período inicial se le denomina período de arranque, falla precoz o de depuración. La población de artículos tiene artículos “débiles” y estos fallan al principio. Para entender la naturaleza de estas fallas precoces se listan algunas de sus causas.

- Control de calidad deficiente.
- Defectos de materiales de diseño o de fabricación.
- Montajes, ajustes o construcciones defectuosas.
- Calidad defectuosa de instalación.
- Materiales inferiores a los estándares.
- Técnicas de fabricación deficientes.
- Técnicas de manejo y proceso deficientes.

- Problemas debido al ensamblaje.
- Contaminación.
- Instalación inadecuada.
- Inicio inadecuado.
- Error humano.
- Falla de partes por el almacenamiento.
- Métodos inadecuados de empaque y transporte.

Muchas de estas fallas se deben al control de calidad, consecuentemente estas fallas se detectarán durante el control del proceso, en las pruebas durante el proceso, o al final de éste, en las pruebas vitales, ambientales y otras. Muchos fabricantes prevén un período de arranque para sus artículos, de tal modo que estas fallas ocurran en la planta y no cuando el cliente los utilice.

Las fallas infantiles se pueden eliminar mediante:

- Acciones correctivas o modificativas de mantenimiento.
- Chequeo de calidad de equipos de equipos y montaje.
- Procedimientos sistemáticos de selección controlada.
- Control de calidad.
- Pruebas de arranque.
- Montaje de equipos adecuados.

2.1.4.2 *Periodo de vida útil o fallas normales*

Una vez realizada la prueba de inicio, la población de artículos alcanza su nivel más bajo de índice de falla, permaneciendo éste relativamente constante durante este periodo. El índice de falla está relacionado con la fiabilidad de diseño inherente al producto, y, por lo tanto, se le otorga mayor importancia durante la fiabilidad de diseño. Constituye el periodo más el significativo para la predicción de la fiabilidad y las actividades de evaluación.

Algunas de las causas de estas fallas son las siguientes:

- Bajos factores de seguridad
- Mala utilización de los equipos.
- Cambio constante de las condiciones de operación.
- Cargas imprevistas más altas que las esperadas.
- Resistencia aleatoria más baja que la esperada.
- Defectos que no se pueden detectar en las técnicas posibles.
- Errores humanos.
- Fallas que no se pueden observar durante el arranque.
- Fallas que no se pueden prevenir mediante las mejores prácticas de mantenimiento preventivo.
- Causas inexplicables.
- Fallas inesperadas o accidentes.

Las fallas durante la vida útil se pueden reducir al mínimo:

- Proporcionando un diseño adecuado o márgenes de seguridad.
- Control de todas las variables técnicas y humanas de operación.
- Usar eventualmente acciones especiales de mantenimiento, según la falla presentada en particular.

2.1.4.3 *Período de Desgaste*

La mayoría de los artículos se diseñan para que tengan un período determinado de vida útil, el tiempo t_2 indica el final de la vida útil o el inicio del período de desgaste, después de este punto el índice de falla aumenta rápidamente.

En determinado momento, los costos de mantenimiento e indisponibilidad serán tan elevados que el equipo deberá sustituirse, alternativamente, podría implementarse una política de sustitución de elementos que permita aumentar el período de vida útil.

El desgaste o deterioro se da se debe a cierto número de causas, químicas, físicas, mecánicas, algunas de las cuales son las siguientes:

- Corrosión u oxidación.
- Desgastes y degradaciones, debido al roce mecánico, al uso, al abuso, u otras consideraciones técnicas del tiempo.
- Desgaste por fricción o fatiga.
- Envejecimiento o degradación.
- Deformación progresiva.
- Prácticas deficientes de mantenimiento.
- Corta vida de diseño.

Podemos apreciar en la figura 4-2 que esta fase se subdivide en varias etapas que son:

- 1.- Distribución de fallas creciente, cóncava, para $1 < \beta < 2$
- 2.- Distribución de fallas constante, para $\beta = 2$ o conocida como Rayleigh.
- 3.- Distribución de fallas creciente y convexa para, $2 < \beta < 3$
- 4.- Distribución de fallas creciente es aproximada a la distribución Normal, simétrica, para $3 \leq \beta \leq 4$

Para retardar la aparición de la tercera etapa, puede acudirse a:

- Sustitución inmediata de los componentes del dispositivo o equipo cuando éstos fallen.
- Vigilar y controlar las variables todas las variables técnicas y humanas de mantenimiento.
- Eventualmente pueden usarse acciones correctivas y modificativas dependiendo de su costo.
- El LCC (Costo de ciclo de vida) es el principal parámetro con relación al coste de mantener para determinar el momento del reemplazo o modificación sustancial.
- Sustitución antes de que finalice su vida útil mediante planes de mantenimiento preventivo.

- Vigilar y controlar todas las variables técnicas y humanas de mantenimiento.
- Realizar acciones preventivas y modificativas del mantenimiento.

Del análisis de la curva de vida característica se concluye: Dependiendo de la magnitud de los tiempos t_1 y t_2 , se pueden desarrollar varios tipos de curvas características de vida.

2.1.5 Software para el análisis de la Fiabilidad

Existen diversos software para determinar los índices de Fiabilidad a través de la distribución Weibull entre los que se va utilizar se tiene: FIASOFT y RELEX

2.1.5.1 Software Fiasoft Versión 1.0.0

Mediante este software Fiasoft se determina los índices de Fiabilidad en maquinaria y equipos industriales con sus respectivas gráficos utilizando Weibull tomando en cuenta el tiempo entre fallos previamente recopilados de la base de datos de Gestión de Mantenimiento Oil & Gas de los motores de la Central de Generación de la estación Guanta.

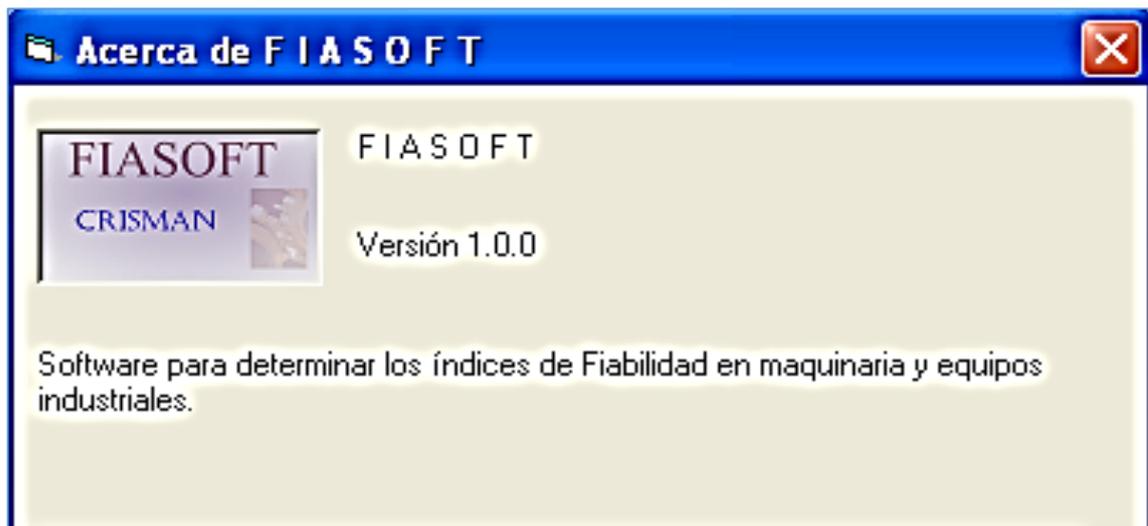


Figura 5-2 Software Fiasoft

Fuente: Software Fiasoft. (2016)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

También calcula datos de:

- Parámetros de forma β
- Parámetro de Vida característica α
- Fiabilidad
- Infiabilidad
- Tazas de fallo

El cálculo se lo realiza en el software Fiasfot mediante el ingreso de datos.

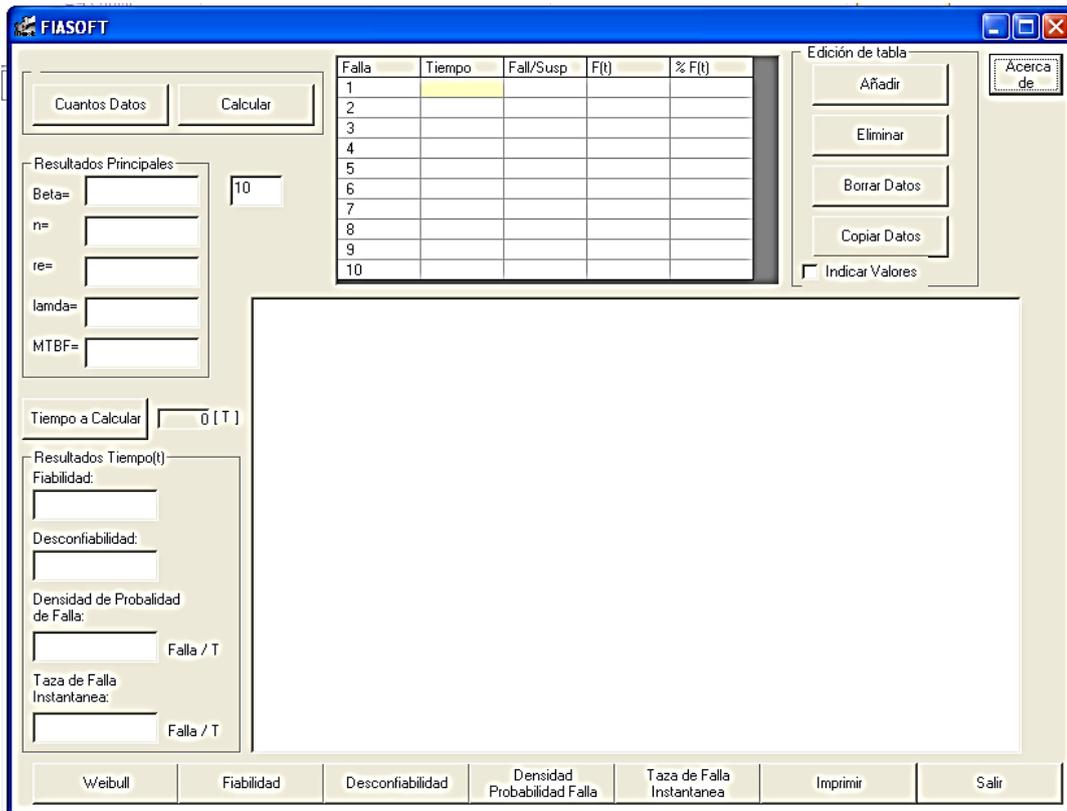


Figura 6-2 Pantalla Software Fiasoft

Fuente: Software Fiasoft. (2016)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

2.1.5.2 Software Relex 2009 Versión Evaluación

Incluye potente motor de simulación inteligente como es el método de Monte Carlo, es compatible con el sistema de red simple serie-paralelo.

Maneja varias distribuciones de falla y reparación entre ellas incluyen:

- Exponencial
- Normal
- Log normal
- Weibull
- Rayleigh
- Independiente del tiempo
- Uniforme

Soporta 99 niveles de deshacer y rehacer.

Realiza cálculos de fondo para el uso eficiente del tiempo de proceso, permite la creación de diagramas visualmente agradables e ilustrativos; además, soporta selección de imágenes, fuentes, el tamaño y colores.

Realiza la fiabilidad, la disponibilidad, la tasa de fracaso, y los cálculos MTBF y MTTF; así mismo, incluye algoritmo de optimización de repuestos.



Figura 7-2 Software RELEX

Fuente: Software Relex (2009)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

En el núcleo del módulo Relex RBD es la capacidad de simulación Monte Carlo altamente sofisticado. Permite Relex RBD para manejar todo, desde los sistemas básicos serie / paralelo hasta complejas configuraciones de red aleatorias.

El módulo de cálculo incluye una capacidad de decisión muy inteligente que analiza el diagrama. En realidad no cuenta con uno, sino varios métodos de análisis de los diagramas de modo que los cálculos se han optimizado basados en la configuración del sistema.

Relex determina el método más rápido y más eficiente de realizar el cálculo, debido a que la simulación de Monte Carlo se ejecuta como un proceso separado, se puede seguir utilizando Relex mientras que sus cálculos se ejecutan en segundo plano.

2.1.6 Fiabilidad de sistemas

2.1.6.1 *Sistemas en serie*

Según se presenta: “En los sistemas Serie es suficiente con que un solo elemento se dañe para interrumpir toda la cadena” (Corno, Rebaudengo y Sonza, p.80, s/f). Por lo tanto, un sistema serie es aquel que funciona si y solo si funcionan todos los componentes que lo conforman.

2.1.6.2 *Sistemas en paralelo*

De la misma manera, “un sistema paralelo es aquel que funciona mientras funcione al menos uno de sus componentes. El fallo de un componente permite que el resto de los componentes funcionen” (Martínez, 2014).

2.1.6.3 *Sistemas complejos*

Se encuentra que “no todos los sistemas pueden descomponerse como combinaciones de subsistemas en serie/ paralelo, por ello es necesario otros métodos de análisis” (Martínez 2014).

2.1.7 Redundancia

La redundancia en un sistema es el uso de componentes adicionales con la finalidad aumentar su Fiabilidad. Existen dos tipos de redundancia: activa y pasiva.

En la redundancia activa todos los componentes redundantes operan desde un inicio con los otros del sistema.

En la redundancia no activa (stand-by) los componentes redundantes trabajan solo cuando falla uno de los que están operando en el sistema.

2.1.8 Central de Generación de Guanta

2.1.8.1 *Ubicación*

La Central de Generación Eléctrica de Guanta está ubicada en el Estación Guanta del Bloque 56 Lago Agrio, en la parroquia El Eno, está formada por el área de generadores, sala de control, sala de reinyección y la subestación. En el área de generadores hay cuatro generadores que funcionan a diesel.

2.1.8.2 Funcionamiento

La Central de Generación Eléctrica de Guanta está constituida por cuatro grupos de generadores marca: CATERPILLAR modelo: 3512C serie: 1GZ potencia nominal: 1280 kW potencia efectiva: 700 kW instalados en paralelo, trabajan los tres las 24 horas 365 días y el cuarto esta de backup para realizar los mantenimientos preventivos de los motores con sincronismo y evitar pérdidas de producción o para suplir a uno de los motores que presente falla y requiera realizarse su mantenimiento correctivo.

Junto a la central eléctrica se encuentra la Estación de Bombeo de Crudo de la Estación Guanta, que consta de cuatro grupos de bombeo. Los grupos generadores, funcionan las 24 horas al día, los 365 días del año.

Tabla 1-2 Datos Técnicos de los Grupos Generadores de la Central Guanta

Grupo	Motor	Potencia (HP)	Modelo	Generador	Potencia (KW)	Potencia Real (KW)	Combustible
N°1	CAT	600	3512C	KATO	1280	700	DIESEL
N°2	CAT	600	3512C	KATO	1280	700	DIESEL
N°3	CAT	600	3512C	KATO	1280	700	DIESEL
N°4	CAT	600	3512C	KATO	1280	700	DIESEL

Fuente: Trabajo de campo ESINGECO (2014)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

2.1.9 Motores Caterpillar 3512

2.1.9.1 Evolución de los motores Caterpillar 3512

Los motores Caterpillar 3512 han evolucionado, de acuerdo a su producción desde el año 1980, en diferentes fases y series de la siguiente manera:

Tabla 2-2 Fases y series de motores Caterpillar

Producción	Evolución	Inyección
1980	Fase 0	MUI
1985	Fase 1	MUI
1988	Fase 2	MUI
1995	Serie B	MEUI
2000	Serie B HD	MEUI
2005	Serie C	MEUI
-	Serie C HD	MEUI

Fuente: Parra, Angelo (p.32, 2014)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016



Figura 8-2 Motor Caterpillar 3512

Fuente: CAT IASA (2005)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

2.1.9.2 Comparación entre motores Caterpillar 3512 de la serie B y C

Tabla 3-2 Comparación entre motores Caterpillar 3512

Modelo Característica	3512B	3512C
Emisiones	EPA 2002 Tier 1	EPA 2006 Non Road Tier 2
Desplazamiento	51.8 litros	58.6 litros
Governor	Electronic ADEM II	Electronic ADEM A3
Aspiración	TA	TA /ATAAC
Peso	5715 Kg	6500 Kg

Fuente: Parra, Angelo (p.36, 2014)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

2.1.9.3 Aplicación petrolera de los motores Caterpillar 3500C

Tabla 4-2 Aplicación petrolera de los motores Caterpillar 3500C

3508C Land Mech	900 hp @ 1200 rpm
3508C Land SCR	915 hp @ 1200 rpm
3512C HD Land Mech	1250 hp @ 1200 rpm
3512C HD Land Mech	1475 hp @ 1200 rpm
3512C Land SCR	1477 hp @ 1200 rpm
3512C OS SCR	1477 hp @ 1200 rpm
3516C HD OS SCR	1855 hp @ 1200 rpm
3516C HD OS SCR	2150 hp @ 1200 rpm
3512C HD Frac	2250 hp @ 1900 rpm
3512C HD Frac	2500 hp @ 1900 rpm

Fuente: Investigación de campo (2016)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

2.1.9.4 Especificaciones técnicas motores Caterpillar 3512 C

Las especificaciones técnicas de los Motores Caterpillar 3512C Serie 1GZ de la Central de Generación de Guanta son:

Potencia del motor.....	1824 HP
Cilindros.....	60 grados V-12
Válvulas por cilindro.....	4
Desplazamiento de pistones....	3158 in ³ (51,8L)
Diámetro y Carrera.....	6.7" x 7.5" (170X190mm)
Tasa de compresión.....	14:01
Combustión	Inyección directa
Orden de encendido.....	Rotación standar CCW
(Secuencia de inyección).....	1,12,9,4,5,8,11,2,3,10,7,6
Juego de válvulas	Admisión 0.50 mm (0,020 in) Escape 1.00 mm (0.040 in)

2.1.10 Fallas en los elementos de los Motores Caterpillar

2.1.10.1 Bielas

La mayoría de las cargas en una biela son la tensión y la compresión cíclica de acuerdo con su longitud.

Las bielas también están sometidas a cargas de flexión cíclicas de la función de inercia o de batido causada por la rotación del cigüeñal.

2.1.10.2 Áreas de Alta Tensión

Las áreas de alta concentración de tensiones se las describe en la siguiente figura:

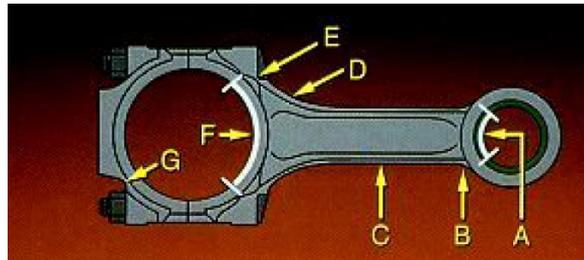


Figura 9-2 Áreas de alto stress de la Biela

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

- A. Inferior 120° del vástago y orificio del bushing
- B. Mezcla entre el vástago y orificio del bushing
- C. Medios del vástago
- D. Mezcla entre el vástago y el orificio del cigüeñal
- E. Filetes cerca de los asientos de cabeza de perno
- F. 120° del orificio del cigüeñal
- G. Filetes cerca de los asientos de la tuerca del perno

2.1.10.3 Condiciones Anormales

Las condiciones anormales que causan fallos biela incluyen:

- a) Las fuerzas externas que permite doblar o romper bielas.
- b) Fallas en los cojinetes que causan daños biela resultante.
- c) Volver a generar errores tales como la reutilización de las piezas dañadas por un fallo anterior.
- d) Aflojamiento o pernos de la biela rotos que causan daño en la biela.

2.1.10.4 Fuerzas externas

Las bielas dobladas por lo general indican señales de daños debido al impacto por alta energía sobre biela o pistón.

De vez en cuando se encuentra una biela sin daños por impacto sobre la misma o el pistón. En este caso, se debe investigar la posibilidad de un bloqueo hidráulico que a veces daña juntas de culata o agrieta las paredes de las camisas de los cilindros.

En la siguiente figura se muestra biela doblada por bloqueo hidráulico, en donde no hay daños causados por el impacto de fuerzas externas.



Figura 10-2 Biela doblada debido al bloqueo hidráulico

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016



Figura 11-2 Parte superior del pistón.

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

No hay indicación de golpes del pistón con la válvulas.



Figura 12-2 Parte superior del cojinete.

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

La mitad superior del cojinete se ve normal. El bloqueo hidráulico normalmente no suele causar fallas en el vástago del cojinete.

2.1.10.5 *Fallas en cojinetes*

Las condiciones generales que provocan fallas en los cojinetes que también puede resultar en daños biela son:

- a) Suministro de aceite insuficiente en el momento del fallo. Las señales de desgaste son: piezas de apoyo delgadas negras, azul negro biela / cigüeñal con colores de revenido hasta el vástago, pernos de biela se pueden estirar.
- b) Otras causas donde el suministro de aceite era normal en el momento de falla son: cojinetes pueden usados. La biela puede mostrar algo de decoloración del calor local, pero no azul / negro con colores de revenido el vástago.

El vástago, bulón o pernos pueden mostrar que progresa rápidamente la fatiga fracturas y / o tuercas pueden retroceder debido a la vibración causada por la pérdida de

espesor del cojinete.



Figura 13-2 Biela dañada por falta de lubricación.

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

Esta biela fue dañada debido a un suministro insuficiente de aceite en el momento del fallo.



Figura 14-2 Fallo de cojinete de biela lubricada.

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

El cojinete falló en esta biela con un buen suministro de aceite en el momento del fallo. Los pernos de biela estaban apretados al desmontar. El pistón muestra todo el daño resultante.



Figura 15-2 Daño del cojinete

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

El diámetro interior del cojinete muestra el contacto directo entre el cigüeñal y la biela después de que el cojinete se martilló en trozos delgados.



Figura 16-2 Daño en biela

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Partiendo caras de la biela se observa extrema corrosión por rozamiento de las cargas de martilleo pesada debido a la mayor holgura entre el muñón del cigüeñal y el agujero del cojinete.



Figura 17-2 Fractura por fatiga de cojinete

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Golpeteo cíclico debido a la pérdida de espesor de cojinete causada por la sobrecarga cíclica en el vástago de la varilla, fractura por fatiga.

2.1.10.6 Errores de Reconstrucción

La reutilización de las piezas dañadas, inadecuadas o con errores de reensamblado pueden causar fallos. Las señales de uso pueden indicar indicios de corrosión, piezas sueltas o de aumento de tensión anormales.



Figura 18-2 Biela fracturada.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Esta biela se fractura a través de un asiento de la cabeza del perno. El otro lado muestra el efecto de bisagra típico indicando que era el último lado a abrirse.

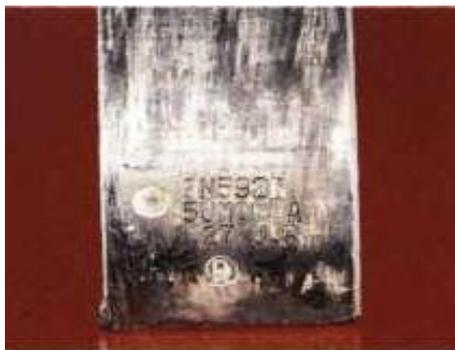


Figura 19-2 Parte posterior de cojinete fracturado.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La parte posterior del cojinete indica que no se ha hecho girar, fue liberado de la perforación, es de 1,27 mm (cigüeñal ha sido de tamaño inferior a una reparación anterior).



Figura 20-2 Fractura en el interior del orificio del cigüeñal.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Fractura por fatiga con el sitio de iniciación en la parte superior derecha de la cara de fractura en el interior del orificio del cigüeñal.

Se debe tener en cuenta la corrosión por fricción en la superficie del agujero que causó un elevado esfuerzo y la fractura por fatiga. La corrosión de contacto estuvo presente durante la reparación anterior o debido al gran tamaño del orificio durante el reacondicionamiento.



Figura 21-2 Bujete de la barra reemplazado

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Este bujete de la barra fue reemplazado en la reparación anterior.

Resultó perforado durante la operación, en contacto con el bulón del pistón y estalló una pieza que fue encontrado en el aceite de drenaje durante un cambio de aceite. El casquillo estuvo muy probablemente flojo debido a una perforación de gran tamaño o empujándolo dentro de tres picos sin precalentar el orificio.

2.1.10.7 Pernos Flojos

Las señales de uso más comunes de las bielas dañadas por pernos flojos son:

- a) Cojinete hilar fino daños por impacto mayoría secundarios.
- b) Poca o ninguna corrosión por fricción en las caras de despedida.

- c) El daño de rosca sobre toda el área roscada del perno.
- d) Los últimos hilos dañados de tuerca.
- e) Dependerá de la superficie de separación opuesto al lado donde la tuerca retrocedió.
- f) Perno en el lado con bisagras falló en la fractura dúctil.



Figura 22-2 Fallas debido a pernos flojos

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El cojinete muestra daños menores. Se debe tener en cuenta la bisagra sobre la superficie de separación inferior.



Figura 23-2 Caras con marcas de pulido

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Caras partidas tienen muy poca corrosión de contacto. Marcas de pulido de trama cruzada son todavía visibles.



Figura 24-2 Cabeza de vástago roto.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La pieza del vástago se rompe debido al impacto secundario, presenta daños de cizalla.



Figura 25-2 Pernos con daño.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Las roscas de los pernos están dañados en toda la longitud. Los últimos hilos son despojados de la tuerca.

2.1.10.8 Pernos Rotos

Las señales mas comunes de bielas dañadas por pernos rotos son:

- a) Cojinete sin hilar fino sobre todo los daños por impacto secundario.
- b) Poca o ninguna corrosión por fricción en las caras de las chaquetas.
- c) Un perno ya sea con una fractura por fatiga o daños de cizalla.
- d) De la superficie de separación opuesto al lado en el que el perno se cortó o se fracturó.
- e) Perno de la bisagra en el lado falló en fractura.



Figura 26-2 Fallo debido a un perno roto.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El perno superior tiene una fractura dúctil de sobrecarga.



Figura 27-2 Cojinete con poco daño.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Cojinete muestra poco daño solamente por el efecto secundario. Cojinete es de 1,27 mm de tamaño inferior al cigüeñal que indica una reparación anterior.



Figura 28-2 Vástago y perno con daño.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El vástago falló debido a impacto secundario - daños de cizalla. El perno roto tiene superficie plana y lisa con una fractura dúctil final y el labio cizalla.

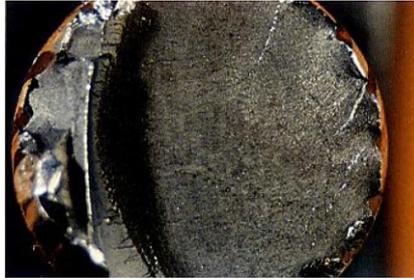


Figura 29-2 Acercamiento de fractura.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Una vista más cercana de la fractura por fatiga mostrando sitio de iniciación está en un hueco en la superficie estriada en la parte superior derecha de esta figura.

La abolladura es muy probablemente debido a los daños por manipulación durante la reconstrucción.

2.1.10.9 *Problemas de las Bielas*

Bielas se fabrican con mucho cuidado y control para evitar defectos de material o fabricación de cerca. Sin embargo en ocasiones en: forja, tratamiento térmico, mecanizado, granallado pueden ocurrir problemas inclusive de montaje.

2.1.10.10 *Forjado de Faldas*

Se producen cuando el metal se dobla en la parte superior de sí mismo en la matriz de forja. Señales de uso son una escamosa pre-grieta oscura debajo de la superficie de una pieza. La superficie oscura es causada por óxidos que se forman durante el forjado.



Figura 30-2 Forjado de faldas.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Una forjado de faldas se encuentra en esta biela durante la revisión normal. Se debe considerar la superficie oscura, escamosa del salto entre los dos pisos fresadas en el ojo varilla en la superficie superior.



Figura 31-2 Biela rota en el orificio del cigüeñal.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Esta biela se rompe a través de la orificio del cigüeñal en la mezcla entre el orificio del bulón y el vástago.

El cojinete no está hilado y tiene solamente un daño resultante.



Figura 32-2 La parte superior de la biela tiene una fractura dúctil que indica daño resultante.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 33-2 La fractura de biela es la fatiga con sitios de iniciación por debajo de la superficie de granallado.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Se debe tener en cuenta los múltiples sitios de iniciación y marcas de trinquete.



Figura 34-2 Una vista más cercana de los sitios de iniciación.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El área de pulido de la superficie de granallado a los sitios de iniciación es un pre-grieta. Lo más probable es la pre-grieta es una vuelta de forja que inició la grieta por fatiga.

2.1.10.11 *Tratamiento Térmico*

El tratamiento térmico aplaca las grietas también pueden ocurrir en bielas. Se forman cuando las partes calientes se enfrían demasiado rápido después del tratamiento térmico, provocando tensiones altas y repentinas de contracción. Las señales de uso son una pre-grieta frágil oscuro a partir de la superficie de una pieza.



Figura 35-2 Una grieta de temple causa una severa elevación de tensión.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 36-2 Superficie oscura, rugosa en la parte superior de la fractura vista más de cerca.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

2.1.10.11 *Mecanizado y Granallado*

Después del tratamiento térmico, bielas son granalladas y mecanizadas. Dependiendo del diseño, algunos asientos de cabeza de perno son granallado de nuevo. Si cualquiera de estas operaciones se realizan de forma inadecuada, pueden surgir problemas.



Figura 37-2 Indica una fractura por fatiga, se ha separado la biela en un asiento de la tuerca.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 38-2 Se ha sobrecargado el otro lado, la bisagra dúctil y fractura del perno.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Esta señal de uso dice que "el otro lado de la tapa de la biela se abrió en primer lugar".

2.1.10.12 Montaje

Las bielas también pueden ser dañados como resultado de errores de montaje.



Figura 39-2 Esta biela falló a través del orificio altamente cargado porción 120°.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 40-2 Impacto y los daños de cizalla indican que el orificio de la biela abrieron primero.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 41-2 Fractura por fatiga de partida

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Se observa una fractura por fatiga de partida en el interior del agujero del cojinete del bulón del pistón. Lo más probable es la fractura por fatiga fue resultado de un elevado esfuerzo.

2.1.11 Cojinetes

Los cojinetes deben ser instalados con los agujeros limpios y secos para maximizar el ajuste de fricción y la conducción del calor. Las pestañas de bloqueo están destinados a alinear el cojinete, no para impedir la rotación. La alineación de los agujeros de aceite también debe ser revisado en este momento.



Figura 42-2 Instalación de Cojinete

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

2.1.11.2 *Desgaste Normal*

A medida que progresa el desgaste normal, la capa delgada flash de estaño se desgasta, dejando al descubierto el recubrimiento de plomo-estaño más oscuro por debajo como se presenta en la siguiente figura.



Figura 43-2 Desgaste del cojinete

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 44-2 Desgaste del cojinete luego de miles de horas de servicio.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Después de miles de horas de servicio normal, la capa gruesa de plomo-estaño 0,001 pulgadas puede llevar a través de la zona de alta carga, dejando al descubierto la capa de aluminio por debajo.



Figura 45-2 Debilitamiento del cojinete.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

En mucho tiempo de trabajo, el enlace de plomo-estaño puede debilitar en la zona alta de carga, permitiendo romper la capa de aluminio.

El contacto deslizante de fatiga también puede causar grietas y separación de plomo-estaño en las zonas de alta carga.



Figura 46-2 Desgaste de plomo-estaño en las zonas de alta carga y erosión.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Después de altas horas de trabajo se espera el desgaste de plomo-estaño en las zonas de alta carga y la erosión de cavitación justo fuera de las zonas de alta carga.

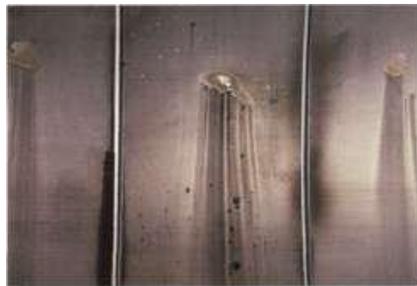


Figura 47-2 La erosión por cavitación puede progresar ligeramente en la capa de aluminio en condiciones normales.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 48-2 Grietas de fatiga.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Si se mantiene en servicio demasiado tiempo o si se opera bajo condiciones severas, las grietas de fatiga pueden desarrollarse en la capa de aluminio y causar desprendimientos.

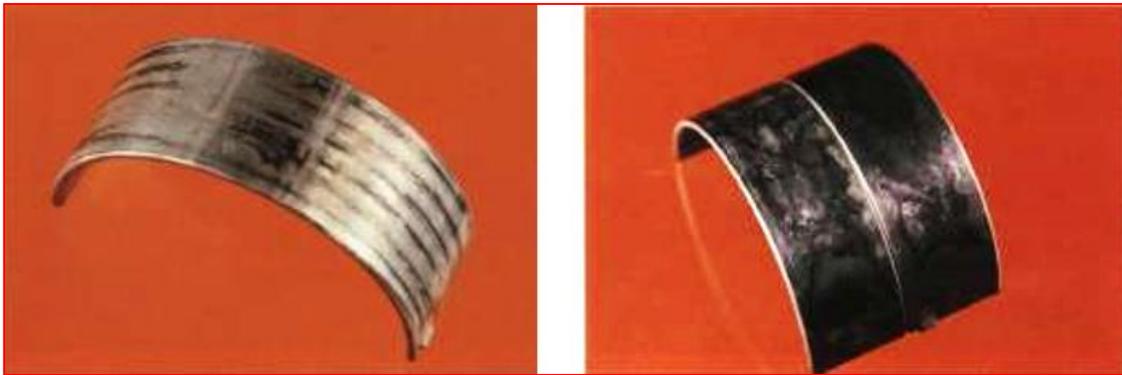


Figura 49-2 Decoloración en los cojinetes.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La espalda de los cojinetes también deben ser inspeccionados y pueden mostrar diferentes patrones normales de decoloración. Los patrones radiales pueden parecer alarmante, pero no se han asociado con fallas de los cojinetes.

2.1.11.3 *Desgaste Anormal*

Cuando se produce un desgaste anormal, daño físico que se realiza nos puede dar las pistas o "señales de uso" que nos guían a la causa correcta de la falla.



Figura 50-2 Condiciones anormales

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

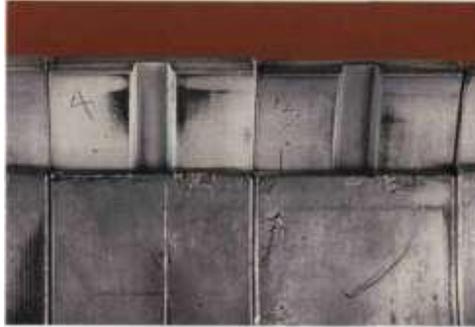


Figura 51-2 Identificación de la ubicación del cojinete.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El identificar con los números los cojinetes que llevan en el recubrimiento de plomo-estaño es una forma fácil y efectiva para identificar la ubicación del cojinete.

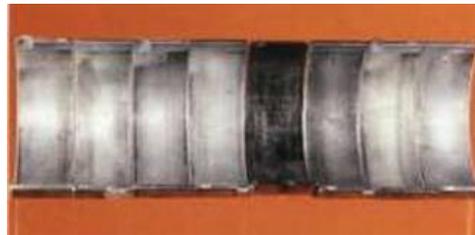


Figura 52-2 Ubicación correcta de cojinetes.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La correcta identificación de los cojinetes ayuda a visualizar los patrones, tipos y ubicaciones de desgaste.



Figura 53-2 Limpieza de cojinetes.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Si el material extraño ha contaminado los cojinetes, deben ser limpiados con mucho cuidado o se deben lavar cuidadosamente con disolvente para limpiarlo y un cepillo de cerdas suaves, métodos de limpieza fuertes deben evitarse.



Figura 54-2 Cojinetes contaminados.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Estos cojinetes han sido contaminados y necesitan una limpieza antes de la inspección.



Figura 55-2 Comparación de los tipos de limpieza del cojinete.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El cojinete de la izquierda no se limpió. El cojinete central se limpió con un trapo y el cojinete derecho enjuagado con disolvente limpio. Se observa cómo la limpieza trapo puede destruir hechos que necesitamos.

Después de una limpieza adecuada todas las superficies de los cojinetes deben ser inspeccionados y revisar los hechos de desgaste anormal obtenidos. Especialmente debemos buscar evidencias de calor, falta de alineación, y piezas de la competencia.



Figura 56-2 Afectación de altas temperaturas.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Los colores de revenido en piezas de acero indican la presencia de altas temperaturas y son generalmente el resultado de una falla del rodamiento.



Figura 57-2 El desgaste del lado opuesto sobre cojinete indica carga desalineada.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 58-2 Identificación de cojinetes competitivos.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Debido a que los cojinetes Caterpillar son el estaño con brillo y tienen un aspecto brillante, se debe inspeccionar la identificación del proveedor, cuando nos encontramos con algo inusual como un aspecto oscuro. Estos son cojinetes competitivos que han fallado debido a la separación de la capa de aluminio.



Figura 59-2 Réplica no original de cojinete.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Inspección del cojinete no muestra marca registrada de Caterpillar y tampoco el destello de metal brillante.



Figura 60-2 Características visibles de los cojinetes Caterpillar.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Los cojinetes Caterpillar deben tener los códigos "CAT" y las marca "R", códigos de proveedores y el destello de metal brillante.

2.1.11.4 *Desgaste Adhesivo*

El desgaste adhesivo resulta cuando se produce el contacto de metal a metal y las temperaturas de la superficie se vuelven lo suficientemente altas como para causar que el plomo-estaño, aluminio, acero o capas de los cojinetes se fundan y se adhieran al cigüeñal. Hay muchas causas fundamentales de desgaste adhesivo. Se debe seguir los hechos y las "señales de uso" para encontrar la causa correcta de la falla.



Figura 61-2 Señales de uso de desgaste adhesivo.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Las señales de uso de desgaste adhesivo incluyen pulido, manchas y la fusión de las capas superficiales. Observe que no hay corte abrasivo está presente hasta que se produzca la adhesión y el desprendimiento de aluminio además algunos cojinetes están en buen estado, debido a diferentes distancias y espesores de película de aceite.



Figura 62-2 Desgaste adhesivo y cambio de color en cojinetes.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Ya sea la calidad del aceite o problemas de cantidad pueden causar lubricación marginal. Sobre estos cojinetes corrió una gran cantidad de etilenglicol en el aceite lubricante, causando desgaste adhesivo y cambio de color.



Figura 63-2 Dilución de cojinete por combustible.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La dilución por combustible también puede conducir a la lubricación marginal, cambio de color, fatiga superposición de plomo-estaño, picaduras y por ende el fallo del cojinete.



Figura 64-2 Efectos de operación continua sin aceite.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La operación continua sin aceite causará desgaste adhesivo para el progreso en la capa de aluminio y finalmente en el acero, haciendo que el cojinete gire alcanzando temperaturas de ablandamiento.

2.1.11.5 *Desgaste Abrasivo*

El desgaste abrasivo se produce cuando las partículas extrañas o películas de aceite sobre superficies irregulares y las superficies se mueven al contacto entre sí.



Figura 65-2 Cojinetes con superficie oscura.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Cuando los cojinetes tienen una superficie oscura, áspera, de manera abrasiva de corte, debemos sospechar la presencia de material extraño o exceso de carbono en el aceite. Posibles causas fundamentales incluyen relación rica de aire / combustible, anillos rotos, revestimientos desgastados, valores altos de combustible, cambios de aceite prolongados, malos filtros, etc.

2.1.11.6 Picaduras por descarga eléctrica

Cuando los cojinetes principales son excesivamente desgastados y tienen una apariencia cromado, y cuando los cojinetes de biela están básicamente en buen estado se deben sospechar que ha sufrido picaduras de descarga eléctrica.

Una inspección muy amplia revelará cortes abrasivos finos y picaduras.

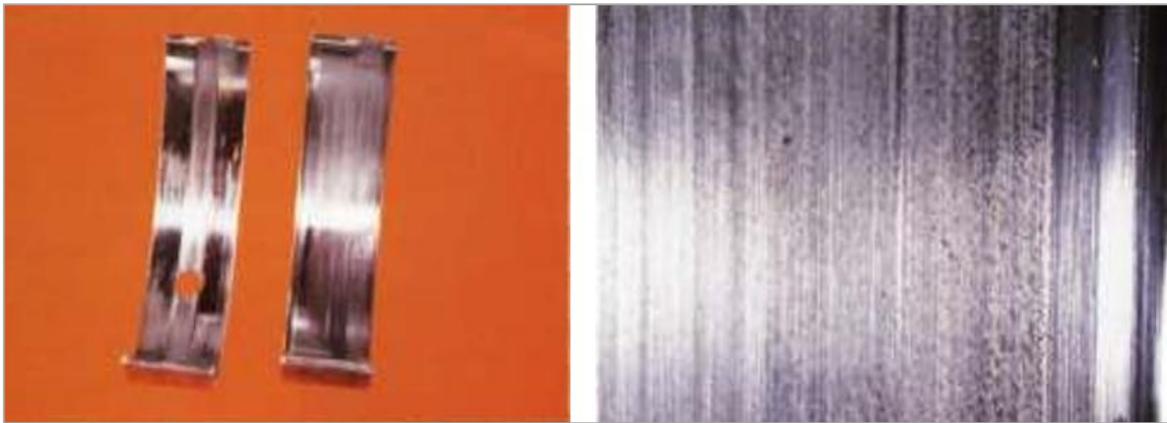


Figura 66-2 Picaduras por descarga eléctrica

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 67-2 Muestra de picadura de descarga.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La espalda de cojinete principal suele mostrar patrones de óxido negro en la picadura localizada.



Figura 68-2 Aspecto de los muñones de los cojinetes.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Los muñones de cojinetes principales del cigüeñal principales por lo general tienen un aspecto "esmerilado" (excepto cerca del orificio de aceite), debido a las erosiones provocadas por la formación de arco eléctrico.

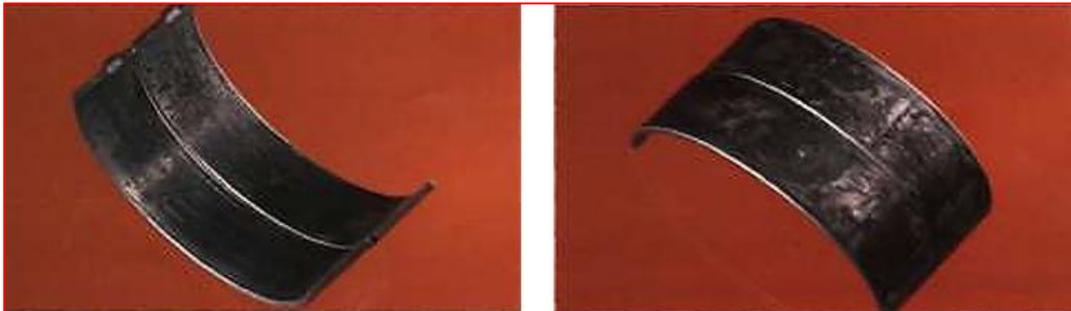


Figura 69-2 Daño de picaduras de descarga eléctrica

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Picaduras de descarga eléctrica crean un daño más severo desgaste abrasivo para las superficies y picaduras localizadas (a veces rodeado de colores de revenido) sobre el cojinete trasero.

2.1.11.7 *Erosión por Cavitación*

Los daños de erosión por cavitación son causados por la formación de burbujas de vapor en las zonas de baja presión y el colapso de las burbujas en las zonas de mayor presión.

Es normal ver los daños erosión por cavitación en cojinetes con altas horas operación los cuales han operado en condiciones de alta velocidad y de carga.



Figura 70-2 Erosión por cavitación que no provoca fallas.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Debido al incremento de las presiones delante de la película de aceite sobre las zonas de alta carga, las burbujas se chocaran y el daño ya está hecho fuera de la zona de carga. La erosión por cavitación rara vez provoca fallas.



Figura 71-2 Erosión por cavitación que acorta la vida del cojinete.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Sin embargo, si la erosión por cavitación es lo suficientemente grave como para aflojar piezas más grandes de la capa de aluminio, las piezas de aluminio se puede desprender causando daño abrasivo, carga se llevan a superficies rugosas y acortan la vida del cojinete.

2.1.11.8 *Corrosión por Fricción*

La corrosión por fricción se produce cuando las piezas tienen poco ajuste, pero están obligados a moverse uno contra el otro por las cargas aplicadas. La carga puede ser anormal, su ajuste puede no ser lo suficientemente apretado. La microsoldadura de asperezas, retirada de metal (picaduras) y acumulación de óxido puede ocurrir.

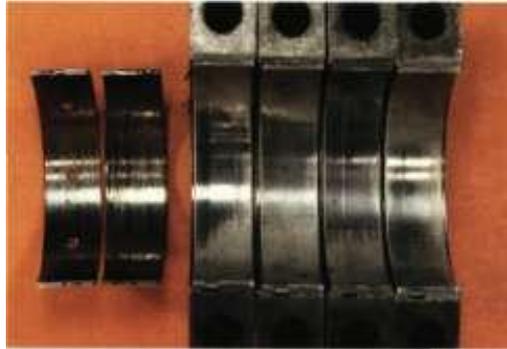


Figura 72-2 Corrosión por fricción

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Un cojinete principal falló después de 50 horas de reparar el motor. Los cojinetes nuevos se habían instalado en agujeros que tenían acumulaciones de corrosión por fricción. Esto levanto los nuevos cojinetes y causó sectores calientes.

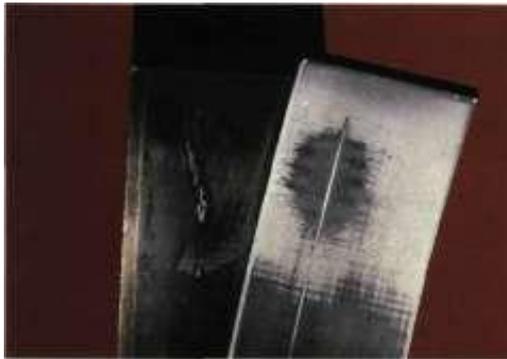


Figura 73-2 Al mover el tercer rodamiento en el lado revela la acumulación irregular de óxido y el sector caliente en la superficie correspondiente.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 74-2 La parte posterior del cojinete claramente ha sido empujado hacia arriba desde el punto de ensamble por la acumulación de oxidación de contacto.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

2.1.11.9 *Desgaste Corrosivo*

La entrada de aire contaminado, combustibles de alto contenido de azufre, aceites lubricantes inapropiados, aditivos de combustible o aceite, bajas temperaturas del refrigerante, etc. pueden conducir a condiciones corrosivas dentro de los motores.

Mientras que el desgaste corrosivo es más notable en el forro, anillo, vástago de válvula y la guía de áreas, los cojinetes están también a veces atacados.



Figura 75-2 Cojinetes atacados por ácido.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Los cojinetes atacados por las condiciones ácidas pueden tener una superficie rugosa y el desgaste prematuro de plomo-estaño más allá de la zona alta carga.

Después de aclarado y secado suave, la superficie también puede estar escamosa.



Figura 76-2 Visión cercana de cojinete atacado por ácidos.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Una inspección más cercana de la superficie rugosa con aumento muestra claramente que la superficie está siendo atacado por los ácidos y que la capa de plomo-estaño está siendo empujado hacia arriba con ampollas y roto por la corrosión.

2.1.11.10 *Daños por Impacto*

Los cojinetes que han sido sometidos a daños por impacto secundario a menudo no tienen un desgaste anormal presente en su superficie pero no se han roto, doblado, torcido o deformado por las fuerzas de impacto. Estas señales de uso nos dicen que los cojinetes son resultado no de las causas profundas de los fallos y que fueron liberados de sus guías durante el funcionamiento. Y, debemos inspeccionar los agujeros de los cojinetes.



Figura 77-2 Daño por impacto.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Las superficies a menudo no mostrarán el desgaste adhesivo y abrasivo anormal.



Figura 78-2 Daño abrasivo secundario de cojinete.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Cuando el daño abrasivo secundario está presente el desgaste normal de plomo-estaño de superposición se puede ver debajo del rascado abrasivo y nos dice que el cojinete no es la causa de la falla.



Figura 79-2 La parte posterior del cojinete nos indica que estaban sueltos y al ser golpeados, deformados giran en carrera de potencia resultando el daño.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

2.1.11.10 *Problemas de los Cojinetes*

Si los cojinetes tienen problemas de diseño o calidad, no causan fallos con pocas horas de operación pero por lo general duran hasta bien entrada la mediana edad. Por lo general, mano de obra o problemas del sistema conducen a fallas repentinas.



Figura 80-2 Superposición de láminas en cojinete.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

De vez en cuando podemos encontrar un cojinete sobre el que ha comenzado la fase de desprendimiento del recubrimiento de plomo-estaño en las grandes áreas debido al enlace débil. No habrá ninguna evidencia de otros tipos de desgaste presentes. Esto se denomina superposición de láminas de plomo-estaño y puede conducir a la vida corta de los cojinetes.



Figura 81-2 Cojinete con grietas.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Las grietas por fatiga no deben desarrollarse en la capa de aluminio en condiciones normales. Cuando se encuentran la separación de las películas de aluminio, debemos asegurarnos que el perfil del cigüeñal, la lubricación, carga, etc., son normales antes de sospechar que tenemos un problema del cojinete.



Figura 82-2 Roturas de aluminio en cojinete.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El enlace débil de la capa de aluminio en la parte posterior de acero puede dar lugar a pequeñas roturas de aluminio hasta grandes áreas que se desprenden.

Debido a que los pedazos separados suelen ser muy pequeños, desgaste abrasivo es raro.



Figura 83-2 Cojinete con enlace débil con buena lubricación.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Eventualmente toda la capa de aluminio se puede eliminar si un cojinete con enlace débil se mantiene en servicio.

Pero si la cantidad y la calidad de la lubricación es buena, poco adhesivo o se produce el desgaste abrasivo.



Figura 84-2 Falla en la unión de cojinete.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La separación de las láminas acompañada de altas temperaturas superficiales y desgaste adhesivo sugiere la expansión térmica de la capa de aluminio causando fallo de la unión.

En estos casos es necesario investigar la causa de las altas temperaturas de la superficie.

2.1.12 Válvulas

Los ambientes cerrados contienen causas fundamentales de los fallos de las válvulas. Cada ambiente cerrado tiene su propia lista de las posibles causas.

Por ejemplo temperaturas superiores a 1200 ° F que pueden ser el resultado de:

- La configuración alta de combustible.
- Las restricciones de entrada de aire.
- La alta temperatura del aire de entrada.

2.1.12.1 Alta Temperatura y Desgaste

- Cuando una válvula se somete a temperaturas superiores a 1200 °F, puede ser debilitadas y dañadas reduciendo su vida útil.
- Calor repetido, frío, calor puede causar grietas por fatiga térmica que se forman en radios de acoplamiento de dos piezas de las válvulas.
- Las altas temperaturas pueden causar una pieza para válvulas taza (deformación plástica llamada fluencia térmica).
- Las altas temperaturas pueden causar la oxidación profunda y escalado en dos cabezas de la pieza de válvula.
- Colores de revenido o la oxidación a alta temperatura en las zonas madre indican sobrecalentamiento de la guía, así como la cabeza de la válvula y los posibles problemas del sistema de enfriamiento.



Figura 85-2 Grietas por fatiga térmica en las válvulas.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Las grietas por fatiga térmica se ven a menudo en dos piezas de las válvulas que han sido demasiado calientes.



Figura 86-2 Inclinación de válvula sobrecalentada.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La inclinación lateral se suelen ver en las válvulas de una sola pieza que se han sobrecalentado.



Figura 87-2 Muestras de sobrecalentamiento de válvula.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La oxidación y la descamación de cabezas de válvula indican el sobrecalentamiento.



Figura 88-2 La oxidación de los vástagos de las válvulas indican el calor y la corrosión presentes.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

2.1.12.2 *Alta temperatura y Fractura*

Cuando las temperaturas de cabeza de la válvula se elevan por encima de 1200 ° F, pueden debilitar suficientemente para permitir que las grietas se desarrollen en áreas de concentración de esfuerzos, provocando una fractura por fatiga.



Figura 89-2 Válvulas dobladas encontrados durante las operaciones.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

No deben ser reutilizados debido a la fuerza de la válvula puede reducirse.



Figura 90-2 Fractura de válvula.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La reutilización de una válvula debilitada o dañada puede provocar fractura de la cabeza como se observa.



Figura 91-2 Fractura por fatiga de rotación

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Se produjo en la parte superior del radio de empalme, marcas de trinquete se ven alrededor del exterior con fractura final en el centro. Posibles causas fundamentales incluyen guía desgastada, asiento de la válvula torcida, material extraño atrapado en un sitio del asiento de la válvula, etc.

2.1.12.3 *Fracturas de Acordes*

Las fracturas de acordes pueden ser por la fatiga. Causan la separación de una parte de la cabeza. Ya que se producen a lo largo de una cuerda del círculo de cabeza de la válvula, se llaman fracturas "acordes". Ellas comúnmente son el resultado de las altas temperaturas, pero también pueden resultar de la desalineación o daños por impacto.



Figura 92-2 Grietas en válvula.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Las grietas por fatiga a menudo comienzan en la parte inferior del radio de empalme.



Figura 93-2 Válvula rota.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Las grietas progresan a través de la cabeza de la válvula hasta que un pedazo se desprende.



Figura 94-2 Fractura en válvula por fatiga curvada.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Muchas fracturas secundarias han ocurrido, pero la fractura por fatiga curvada original todavía se ve.

2.1.12.4 Daños por Impacto

Gran parte del daño observado en las válvulas fallidas es por el impacto que se produce debido a alguna otra cosa. Material extraño puede haber entrado en la cámara de combustión, la válvula podría quedarse pegada en la guía, permitiendo que el pistón dispase, el exceso de velocidad del motor puede haber ocurrido, retenes de válvula pueden haber fallado y la propia válvula ha sufrido una fractura por fatiga.

Impacto provoca fracturas que son dúctiles o frágiles y mucha deformación plástica debe ser observadas.



Figura 95-2 Las válvulas pueden ser golpeadas, dobladas y se fracturan por choque o impacto de carga.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 96-2 Fractura de válvula por fragilidad.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Una inspección detallada a menudo muestra una fractura por fragilidad, por encima de la cabeza de válvula.



Figura 97-2 Otras veces las fracturas serán mucho más dúctiles con daños por impacto secundario.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 98-2 Daños por impacto secundario en chavetas.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Se debe asegurar de inspeccionar guardas antes de reutilizarlas para cerciorar que no se ha hecho daño a los rebordes de retención.



1.

Figura 99-2 Válvula con doble fractura.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Esta válvula ha sufrido dos fracturas. La fractura superior parece ser una forma rápida, dúctil o fractura frágil.



Figura 100-2 Fractura cordal inferior de válvula.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La fractura cordal inferior es una fractura brillante, cristalina frágil causada por la carga de impacto.



Figura 101-2 Efectos de la carga de impacto.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La carga de impacto puede causar varillas dobladas y los elevadores de válvulas fracturados.



Figura 102-2 Identificación de la carga de impacto.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Con la ampliación, la fractura del elevador es claramente brillante, cristalino, la fractura por fragilidad, resultado de una descarga o carga de impacto. La identificación de la carga de impacto nos llevará hacia la causa de la falla.

2.1.12.5 Fugas

La fuga de la quema de gases de combustión entre la cara de la válvula y su asiento puede causar la erosión y la fusión de la cabeza de la válvula. Hay muchas causas de la filtración, tales como la acumulación de cenizas y depósitos de carbón en la cara de la válvula, el material extraño (auto-generada, así como fuera originario), grietas térmicas en la cabeza de la válvula, la válvula doblada, guía desalineado, asiento dañado.



Figura 103-2 Válvula trabada.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El gas de combustión se escapa por la cara de la válvula a través de la acumulación de cenizas y carbono. La acumulación es la causa de una combustión incompleta, sin rotación de la válvula.



Figura 104-2 Comienza la canalización con el aumento de fuga.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 105-2 La canalización se hace más grande y se produce en más lugares.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 106-2 Los canalones (canalización masiva) se desarrolla con el uso continuo.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

2.1.12.6 *Corrosión*

Válvulas, asientos y guías pueden desgastarse rápidamente en condiciones corrosivas. Las señales de uso incluyen picado, ranurado de caras, asientos de válvulas, el desgaste excesivo de guías de válvulas de escape y picaduras de vástagos de las válvulas.

Hay muchas causas fundamentales de desgaste corrosivo como combustible de alto azufre, bajas temperaturas de refrigeración, el aire contaminado de entrada (ácido), etc.



Figura 107-2 Las picaduras en las válvulas de asiento puede ser resultado de un ataque corrosivo.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 108-2 Desgaste por ranurado profundo.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El desgaste por ranurado profundo puede ser resultado de la corrosión, pero también puede resultar de componentes no originales (asientos de válvula diesel utilizados en motor de gas).



Figura 109-2 El desgaste excesivo de la guía de la válvula puede ocurrir en un ambiente corrosivo.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 110-2 Vista interior de la guía de la válvula de escape con desgaste corrosivo.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

2.1.12.7 *Materiales extraños*

Los materiales extraños puede ser sólidos, líquidos o gaseosos y puede producir daño físico, deterioro o distorsión en la cabeza de la válvulas y vástago. Aunque por lo general se conoce como material extraño a objetos duros, sólidos, líquidos (fugas de combustible, fugas de refrigerante, el agua de lluvia, etc.) y gases (gases de alcantarillado, gases de vertedero, freon.etc.) también pueden entrar en las cámaras de combustión y hacer serios daños en el pistón y válvula.



Figura 111-2 Válvula con daños por material extraño

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Esta válvula muestra daños por impacto común causada por la entrada de material extraño duro a la cámara de combustión. Se debe inspeccionar de cerca el tamaño y la forma de las marcas de daños por impacto para ayudar a identificar el material extraño. También la parte superior del pistón de piezas incrustadas y buscar en los sistemas de admisión o de escape.

La identificación del material extraño puede indicar la fuente del material extraño.



Figura 112-2 Cabeza de válvula con daño

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Puede crear este desgaste cualquier material extraño duro o fugas de refrigerante considerable en las cámaras de combustión; observar la cabeza de la válvula.

2.1.12.8 *Problemas en las válvulas*

Aunque partes de Caterpillar están diseñados y fabricados para soportar grandes cargas de trabajo en ocasiones hay problemas de diseño, materiales o montaje que puede provocar fallos. Se debe tener precaución para asegurar que una válvula es parte de Caterpillar o una parte de la competencia.



Figura 113-2 Fallas de soldadura por fricción.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Las fallas de soldadura por fricción, lado y lado de la cabeza del vástago, tendrá superficies planas de forma cuadrada y pueden tener algún remolino de metales, donde la fusión de metales y el flujo se produjeron durante el proceso de soldadura.



Figura 114-2 Comprobación de soldadura

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Compruebe la ubicación de soldadura por fricción o una falla en la soldadura con un imán. Imán debe ser atraído más fuertemente al vástago y luego a la cabeza de la válvula.



Figura 115-2 Retenedor con grietas finas de procesamiento.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

2.1.13 Turbocompresores

Los turbocompresores utilizan la energía disponible en los gases de escape para comprimir y aumentar el suministro de aire de entrada.

RPM puede ser tan altas como 100.000 rpm, lo que requiere de precisión y el equilibrio de las piezas giratorias.

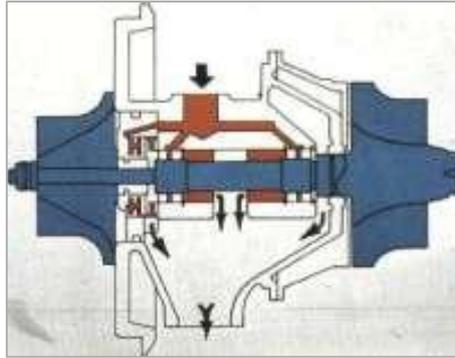


Figura 116-2 Proceso de circulación del aceite.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El aceite es suministrado a través de pasos perforados directamente a las superficies de apoyo y los drenajes de aceite por fuerza de gravedad a través de cavidades centrales. El centro de cojinetes del eje de diario giran aproximadamente a $1/3$ de la velocidad del eje central y flotan libremente en un cojín de aceite lubricante.



Figura 117-2 Ejes centrales.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Ejes centrales están hechos de un acero de alta resistencia magnética y estan en constanet fricción o de haz de electrones soldado a una rueda de turbina fundida no magnética.

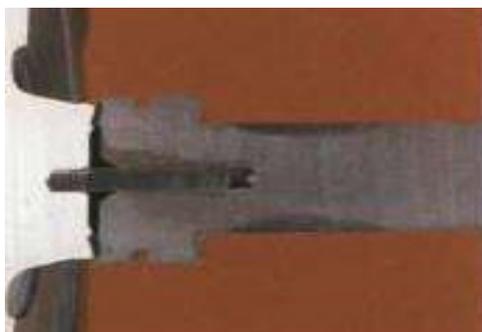


Figura 118-2 Endurecimiento de eje central.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El eje central es endurecido por inducción a diario la ubicación aumentar la fuerza y la resistencia de desgaste del cojinete, el eje es generalmente hueco dentro del área de soldadura para reducir la conducción de calor de la rueda de la turbina.



Figura 119-2 Ruedas de compresor.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Las ruedas de compresor están hechos de aluminio fundido de alta resistencia y tienen diferentes diseños.



Figura 120-2 Rueda de turbina.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tanto la parte frontal y caras posteriores de ruedas de turbina y el compresor están equilibradas por fresado o ranurado. Las nuevas ruedas están equilibradas por la perforación del agujero más precisamente en el centro de peso, lo que minimiza los requisitos de equilibrio.

2.1.13.1 Falta de lubricación

La falta de lubricación no sólo disminuye la eliminación de calor de los turbocompresores también aumenta la generación de calor por fricción. Por lo tanto debemos encontrar colores

de revenido, desgaste adhesivo, metal debilitado, contacto de la rueda con carcasas o la separación de la rueda del eje central consecuencia de la falta de lubricación



Figura 121-2 Los colores de revenido y aceite negro carbonizado son evidencia de insuficiente suministro de aceite.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 122-2 La operación continua sin suministro de lubricante adecuada permite desgaste adhesivo de los bujes y puede debilitar el eje central.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 123-2 Eje roto

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Finalmente, el eje puede romperse. La cara de fractura suele ser áspera y descolorida del calor. Un imán se puede utilizar para verificar que el material de eje central está presente en la rueda de la turbina y que la soldadura por fricción no ha fallado.



Figura 124-2 El desgaste adhesivo y la presencia de colores de revenido sobre el eje central indica la inadecuada alimentación de aceite y eliminación de calor.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 125-2 Un cojinete liso se tomó en el centro de la vivienda debido a temperaturas excesivamente altas.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 126-2 Las fracturas deben ser inspeccionados y clasificados. Esta fractura parece ser una fractura rápida, secundaria que se origina en el filete donde los cambios de diámetro.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 127-2 Fractura con evidencia de deformación.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El otro lado de la fractura muestra deformación plástica y temperamento colores, define las señales de uso de altas temperaturas y una resultante por fractura dúctil.

2.1.13.2 *Abrasivos en el lubricante*

Cuando las partículas abrasivas están presentes en el aceite lubricante los cojinetes de empuje se desgastan rápidamente. Una inspección detallada de las superficies de apoyo revelará los cortes, rasguños, ranuras y a veces, los residuos incrustados. El calor generado se disipa por el aceite lubricante y las temperaturas de la superficie pueden permanecer cerca de lo normal.



Figura 128-2 Señales de uso.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Los cojinetes de escudo térmico y centro de este turbo están cubiertos de lodo y barniz y la decoloración de los cojinetes de deslizamiento está presente. El aceite presente parece estar contaminado con carbono y otros desechos pequeños sin filtrar. Estas señales de uso nos

indican la obtención de datos sobre la calidad del aceite tales como los intervalos de mantenimiento, filtros, cantidades de escape, etc.



Figura 129-2 Desgaste por abrasión.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El lado caliente del cojinete tiene mucho desgaste, mientras que el del lado frío del cojinete se ve normal. Una inspección más cercana muestra que el anillo de estanqueidad salió de su ranura durante la instalación. Esto puede ser la causa fundamental que permitió a los gases de escape calientes y carbono ingresar y causar desgaste por abrasión.

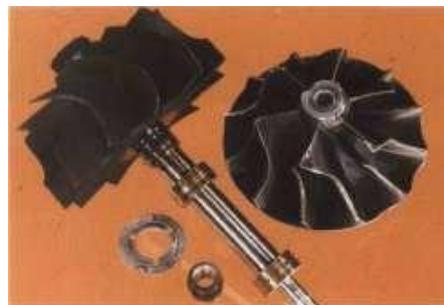


Figura 130-2 Residuo duro de gran tamaño ha cortado y acanalado rodamientos del eje.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 131-2 Daño abrasivo es más grave en las superficies fuera que dentro.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 132-2 Corte abrasivo.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Inspección general muestra que el corte abrasivo está presente y una primera idea preconcebida indica el ingreso de desechos causando el daño.



Figura 133-2 Superficie con desgaste.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Sólo mediante la inspección de la superficie de desgaste con la ampliación se pueden identificar las partículas abrasivas de tamaño uniforme, esféricas, partículas duras con colores de revenido.

2.1.13.3 *Altas temperaturas de Escape*

Inusualmente altas temperaturas del escape puede elevar las temperaturas alojamiento central por encima de 1000 °F provocando la carburación del aceite dentro, oxidación de partes y por ende un desgaste acelerado.



Figura 134-2 Turbocompresor con oxidación.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El examen visual del exterior de un turbocompresor sometido a temperaturas extremadamente altas por lo general muestra mucha oxidación de todos los metales, así como el contacto de la rueda con carcasas.



Figura 135-2 Evidencia de daño al desmontar.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Al proceder al desmontaje, las piezas internas también deben mostrar las señales de uso por las altas temperaturas, como el aceite totalmente cocido, protector de calor en gran medida oxidado, colores de revenido y desgaste del cojinete.

2.1.13.4 *Daños por objetos extraños*

Cuando ingresan objetos extraños en los turbocompresores el daño inmediato se hace por los bordes delanteros muchas cuchillas. También la carga de impacto o una condición de desequilibrio resultante puede causar la flexión del eje del centro o la separación de la rueda.



Figura 136-2 Daño en turbina por ingreso de objetos extraños.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Cuando ingresan objetos extraños en la rueda de la turbina, los bordes exteriores de las palas se retuercen y se rasgan cuando la cuchilla de alta velocidad golpea un objeto fijo (material extraño, incluso pequeño, ligero parecerá pesado para una cuchilla de alta velocidad).



Figura 137-2 Daño en rueda de compresor por ingreso de objetos extraños.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Cuando material extraño grande ingresa en la rueda del compresor los bordes interiores de las palas son retorcidos y rotos.



Figura 138-2 El material extraño más pequeño va a hacer un daño menos severo en el mismo lugar.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

2.1.13.5 Daños por parada en caliente

Después de funcionamiento a plena carga los turbocompresores tienen temperatura máxima y requieren varios minutos de funcionamiento sin carga para permitir que el aceite lubricante pueda eliminar el exceso de calor. Cuando se apaga en caliente se deja que el calor penetre la carcasa central carburando el aceite residual y en ocasiones provocando la resistencia de sus componentes.



Figura 139-2 El rodamiento del lado caliente tiene desgaste abrasivo fino por el aceite carburado.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La superficie ha sido rayada, muestra la nueva capa de aceite carburado.



Figura 140-2 Evidencia de desgaste excesivo.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

El aceite cocido provoca un rodamiento a pegarse al eje central, a altas RPM y se producen en la superficie exterior un desgaste excesivo.

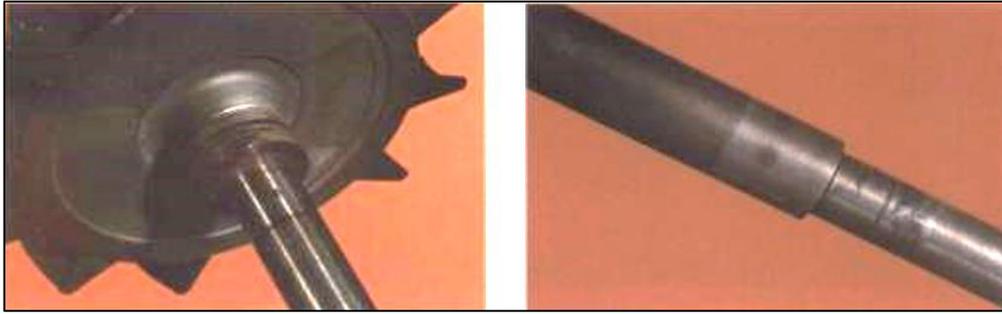


Figura 141-2 Evidencia de paradas calientes.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Cuando los rodamientos se retiran del eje central después de paradas calientes, es común encontrar puntos de enfriamiento rápido y anillos donde el aceite residual se goteó sobre un eje caliente a través de pasos de aceite y alrededor de los cojinetes. Las paradas calientes repetidas suelen producir varios puntos de amortiguación, los puntos más recientes serán brillantes y los más viejos se desvanecen con el desgaste.

2.1.13.6 *Problemas turbocargadores*

Mientras que la mayoría de fallos del turbocompresor son causados por problemas medioambientales, los fallos de vez en cuando se producen debido a problemas con los propios turbos.

Podemos agrupar estos problemas en dos áreas generales, diseño de turbo y de materiales (rotura del rotor, fatiga hoja, inclusiones de fundición, etc. y la fabricación de turbo (problemas de montaje, daños por manipulación, etc.). Hay señales de uso y hechos que ayudan a identificar estos problemas.



Figura 142-2 Revisión cuidadosa de fractura.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La fractura más grande debe ser revisada cuidadosamente. Cuando se mantiene en condiciones no adecuadas es difícil ver detalles en la cara de la fractura. Tenemos que mirar a la cara con una buena iluminación y ampliación para determinar el origen del fallo.



Figura 143-2 Grieta por fatiga.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La cara de fractura muestra claramente un área semicircular que es más suave y más brillante en la parte inferior derecha del orificio del eje. Se trata de una grieta por fatiga resultante de "ráfaga de rueda" causado por la fuerza centrífuga cíclica.

2.1.14 Cigüeñales

Debido a que los cigüeñales Caterpillar están diseñados y fabricados con mucho cuidado, rara vez son la causa fundamental de la fracaso. Sin embargo, cuando fallan es necesario determinar si los ambientes hostiles, refabricación inadecuada, una falla de material o proceso causaron el fallo.

2.1.14.1 Fracturas

Casi todas las fracturas del cigüeñal son fracturas por fatiga producidos por cargas de flexión en los ángulos y / o cargas de torsión en los muñones. Doblado y grietas de fatiga de torsión

tienen señales de uso similares: fractura plana y lisa enfrenta con fracturas y beachmarks finales dúctiles que irradian lejos del sitio de inicio de la grieta. Las marcas de trinquete en el sitio de iniciación son señales de tráfico que indican grietas múltiples que comenzaron a crecer por estrés severo.

2.1.14.2 *Fatiga por Flexión*

Las grietas de fatiga por flexión crecen de ángulo a ángulo a menos que el aceite o aligeramiento en agujeros cambian su ruta. El agrietamiento comenzó en el ángulo principal inferior y creció hacia el ángulo de la barra superior. Otra grieta por fatiga volvió a crecer desde el ángulo del muñon superior. Esto se llama fatiga por flexión inversa.



Figura 144-2 Fatiga por Flexión.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

2.1.14.3 *Fatiga por Torsión*

Las grietas de fatiga por torsión comienzan en los muñones y alrededor del espiral con un ángulo de 45°. Los sitios de iniciación de la grieta puede ser difíciles de determinar ya que varios conjuntos de marcas están a menudo presentes. Por lo general el origen es el punto en el que dos conjuntos de marcas irradian una de la otra en ángulo de 45°.



Figura 145-2 Fatiga por Torsión.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

2.1.14.4 *Ambientes Hostiles*

Contaminación

La puntuación circunferencial de muñones es generalmente causada por contaminantes abrasivos duros al quedar atrapados entre los cojinetes y el diario rasguño o ranurado de la manivela. Cuanto menores son las partículas más estrechas serán las ranuras y cuanto mayor sean las partículas más anchas las ranuras. Al observar los cojinetes bajo una buena iluminación y con un microscopio de campo amplio, es posible ver las partículas en los cojinetes. Al comparar cuidadosamente estas partículas a otros materiales abrasivos que se encuentran comúnmente en la reconstrucción de las áreas de lijado (discos o cintas, material explosión de arena, etc.) por lo general es posible identificar la fuente de los desechos.

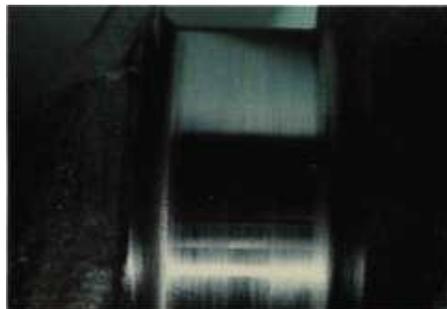


Figura 146-2 Contaminación.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Desalineación

La desalineación levanta cargas de flexión en los principales ángulos de los muñones y puede conducir a fracturas por fatiga por flexión. La desalineación puede ser el resultado de la molienda inadecuada, deformación por calor de un fallo anterior, mal uso, instalación inadecuada y otros, las señales de uso por desalineación se ven mejor en las superficies de apoyo de desgaste y nos llevan a investigar los antecedentes del motor.



Figura 147-2 Fallo cigüeñal por desalineación.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Calor

El rozamiento del cojinete con el cigüeñal lleva a crear calor. El material de las soldaduras de cojinete a la cigüeñal crean superficies que son desgarradas y manchadas. La decoloración azul / negro indica que el aceite no estaba enfriando el muñon durante el fallo. A veces una toma del cojinete del cigüeñal y una fractura ocurren al mismo tiempo.

Para determinar si el cigüeñal estaba fallando antes o después del cojinete, mirar la decoloración del aluminio por el calor en las caras de fractura. Si está presente, esto indica que la falla del cojinete del cigüeñal ocurrió después de la fractura.

Cuando falla un cigüeñal pequeño, el fallo a menudo se remontan a una falla del cojinete anterior que debilitó el cigüeñal.



Figura 148-2 Fallo del cigüeñal por calor.

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La profundidad de tratamiento térmico en la mayoría de cigüeñales es aproximadamente 0,100 pulgadas (2,5 mm) en un lado. Temperaturas por encima del punto de fusión del acero a veces pueden ocurrir durante una falla del rodamiento.

2.2 Estado del arte

Al analizar las investigaciones realizadas por diferentes autores, con temas referentes a la Fiabilidad de motores Caterpillar de algún sitio o empresa, se determina que las más relevantes se encuentran en la base de datos de “Repositorios digitales y bibliotecas Ecuador”.

La inexistencia de estudios o investigaciones similares es evidente, pero fue posible encontrar varios trabajos que presentan información relacionada con el presente estudio, los cuales son mencionados a continuación:

Según la Tesis de grado de Edgar Campoverde, cuyo tema: “Análisis de Fiabilidad de Equipos rotativos de la Central Hidroeléctrica Paute Molino” (Campoverde, 2012), manifiesta que con el uso del registro de fallas divisadas en el diagnóstico de vibraciones y basandose en los criterios desarrollados para establecer los espectros del normal funcionamiento y aquellos que demuestran la existencia de defectos, las empresas podrían disminuir las pérdidas o retrasos.

De acuerdo al trabajo de investigación de Wilmer Sisalima, acerca de “Mantenimiento Predictivo de los generadores a Diesel FG Wilson, Cummins, Himoina de la empresa Sociedad Minera Liga de Oro S.A. mediante ferrografía analítica” (Sisalima, 2016), señala que en el monitoreo del estado técnico de los motores de combustión interna ciclo diésel, es imprescindible la utilización de un programa de análisis de lubricantes mediante la ferrografía analítica, porque permite identificar, evaluar y controlar la morfología de los fenómenos de desgaste, reduciendo los costos respectivos y aumentando la productividad.

De la misma manera, se encuentra en la tesis sobre “Análisis del estado actual de máquinas, equipos y sistemas y su influencia en la Fiabilidad en la florícola la ROSALEDA S.A. en la provincia de Cotopaxi” (Carrión, 2015); que los registros históricos de averías de las máquinas, equipos y sistemas de la Florícola La Rosaleda S.A., sirvieron para conocer ampliamente el estado de las herramientas de trabajo y establecer las respectivas recomendaciones de fiabilidad tanto en máquinas eléctricas como de combustión; incrementando la probabilidad de funcionamiento, alargando su vida útil, consiguiendo una mejor disponibilidad y confiabilidad en la jornada diaria de trabajo.

Se presenta la investigación acerca de “Análisis Vibracional y Alineamiento Láser en los Equipos de la Industria Plástica del Centro IMPLASTIC de la Ciudad de Ambato” (Piñaloza y Camacho, 2013), en donde se determinó que a causa de un mantenimiento incorrecto, la mayor parte de máquinas están operando irregularmente; puesto que, mientras el enfriador externo está afectado y en mal estado, las instalaciones y la infraestructura de la fábrica se encuentran en un estado regular, debido a la ineficiente selección de materiales en la tubería de cableado e inadecuadas conexiones eléctricas. Por lo que el análisis vibracional y alineamiento láser con los equipos Detector II y el Top Smarty 2, a fin de conocer el estado de los motores de las máquinas pertenecientes a las áreas de soplado, enfriado y triturado, servirá para mejorar la eficiencia y fiabilidad, teniendo en cuenta su estado real para aplicar las respectivas correcciones; lo que permitirá reducir costos y consecuentemente el aumento de la producción.

Finalmente, en el trabajo de Tesis denominada: “Análisis de mejora de la Fiabilidad de los sistemas de distribución eléctrica de alta densidad de carga” (Collantes, 2010), se demuestra el análisis de Fiabilidad del sistema eléctrico y los resultados obtenidos como base para la

mejora de la confiabilidad de los sistemas de distribución. Además, considera que es importante la tipificación de dichos sistemas para efectos de diversos análisis técnicos y económicos que permiten mejorar la precisión de los resultados. Y, en esta labor, el análisis estadístico se constituye una herramienta muy importante que facilita dicho análisis.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación es experimental y de campo, ya que permite explorar la situación problemática de manera directa en el lugar donde se desarrollan los hechos, que en este caso inmiscuye a los motores en estudio que se encuentran instalados y operando en la Central de Generación Guanta perteneciente al Bloque 56 de Petroamazonas EP.

3.2 Métodos de investigación

En el presente trabajo predomina la utilización de los métodos de investigación: inductivo, porque parte de hechos particulares para alcanzar leyes generales; y el método deductivo, que parte de leyes generales para obtener conclusiones particulares necesarias para emitir recomendaciones.

En la investigación se indica la inspección basada el Análisis Causa Raíz (ACR) que se basa en sus resultados las acciones a tomar para dar mayor fiabilidad a los equipos de la Central de Generación de la Estación Guanta que son objeto del estudio.

De la misma manera, los datos de los motores Caterpillar serie 3500 se los recopila del Sistema de Gestión de Mantenimiento de la empresa llamado Maximo para Oil&Gas, mismos que tienen su verificación de acuerdo a la operatividad de motores de la Central de generación de Guanta.

3.3 Enfoque

Al tener su fundamento en relación a los objetivos planteados a través de un enfoque cualitativo, se realiza los estudios de caso y sobre todo la observación participativa (Reichardt, 1986, p.3).

De acuerdo a lo indicado, para el análisis se utilizan los datos históricos de fallos registrados en el Sistema de Gestión de la Empresa llamado Máximo Oil&Gas tomando como referencia las fechas desde el 1 de enero del 2014 hasta el 31 de diciembre del 2015, de los cuatro equipos del sistema de generación de la estación Guanta Bloque 56 Lago Agrio.

De la misma manera, al realizar un tipo de investigación cuantitativa su base se encuentra en la recopilación de datos numéricos (Pita y Pértegas, 2002, p.2).

Para lo cual, se realiza una descripción de los fallos mas comunes de los motores Caterpillar mismos que se los cuantifica de acuerdo a los datos históricos que contiene el Sistema de Gestión Máximo para ver la fiabilidad de los equipos de generación.

3.4 Población de estudio

Para tener estudio adecuado de los índices de fiabilidad en los equipos de la Central de Generación después de la inspección basada en el Análisis de Fallas, es necesario la participación de todo el personal de la Superintendencia Mantenimiento del Bloque 56 Lago Agrio ya que no es una responsabilidad exclusiva del Supervisor de Planta de Generación, las diferentes secciones están directa o indirectamente involucradas, inclusive el más interesado es la Superintendencia de Operaciones que viene a ser nuestro cliente directo a quien le interesa principalmente la producción. (Ver Anexo A)

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 1-3 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.

Técnicas e instrumentos	Procedimiento
<p>Revisión de datos históricos y organización de la información</p>	<p>Métodos de investigación a utilizar: Método Inductivo y Método deductivo</p>
	<p>La empresa cuenta con el software para gestión de mantenimiento “Máximo para Oil&Gas” el cual permite la recopilación de datos durante todo el ciclo de vida operacional del equipo, incluyendo la instalación, arranque, operación, mantenimiento y modificaciones de todos los equipos que operan en el Bloque 56.</p> <p>También se puede recopilar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Datos del equipo: taxonomía, atributos de los equipos. - Datos de mantenimiento: recursos utilizados.
	<p>Fechas de recolección de información: Del 1 de enero del 2014 hasta el 31 de diciembre del 2015, de los cuatro equipos del sistema de generación de la estación Guanta Bloque 56 Lago Agrio.</p>

Fuente: Apuntes personales (2015)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2015

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Diagnóstico

4.1.1 Diseño de adquisición de datos

Los equipos a pesar de tener más de 10 años de operación en la Central de Generación cumpliendo con las reparaciones mayores en las frecuencias establecidas por el fabricante, tienen constantes cambios en cuanto a su forma de operar, siempre innovando alternativas que cada día permitan obtener el mejor rendimiento.

Entre los cambios implementados más significativos se tiene el trabajar en paralelo todos los grupos electrógenos, mismos que son monitoreados desde el cuarto de control las 24 horas, teniendo un mejor control para cualquier inconveniente que se presente y poder reaccionar a tiempo para evitar grandes pérdidas de producción.

La empresa utiliza el software para gestión de mantenimiento llamado “Máximo para Oil&Gas”, el cual permite recopilar datos durante todo el ciclo de vida operacional del equipo, incluye: instalación, arranque, operación, mantenimiento y modificaciones de todos los equipos que operan en el Bloque 56 de Petroamazonas EP.

Igualmente, es posible recopilar información como:

- Datos del equipo: taxonomía, atributos de los equipos.
- Datos de mantenimiento: recursos utilizados.

Del software se obtiene los siguientes datos:

WORK ORDER: Indica el número de orden de trabajo OT- 1401XXXXX: los dos primeros dígitos indica el año, los dos subsiguientes el mes y los últimos son un número generado automáticamente por el software Maximo.

DESCRIPTION: Indica la descripción del trabajo a realizarse, misma que se esta estableciendo un estándar para tener historicos de fallos recurrentes en los equipos de todos los bloques y aplicar correctivos a nivel empresarial.

AREA: Indica el bloque donde se realiza el Mantenimiento.

CR-LA-MS Se refiere a los Trabajos de Mantenimiento en Lago Agrio.

Tabla 1-4 Áreas donde se realizan los mantenimientos.

Person Group	Description
CR-CPF-CNS	CPF-CONSTRUCCIONES SERVICIOS CONTRATISTAS (OTC)
CR-CPF-COS	CPF-CONSTRUCCIONES CAMPO BASE (OT)
CR-CPF-MS	CPF-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO INDILLANA
CR-EY-CNS	EY-CONSTRUCCIONES SERVICIOS CONTRATISTAS (OTC)
CR-EY-COS	EY-CONSTRUCCIONES CAMPO BASE (OT)
CR-EY-MS	EY-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO EDEN YUTURI
CR-PA-MS	PA-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (PALO AZUL)
CR-SH-COS	SH- SUPERINTENDENTE CONSTRUCCIONES CAMPO BASE (PEC-OT)
CR-LI-COS	LI- SUPERINTENDENTE CONSTRUCCIONES CAMPO BASE (PEC-OT)
CR-AU-COS	AU- SUPERINTENDENTE CONSTRUCCIONES CAMPO BASE (PEC-OT)
CR-CU-COS	CU- SUPERINTENDENTE CONSTRUCCIONES CAMPO BASE (PEC-OT)
CR-PA-COS	PA-CONSTRUCCIONES CAMPO BASE (OT)
CR-LA-COS	LA- SUPERINTENDENTE CONSTRUCCIONES CAMPO BASE (PEC-OT)
CR-PY-MS	PY-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (PAYAMINO)
CR-YU-MS	YU-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO YURALPA
CR-ISO-NOR	ISO- SISTEMA DE GESTION INTEGRAL
CR-LA-MS	LA-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (LAGO AGRIO-PEC)
CR-SH-MS	SH- TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (SHUSHUFINDI-PEC)
CR-LI-MS	LI-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (LIBERTADOR-PEC)
CR-AU-MS	AU- TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (AUCA-PEC)
CR-CU-MS	CU- TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (CUYABENO-PEC)
CR-CCO-MS	CCO-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (LAGO AGRIO-PEC)
CR-SA-MS	SA-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (SACHA-PEC)
CR-AM-MS	AM-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO CAMPO AMISTAD
CR-AV-MS	AV-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (AMAZONIA VIVA)
CR-EY-FIC	CONSTRUCCIONES EY
CR-SA-COS	SA- SUPERINTENDENTE CONSTRUCCIONES CAMPO BASE (PEC-OT) FIC
CR-ROD-MS	RODA-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO OLEODUCTOS
CR-ITT-MS	ITT-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (TIPUTINI-PEC)
CR-ITT-COS	ITT- SUPERINTENDENTE CONSTRUCCIONES CAMPO BASE (PEC-OT)
CR-CPF-FIC	CONSTRUCCIONES CPF
CR-PA-FIC	CONSTRUCCIONES PA
CR-AVC-MS	AVC-TRABAJOS DE MANTENIMIENTO AVIACION

Fuente: Máximo para Oil&Gas (2015)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2015

LOCATION: Indica la codificación de los diferentes sistemas que tenemos en el Bloque.

GNP-GEL-SGGN-05

GNP Se refiere a la locación Guanta

GEL Se refiere al sistema Generación Grupo electrógeno

SGGN Se refiere al Sub sistema Grupo electrógeno

Tabla 2-4 Nomenclatura de Campos de Petroamazonas EP

Campo	Nomenclatura	Campo	Nomenclatura
Condor Norte	CNN	Shushuqui	SHH
Cononaco	CNO	Shionayacu	SHN
Conga Sur	CNS	Shira	SHR
Cononaco Sur	CNU	Shushufindi	SHS
Cononaco Oeste	CNW	Sumino	SMN
Condorazo	CNZ	Siona	SNA
Coca	COC	San Carlos	SNC
Capiron Norte	CPN	San Francisco	SNF
Capiron	CPR	Singue	SNG
Carabobo	CRB	Sanisla Norte	SNN
Curaray	CRY	San Roque	SNR
Cuyabeno	CYB	Sansahuari	SNS
Cuyabeno Oeste	CYO	Sansahuari Suoeste	SSO
Dicaron	DCR	Tapi	TAP
Dumbique	DMB	Tase	TAS
Dumbique Sur	DMS	Tuich	TCH
Drago	DRG	Tiguino	TGN
Dureno	DRN	Tambococha	TMB
Drago Norte	DRR	Tumali Este	TME
Drago Este	DRT	Tumali	TML
Dayuno	DYN	Tumali Sureste	TMS
Edén Yuturi	EDY	Tangay Este	TNE
Eno	ENO	Tangay	TNG
Espejo	ESJ	Tuntiak	TNT
Farfan Este	FRE	Toro	TOR
Frontera	FRN	Tipishca	TPS
Gabaron	GBR	Tiputini	TPT
Gacela	GCL	Tortuga	TTG
Guallino	GLL	Tortuga Norte	TTN
Guanta	GNT	Tortuga Sur	TTS
Guarango	GRN	Tetete	TTT
Huachito	HCH	Victor Hugo Ruales	VHR
Higueron	HGR	Vinita	VNT
Huaico	HUA	Vista	VST
Huito	HUI	Vuano	VUA
Iguana	IGN	Waponi	WPN
Indillana	IND	Yuca	YCA
Ishpingo	ISH	Yuca Sur	YCS
Itaya	ITY	Yulebra	YLB
Jaguar	JGR	Yanaquincha Este	YNE
Jatumpamba	JTM	Yanahurco	YNH
Jivino	JVN	Yanaquincha Norte	YNN
Jivino Rojo	JVR	Yanaquincha Oeste	YNO
Lago Agrio	LGA	Yanahurco Norte	YNR
Laguna	LGN	Yanaquincha Sur	YNS
Lilian	LLN	Yanayacu	YNY
Limoncocha	LMN	Yuralpa Centro	YRC
Lobo	LOB	Yuralpa	YRL
Macuma	MCM	Yuturi	YTR
Minta	MNT	Zaparo	ZPR
Mono	MON	Zorro	ZRR
Marañacu	MRC		
Margareth	MRG		

Fuente: Software Máximo para Oil&Gas de Petroamazonas EP (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 3-4 Códigos de Sistemas y sub sistemas de equipos de Petroamazonas EP

Códigos de Sub Sistema		Códigos de SISTEMAS	
Código	Descripción	Código	Descripción
SBAC	BOMBA ACEITE	ACT	CONTROL TRANSF.CRUDO (ACT)
SBBA	BOMBA AGUA	BAG	BOMBEO AGUA
SBBB	BOMBA BOOSTER	BCA	BOMBEO CAPTACION AGUA
SBBO	BOMBA OLEODUCTO	BCO	BOMBEO COMBUSTIBLE
SBBQ	BOMBA QUIMICO	BCR	BOMBEO CRUDO REDUCIDO
SBBR	BOMBA RECIRCULACION	BDC	BOMBEO DESPACHO COMBUSTIBLE
SBBT	BOMBA TRANSFERENCIA	BEE	BODEGA ENES ENCARGO
SBCA	BOMBA CAPTACION AGUA	BES	BOMBEO ELECTRO-SUMERGIBLE
SBBC	BOMBA CONTROL COMBUSTIBLE	BIA	BOMBEO INYECCION DE AGUA
SBCI	BOMBA CONTRA INCENDIO	BIQ	BOMBEO INYECCION DE QUIMICO
SBCO	BOMBA COMBUSTIBLE	BME	BOMBEO MECANICO (BALANCIN)
SBEF	BOMBA ENFRIAMIENTO	BMT	BODEGA MANTENIMIENTO
SBES	BOMBA EQUIPO SUPERFICIE	BOL	BOMBEO OLEODUCTO
SBEX	BOMBA EXTRACCION	BPO	BOMBEO POWER OIL
SBIA	BOMBA INYECCION AGUA	BRA	BOMBEO REINYECCION DE AGUA
SBLD	BOMBA LODOS	BRC	BOMBEO RECUPERACION DE CRUDO
SBME	BOMBA MECANICA	BST	BODEGA STOCK
SBPO	BOMBA POWER OIL	BTC	BOMBEO TRANSF.CRUDO
SBRA	BOMBA REINYECCION AGUA	CAI	COMPRESION AIRE
SBRC	BOMBA RECUPERACION CRUDO	CCG	COMPRESION CAPTACION GAS
SBRL	BOMBA RETROLAVADO	CGL	COMPRESION GAS LIFT
SBSU	BOMBA SUMIDERO	GEL	GENERACION GRUPO ELECTROGENO
SBVC	BOMBA VACIO	GTU	GENERACION TURBINAS
SCCA	COMPRESOR AIRE	PTA	PLANTA TRAT.AGUA FORMACION
SCCG	COMPRESOR CAPTACION GAS	PTB	PLANTA TRAT.AGUA DULCE
SCGL	COMPRESOR GAS LIFT	PTC	PLANTA TRAT.CRUDO
SGGN	GRUPO ELECTROGENO	RPC	RECEPCION PRINCIPAL DE CRUDO
SGTA	TURBINA TA	SBE	SUB-ESTACION
SGTB	TURBINA TB	SCA	SISTEMA DE CALDEROS
SGTY	TURBINA TYPHOON	SCC	SISTEMA CTRL.VISCOSIDAD COMBT.
SIID	INCINERADOR DE DESECHOS	SCI	SISTEMA CONTRA INCENDIOS
SMPB	PROBADOR BIDIRECCIONAL	SEF	SISTEMA ENFRIAMIENTO
SMTM	TOMAMUESTRAS	SFP	SISTEMA FISCALIZACION PETROLEO
SPDG	PLANTA DESHIDRATADORA DE GAS	SIP	SISTEMA INTERCONECTADO PPR
SPFA	PLANTA FILTROS DE AGUA	SLG	SISTEMA SEPARADOR LIQUIDOS GAS
SRCA	CENTRAL AIRE ACONDICIONADO	SSC	SALA/CASETA DE CONTROL
SSCE	CENTRIFUGADORA	STA	SISTEMA TRAT.ACEITE
SSCL	CALENTADOR	STB	SISTEMA TRAT.AGUA ACEITOSA
SSDT	DECANTADOR	STC	SISTEMA TRAT.COMBUSTIBLES
SSFP	FISCALIZACION DE PETROLEO	STD	SISTEMA TRAT.DESECHOS
SSPB	SEPARADOR DE PRUEBA	TKA	TANQUE ALMACENAMIENTO AGUA
SSPD	SEPARADOR DE PRODUCCION	TKK	TANQUE ALMACENAMIENTO COMBUST.
SSPF	SEPARADOR FREE WATER	TKL	TANQUE LAVADO DE CRUDO
SSPG	SEPARADOR DE GAS	TKS	TANQUE SURGENCIAS
SSSA	SEPARADOR DE ACEITE	MNF	SISTEMA DE MANIFOLD
SSSC	SEPARADOR DE CRUDO		

Fuente: Software Máximo para Oil&Gas de Petroamazonas EP (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

ASET TAG NUMBER: Indica el número asignado por Petroamazonas a un activo para nuestro caso MCO-XXX .

MCO Se refiere a Motor de Combustion.

ASET: Indica el número que el sistema asigna automáticamente a un equipo EQ-XXXXXX.

STATUS: Indica el estado en el cual se encuentra la Orden de trabajo.

- WAPPR Creación de la Orden de Trabajo. Responsable Técnico
- APPR Aprobación de la Orden de Trabajo. Responsable Coordinador de Mantenimiento o Planner
- INPRG Asignación de la Orden de Trabajo. Responsable Supervisor
- MCOMP Ejecución de la Orden de Trabajo. Responsable Técnico/Técnicos
- COMP Aprobación de la ejecución de la Orden de Trabajo. Responsable Supervisor
- EVAL Cierre de la Orden de Trabajo. Responsable Coordinador de Mantenimiento o Planner
- CLOSE: Evaluación de la Orden de trabajo para cerrarla. Responsable Supervisor

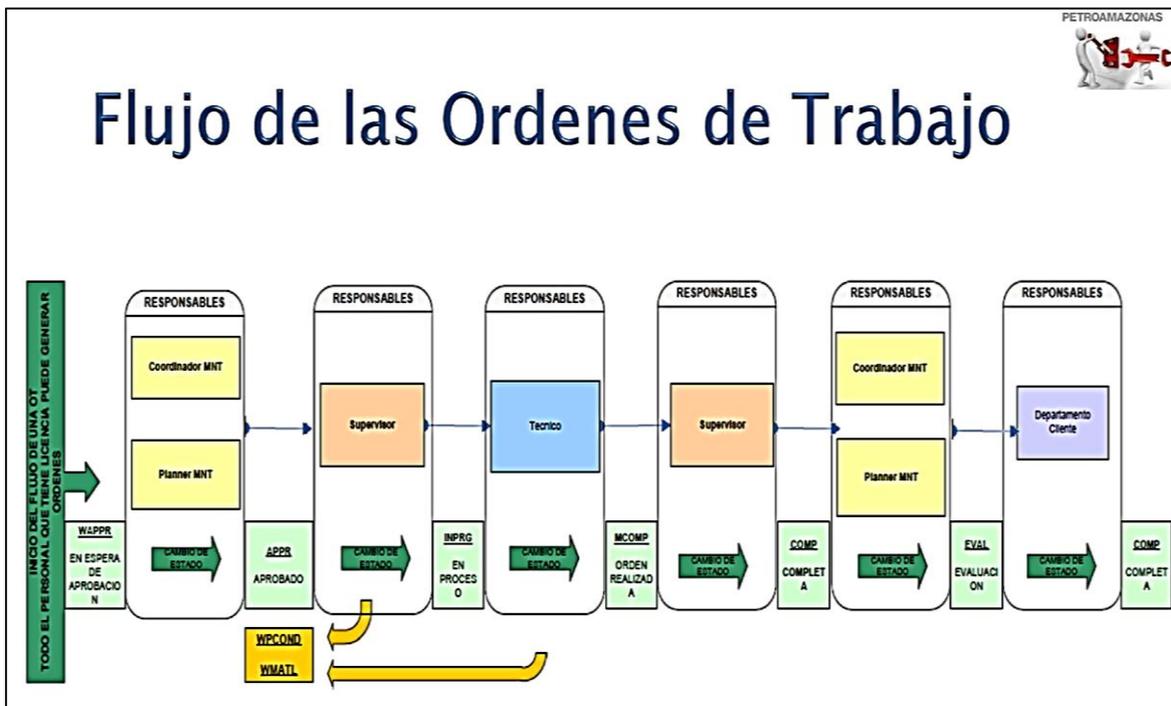


Figura 1-4 Flujo de las Ordenes de Trabajo

Fuente: Manual Oil and Gas Febrero (2013)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

De la base de datos del sistema de Gestión de Mantenimiento Maximo Oil & Gas se realiza un filtrado de las ordenes de trabajo de mantenimientos correctivos de los cuatro motores de la Central de Generación de Guanta con los cuales calculamos la Fiabilidad.

Tabla 4-4 Registro de fallos de los generadores Caterpillar de la Estación Guanta Año 2014.

WORD ORDER	DESCRIPTION	STATUS	ASSET	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	CREWID	TYPE	FECHA INICIA	FECHA FINAL	TIEMPO	SERV. C.
OT-130351577	ORTIZH CAMBIO DE SENSOR DE NIVEL DE REFRIGERANTE, MCO 0650, (GNP UNID. 4)	CLOSE	EQ-169756	MCO-0650	GNP-GEL-SGGN-04	PSVICW	AOH	CR-LA-GPS	CME	09-09-14	09-09-14	2,58	\$ 151,85
OT-130377600	BARRIONUEVOA, CAMBIO DE INYECTOR CILINDRO # 12	CLOSE	EQ-169756	MCO-0650	GNP-GEL-SGGN-04	CEDE	OTH	CR-LA-GPS	CMP	24-09-13	24-09-14	1,75	\$ 2.514,78
OT-130392840	BARRIONUEVOA CAMBI DE FILTROS RACORD MCO 0650 (GNP-GEN.04)	CLOSE	EQ-169756	MCO-0650	GNP-GEL-SGGN-04	CEDE	NOI	CR-LA-GPS	CME	03-10-13	03-10-14	2	\$ 38,34
OT-140084618	PENAC; CAMBIO DE BANDAS DE LA POLEA DEL VENTILADOR	CLOSE	EQ-169756	MCO-0650	GNP-GEL-SGGN-04	VENT	OTH	CR-LA-GPS	CME	04-02-14	04-02-14	6	\$ 361,91
OT-140359809	MANTENIMIENTO CORRECTIVO CAMBIO DE VALVULA CABEZOTE 1	CLOSE	EQ-169756	MCO-0650	GNP-GEL-SGGN-04	CEDEMP	FTS	CR-LA-GPS	CME	05-05-14	06-05-14	13	\$ 801,49
OT-140862660	MCO 0650-DESMONTAJE DEL GRUPO ELECTROGENO #4 PARA EL ENVIO AL TALLER OVERHAUL	CLOSE	EQ-169756	MCO-0650	GNP-GEL-SGGN-04	CEDEMP	OTH	CR-LA-GPS	CMP	19-09-14	19-09-14	9	\$ 79,56
OT-141001564	MCO 0650 CAMBIO DE FILTROS RACORD DE LA UNIDAD #4	CLOSE	EQ-169756	MCO-0650	GNP-GEL-SGGN-04	CEDEMP	STP	CR-LA-GPS	CME	25-10-14	25-10-14	4	\$ 225,53
OT-141013203	MCO-0650 CAMBIO DE SENSORES DE LA PRESION DIFERENCIAL DE COMBUSTIBLE	CLOSE	EQ-169756	MCO-0650	GNP-GEL-SGGN-04	CEDEMP	ERO	CR-LA-GPS	CME	28-10-14	28-10-14	3,67	\$ 586,78
OT-130350144	PENAC, CAMBIO FILTRO RACORD MCO-0642 (ESTACION GUANTA- UNIDAD #6)	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDE	ELF	CR-LA-GPS	CME	08-09-14	09-09-14	1	\$ 61,56
OT-130354382	PENAC, CAMBIO FILTROS RACORD Y AIRE PRIMARIO Y SECUNDARIO MCO-0642 (GNP GEN. 05)	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDE	PDE	CR-LA-GPS	CME	11-09-14	11-09-14	2,75	\$ 552,27
OT-130398171	BARRIONUEVOA CAMBIO FILTROS RACORD MCO-0642 GNP GEL #5	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDE	NOI	CR-LA-GPS	CME	06-10-14	06-10-14	2	\$ 38,36
OT-130512195	CAMBIO DE FILTROS DE DIESEL, MCO-0642, BARRIONUEVOA	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDEMP	HIO	CR-LA-GPS	CME	22-11-14	23-11-14	1	\$ 183,03
OT-140067027	REVISION DE CHAQUETAS Y CAMBIO; CAMBIO DE ACEITE Y FILTROS DEL MOTOR DE COMBUSTION MCO-0642	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	PMCOND	GENERAL INSPECT	CR-LA-GPS	CMP	30-01-14	31-01-14	24	\$ 7.037,64
OT-140125473	MCO-0642, BARRIONUEVOA, CORRECCION DE FUGA DE GASES DE ESCAPE	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDEMP	OTH	CR-LA-GPS	CME	18-02-14	19-02-14	11	\$ 2.773,25
OT-140329550	MCO-0642; REVISION DEL MOTOR MEDICION DE PARAMETROS	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDEMP	FTS	CR-LA-GPS	CME	24-04-14	24-05-14	6	\$ 348,44
OT-140333407	DESMONTAJE DEL MOTOR DE COMBUSTION	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDEMP	BRD	CR-LA-GPS	CME	25-04-14	30-04-14	6	\$ 53,04
OT-140765998	MANTENIMIENTO CORRECTIVO POR ALARMA EN REGULADOR DE VOLTAJE (ADVERT VARS RETRO)	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDEMP	OTH	CR-LA-GPS	CME	22-08-14	22-08-14	5,75	\$ 152,49
OT-140794090	PENAC, CAMBIO DE FILTROS DE COMBUSTIBLE POR ALTA PRESION DIFERENCIAL	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDEMP	OTH	CR-LA-GPS	CME	31-08-14	31-08-14	6,5	\$ 275,75
OT-140923110	CAMBIO DE SENSORES DE PRESION DE CARTER Y ATMOSFERICA DE GRUPO ELECTROGENO #5	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDEMP	AIR	CR-LA-GPS	CME	07-10-14	07-10-14	5	\$ 494,48
OT-141012465	MCO 0642 CAMBIO DE BREAKERS EN LA CAJA DE DISTRIBUCION DE LA UNIDAD	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDEMP	OTH	CR-LA-GPS	CME	29-10-14	29-10-14	4,17	\$ 291,62
OT-141095278	MCO 0642 CAMBIO DE SENSOR DE PRESION DE CARTER	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDEMP	ERO	CR-LA-GPS	CME	21-11-14	21-11-14	4	\$ 433,78
OT-141217824	MCO-0642 CORRECCION FUGA DE ACEITE BOMBA DE COMBUSTIBLE	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDEMP	ELF	CR-LA-GPS	CME	26-12-14	27-12-14	5	\$ 1.225,63
OT-130425128	SANCHEZL CAMBIO DE HARNES MCO-0646 UNIDAD #6 GNP	CLOSE	EQ-169762	MCO-0646	GNP-GEL-SGGN-06	CEDEMP	STD	CR-LA-GPS	CMP	12-10-14	18-10-14	11	\$ 2.037,32
OT-140314633	INSTALACION DE GENERADOR EN GRUPO ELECTROGENO NUMERO 6 Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	CLOSE	EQ-169762	MCO-0646	GNP-GEL-SGGN-06	EGMD	OTH	CR-LA-GPS	CME	19-04-14	19-04-14	10	\$ 523,76
OT-140368417	CORRECCION DE FUGA DE GASES CALIENTES GEN 6	CLOSE	EQ-169762	MCO-0646	GNP-GEL-SGGN-06	CEDEMP	STD	CR-LA-GPS	CME	08-05-14	08-05-14	5	\$ 228,46
OT-140445119	CAMBIO DE BOMBA DE AGUA EN UNIDAD # 6	CLOSE	EQ-169762	MCO-0646	GNP-GEL-SGGN-06	CEDEMP	INL	CR-LA-GPS	CME	02-06-14	02-06-14	6,25	\$ 2.434,31
OT-140478179	REPARACION DE BOMBA DE AGUA	CLOSE	EQ-169762	MCO-0646	GNP-GEL-SGGN-06	CEDEMP	INL	CR-LA-GPS	CMP	13-06-14	13-06-14	4,75	\$ 1.082,38
OT-160572327	MCO-0646, GLP-GEL-SGGN-06, CAMBIO DE BANDAS DEL VENTILADOR	CLOSE	EQ-169762	MCO-0646	GNP-GEL-SGGN-06	CEDEMP	NOI	CR-LA-GPS	CM	30-05-16	30-08-14	6	\$ 35,36
OT-141076855	MCO 0646 CAMBIO DE BREAKERS DE 20 AMP EN LA CAJA DE CONTROL DE LA UNIDAD #6	CLOSE	EQ-169762	MCO-0646	GNP-GEL-SGGN-06	CEDEMP	OTH	CR-LA-GPS	CMP	16-11-14	16-11-14	5,75	\$ 188,65
OT-140434319	CAMBIO DE BATERIAS A GRUPO ELECTROGENO	CLOSE	EQ-40233	MG1001-4	GNP-GEL-SGGN-07	BATTCHARG	LOO	CR-LA-GPS	CME	30-05-14	30-05-14	3,5	\$ 393,62
OT-140597107	SANCHEZL, REVISION DEL SISTEMA DE ALIMENTACION 24V	CLOSE	EQ-40233	MG1001-4	GNP-GEL-SGGN-07	CEDEMP	AIR	CR-LA-GPS	CMP	02-07-14	03-07-14	6	\$ 211,79
OT-140649411	MG1001-4 REVISION DEL SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA DEL GRUPO ELECTROGENO #7	CLOSE	EQ-40233	MG1001-4	GNP-GEL-SGGN-07	CEDEMP	AIR	CR-LA-GPS	CME	19-07-14	20-07-14	4	\$ 350,28
OT-140789943	PEÑAC, CORRECCION DE LIQUEO EN MANGUERA DE RETORNO DE COMBUSTIBLE.	CLOSE	EQ-40233	MG1001-4	GNP-GEL-SGGN-07	CEDEMP	ELF	CR-LA-GPS	CMP	28-08-14	28-08-14	1,25	\$ 11,05
OT-140934594	MG1001-4, MANTENIMIENTO CORRECTIVO POR ALTA PRESION DE CARTER	CLOSE	EQ-40233	MG1001-4	GNP-GEL-SGGN-07	CEDEMP	OTH	CR-LA-GPS	CME	08-10-14	08-10-14	7,75	\$ 68,51
OT-140952339	MANTENIMIENTO CORRECTIVO A UNIDAD 7 POR ALTA PRESION DE CARTER	CLOSE	EQ-40233	MG1001-4	GNP-GEL-SGGN-07	CEDEMP	OTH	CR-LA-GPS	CMP	14-10-14	14-10-14	5,25	\$ 245,62
OT-141196223	CAMBIO DE HOSE-TEE EN GRUPO ELECTROGENO #07	CLOSE	EQ-40233	MG1001-4	GNP-GEL-SGGN-07	CEDEMP	OHE	CR-LA-GPS	CME	19-12-14	19-12-14	5,75	\$ 228,97

Fuente: Software Máximo para Oil&Gas de Petroamazonas EP(2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 5-4 Registro de fallos del motor MCO-0650 (2014)

DESCRIPTION	TAG PAM	RERPORTED	TTF (horas)
PENAC; CAMBIO DE BANDAS DE LA POLEA DEL VENTILADOR	MCO-0650	05-02-14	119
VARIACIÓN DE FRECUENCIA EN LA CENTRAL DE GENERACIÓN	MCO-0650	01-05-14	1967
MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE GRUPO ELECTRÓGENO #4	MCO-0650	05-05-14	177
ORTIZH CAMBIO DE SENSOR DE NIVEL DE REFRIGERANTE, MCO 0650, (GNP UNID. 4)	MCO-0650	10-09-14	3022
MCO 0650-DESMONTAJE DEL GRUPO ELECTROGENO #4 PARA EL ENVIO AL TALLER OVERHAULL	MCO-0650	19-09-14	239,25
BARRIONUEVOA, CAMBIO DE INYECTOR CILINDRO # 12	MCO-0650	24-09-14	110
BARRIONUEVOA CAMBI DE FILTROS RACORD MCO O650 GNP-GEN.04	MCO-0650	03-10-14	213
MCO 0650 CAMBIO DE FILTROS RACORD DE LA UNIDAD #4	MCO-0650	25-10-14	523
MCO-0650 CAMBIO DE SENSORES DE LA PRESION DIFERENCIAL DE COMBUSTIBLE	MCO-0650	28-10-14	70

Fuente: Software Máximo para Oil&Gas de Petroamazonas EP (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 6-4 Registro de fallos del motor MCO-0642 (2014).

DESCRIPTION	TAG PAM	RERPORTED	TTF horas
MCO-0642, BARRIONUEVOA, CORRECCION DE FUGA DE GASES DE ESCAPE	MCO-0642	18-02-14	427
MCO-0642; REVISIÓN DEL MOTOR	MCO-0642	24-04-14	1530
DESMONTAJE DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN	MCO-0642	25-04-14	18
MANTENIMIENTO CORRECTIVO POR ALARMA EN REGULADOR DE VOLTAJE (ADVERT VARS RETRO)	MCO-0642	23-08-14	2732
PEÑAC, CAMBIO DE FILTROS DE COMBUSTIBLE POR ALTA PRESION DIREFERENCIAL	MCO-0642	31-08-14	208
PENAC, CAMBIO FILTRO RACORD MCO-0642 (ESTACION GUANTA-UNIDAD #6)	MCO-0642	09-09-14	188
PEÑAC, CAMBIO FILTROS RACORD Y AIRE PRIMARIO Y SECUNDARIO MCO-0642 (GNP GEN. 05)	MCO-0642	11-09-14	45
BARRIONUEVOA CAMBIO FILTROS RACORD MCO-0642 GNP GEL #5	MCO-0642	06-10-14	599
CAMBIO DE SENSORES DE PRESION DE CARTER Y ATMOSFERICA DE GRUPO ELECTRÓGENO #5	MCO-0642	07-10-14	26
MCO 0642 CAMBIO DE BREAKERS EN LA CAJA DE DISTRIBUCION DE LA UNIDAD	MCO-0642	28-10-14	517
MCO 0642 CAMBIO DE SENSOR DE PRESION DE CARTER	MCO-0642	21-11-14	547
CAMBIO DE FILTROS DE DIESEL, MCO-0642, BARRIONUEVOA	MCO-0642	22-11-14	28
MCO-0642 CORRECCIÓN FUGA DE ACEITE BOMBA DE COMBUSTIBLE	MCO-0642	26-12-14	785

Fuente: Software Máximo para Oil&Gas de Petroamazonas EP (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 7-4 Registro de fallos del motor MCO-646 (2014)

DESCRIPTION	TAG PAM	RERPORTED	TTF (horas)
CORRECCION DE FUGA DE GASES CALIENTES GEN 6	MCO-0646	08-05-14	3045
MCO-0646, GLP-GEL-SGGN-06, CAMBIO DE BANDAS DEL VENTILADOR	MCO-0646	30-08-14	522
CAMBIO DE BOMBA DE AGUA EN UNIDAD # 6	MCO-0646	02-06-14	76
REPARACION DE BOMBA DE AGUA	MCO-0646	13-06-14	254
SANCHEZL CAMBIO DE HARNES MCO-0646 UNIDAD #6 GNP	MCO-0646	11-10-14	2895
MCO 0646 CAMBIO DE BREAKERS DE 20 AMP EN LA CAJA DE CONTROL DE LA UNIDAD #6	MCO-0646	16-11-14	696

Fuente: Software Máximo para Oil&Gas de Petroamazonas EP (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 8-4 Registro de fallos del motor MG1001-4 (2014)

DESCRIPTION	TAG PAM	RERPORTED	TTF (horas)
CAMBIO DE BATERIAS A GRUPO ELECTROGENO	MG1001-4	30-05-14	3572
SANCHEZL, REVISION DEL SISTEMA DE ALIMENTACION 24V	MG1001-4	02-07-14	789
MG1001-4 REVISION DEL SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA DEL GRUPO ELECTROGENO #7	MG1001-4	19-07-14	380
PEÑAC, CORRECCION DE LIQUEO EN MANGUERA DE RETORNO DE COMBUSTIBLE.	MG1001-4	29-08-14	932
MG1001-4, MANTENIMIENTO CORRECTIVO POR ALTA PRESIÓN DE CARTER	MG1001-4	09-10-14	979
MANTENIMIENTO CORRECTIVO A UNIDAD 7 POR ALTA PRESIÓN DE CÁRTER	MG1001-4	14-10-14	140
CAMBIO DE HOSE-TEE EN GRUPO ELECTROGENO #07	MG1001-4	19-12-14	1573

Fuente: Software Máximo para Oil&Gas de Petroamazonas EP (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 9-4 Registro de fallos de los motores Caterpillar de la Estación Guanta Año 2015

WORD ORDER	DESCRIPTION	STATUS	ASSET	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	CREWID	TYPE	FECHA INICIC	FECHA FINAL	TIEMPO	SERV. C.
OT-160653620	MCO 0650, GNP-GEL-SGGN-04, CORRECCION DE FUGA DE ACEITE	CLOSE	EQ-169756	MCO-0650	GNP-GEL-SGGN-04	CEDEMP	ELU	CR-LA-GPS	CM	25-06-15	25-06-15	3	\$ 282,09
OT-150588394	CAMBIO FILTROS PRIMARIOS DE DIESEL UNIDAD 05	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDEMP	PDE	CR-LA-GPS	CMP	01-06-15	01-06-15	4,92	\$ 327,78
OT-151414916	DESCONEXION DE CABLES PARA CONTROL Y FUERZA DEL MG 05	CLOSE	EQ-169759	MCO-0642	GNP-GEL-SGGN-05	CEDEMP	OTH	CR-LA-GPS	CMP	25-12-15	25-12-15	8,25	\$ 85,14
OT-151170001	GNP-GEL-SGGN-06 REVISION SISTEMA CONTROL UNIDAD # 6	CLOSE	EQ-169762	MCO-0646	GNP-GEL-SGGN-06	CEDEMP	OTH	CR-LA-GPS	CME	30-10-15	31-10-15	4,75	\$ 49,02
OT-150310159	CORRECCION FUGA DIESEL ALIMENTACION G 07 (MEC)	CLOSE	EQ-40233	MG1001-4	GNP-GEL-SGGN-07	CEDEMP	ELF	CR-LA-GPS	CMP	3/23/15	3/23/15	5	\$ 100,70
OT-151215178	CAMBIO DE INYECTORES 4, 7 Y 11	CLOSE	EQ-40233	MG1001-4	GNP-GEL-SGGN-07	CEDEMP	PDE	CR-LA-GPS	CME	11/4/15	11/4/15	5,5	\$ 144,44

Fuente: Software Máximo para Oil&Gas de Petroamazonas EP (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 10-4 Registro de fallos del motor MCO-0650 (2015)

DESCRIPTION	TAG PAM	RERPORTED	TTF (horas)
MCO 0650, GNP-GEL-SGGN-04, CORRECCION DE FUGA DE ACEITE	MCO-0650	21-06-15	4196
MCO-0650 MANTENIMIENTO LAZO DE CONTROL 24 V DC.	MCO-0650	30-07-15	808

Fuente: Software Máximo para Oil&Gas de Petroamazonas EP (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 11-4 Registro de fallos del motor MCO-0642 (2015).

DESCRIPTION	TAG PAM	RERPORTED	TTF (horas)
REVISIÓN DE CHAQUETAS Y CAMBIO; CAMBIO DE ACEITE Y FILTROS DEL MOTOR DE COMBUSTION MCO-0642	MCO-0642	31-05-15	3621
MCO-0642, BARRIONUEVOA, CORRECCION DE FUGA DE GASES DE ESCAPE	MCO-0642	26-12-15	4963

Fuente: Software Máximo para Oil&Gas de Petroamazonas EP (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 12-4 Registro de fallos del motor MCO-646 (2015)

DESCRIPTION	TAG PAM	RERPORTED	TTF horas
CORRECCION DE FUGA DE ACEITE EN LA BOMBA DE AGUA DEL GENERADOR # 6 ESTACION GUANTA	MCO-0646	22-03-15	1968
GNP-GEL-SGGN-06 MANTENIMIENTO LAZO DE CONTROL UNIDAD # 6	MCO-0646	27-10-15	5273

Fuente: Software Máximo para Oil&Gas de Petroamazonas EP (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 13-4 Registro de fallos del motor MG1001-4 (2015)

DESCRIPTION	TAG PAM	RERPORTED	TTF horas
CORRECCION FUGA DIESEL ALIMENTACION G 07 (MEC)	MG1001-4	21-03-15	1944
CAMBIO DE INYECTORES 4, 7 Y 11	MG1001-4	08-11-15	5419

Fuente: Software Máximo para Oil&Gas de Petroamazonas EP (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

4.1.2 Análisis Estadístico

4.1.2.1 Determinación de la Fiabilidad de los Motores Caterpillar año 2014

Con los datos de las Tablas 5-4, 6-4, 7-4, 8-4 se realiza el cálculo de la Fiabilidad de los motores Caterpillar de la Central de Generación utilizando el programa FIASOFT.

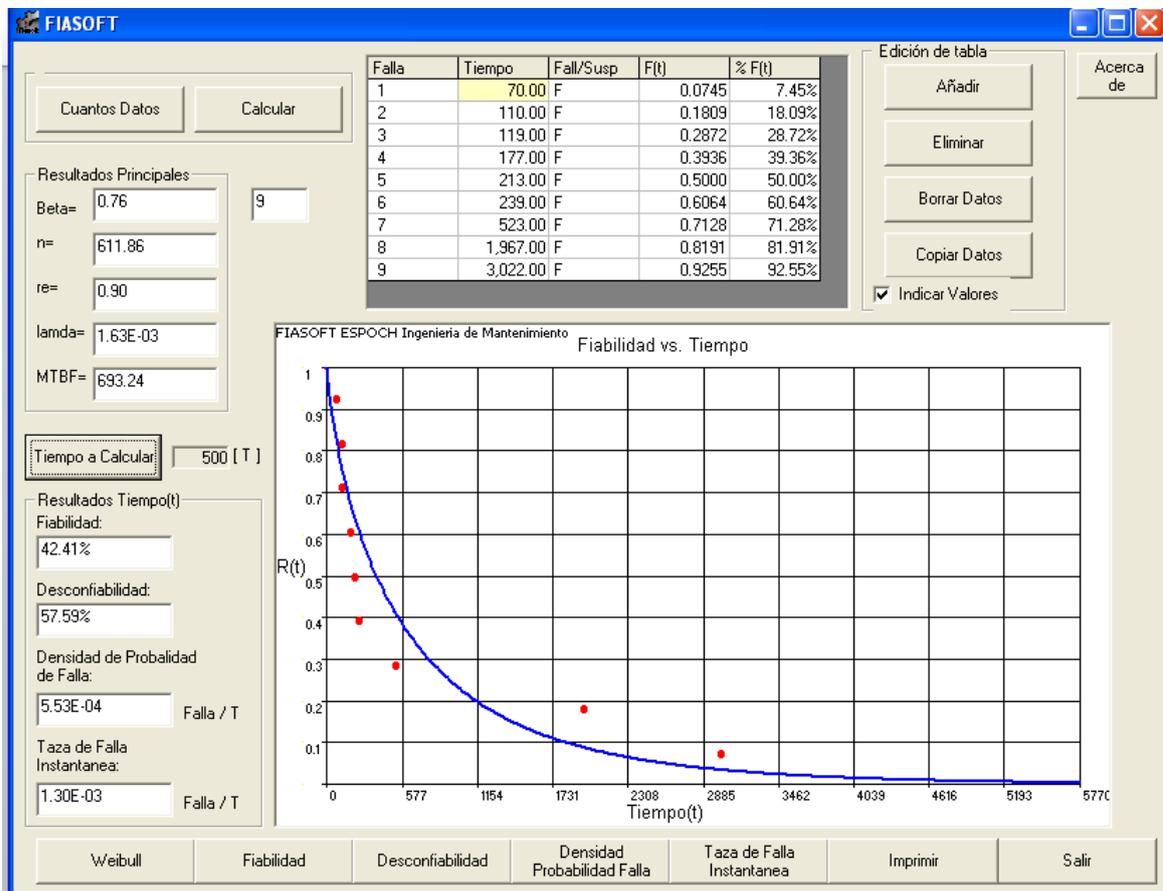


Figura 2-4 Fiabilidad Motor Caterpillar MCO-0650

Fuente: Software Fiasoft (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

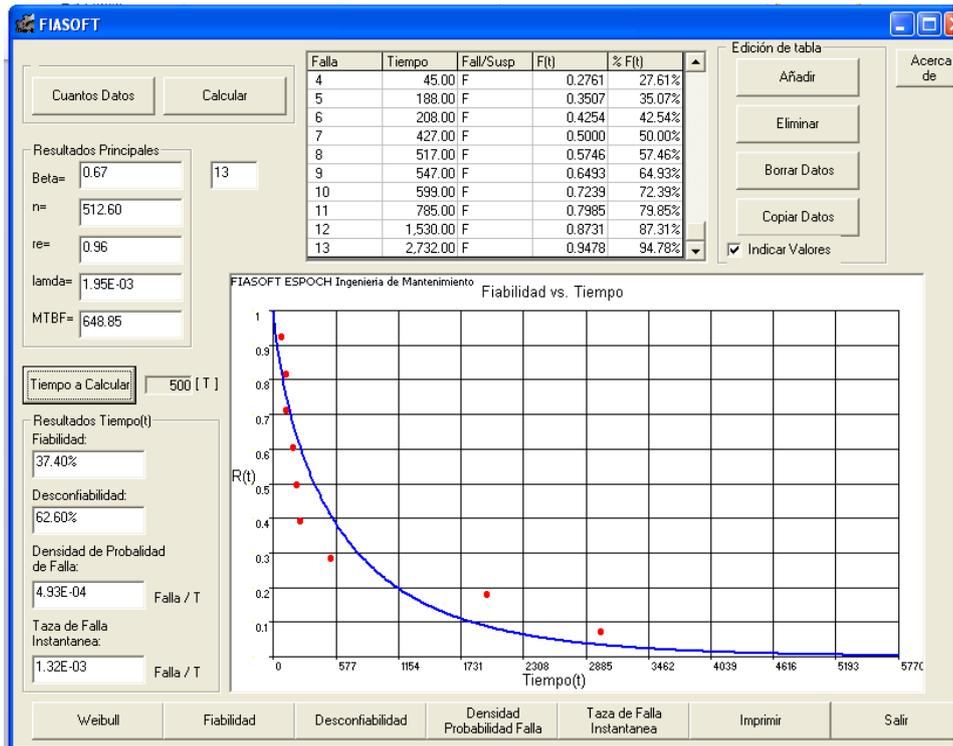


Figura 3-4 Fiabilidad Motor Caterpillar MCO-0642

Fuente: Software Fiasoft (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

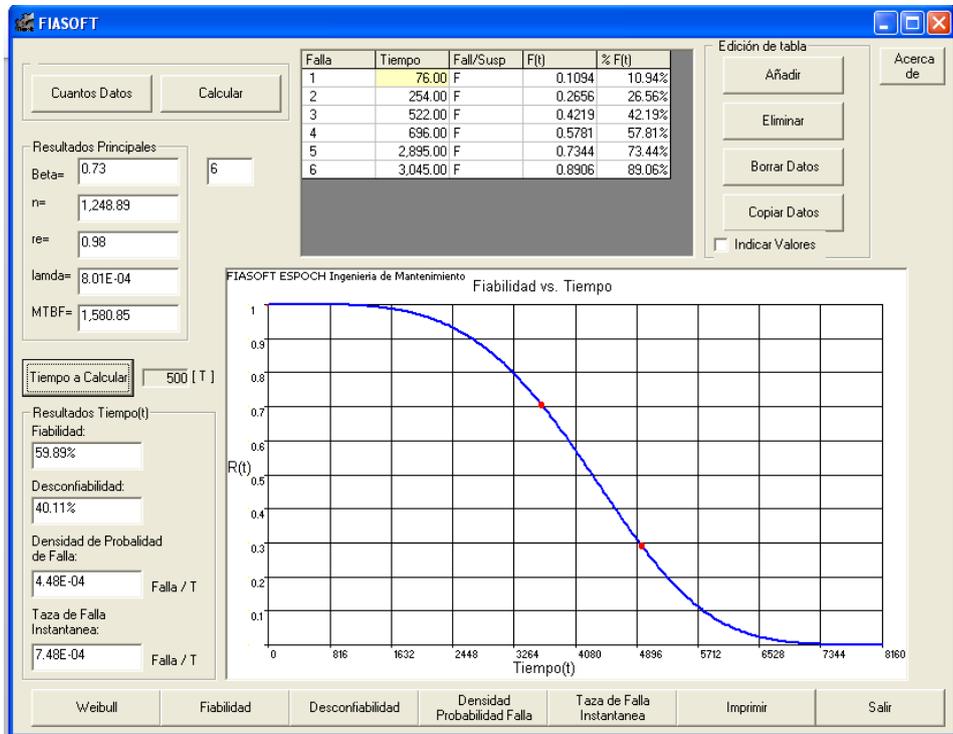


Figura 4-4 Fiabilidad Motor Caterpillar MCO-0646

Fuente: Software Fiasoft (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

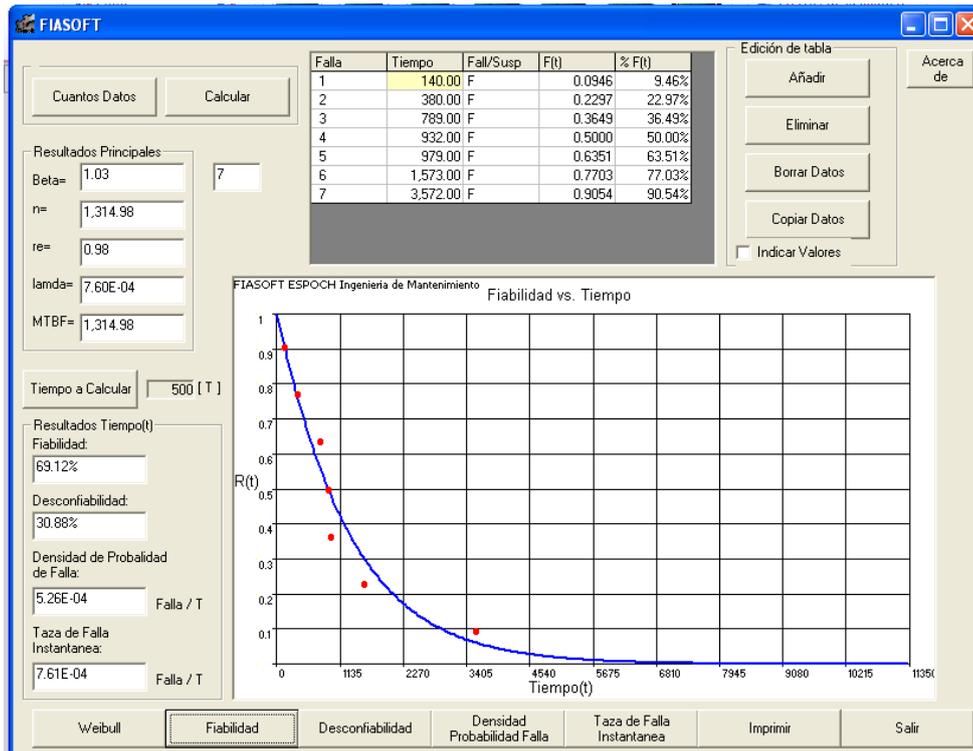


Figura 5-4 Fiabilidad Motor Caterpillar MG1001-4

Fuente: Software Fiasoft (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

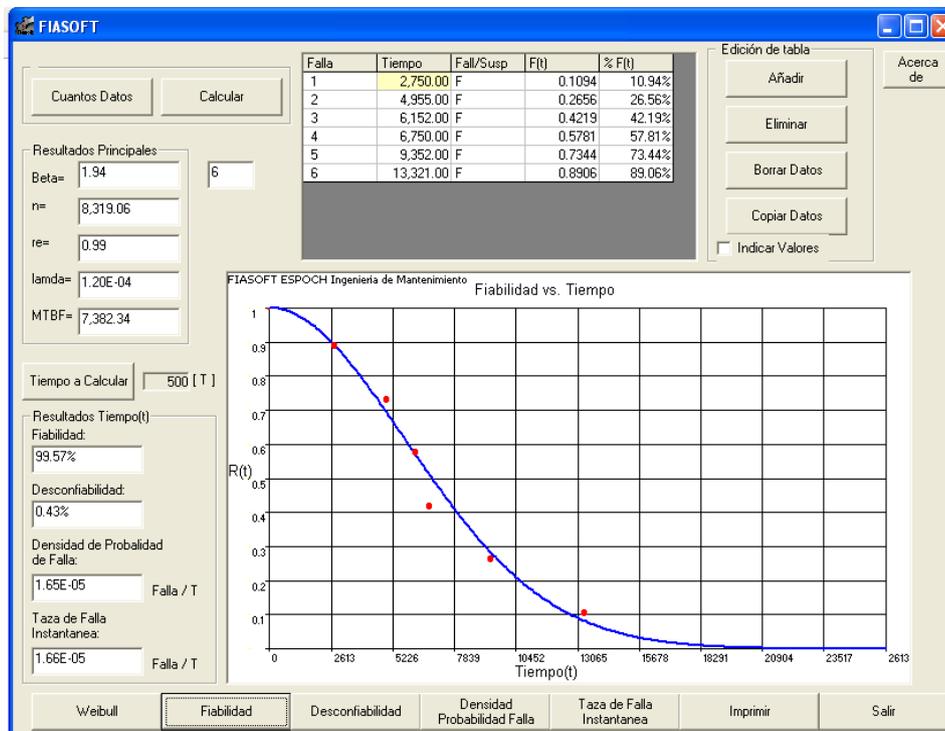


Figura 6-4 Fiabilidad Generadores

Fuente: Software Fiasoft (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Con los datos calculados en las Figuras 2-4 a 6-4 se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 14-4 Cálculos para la Fiabilidad año 2014

	2014			
EQUIPO	β	α	TMEF	TIEMPO A CALCULAR
MCO-0650	0,76	611,86	693,25	500
MCO-0642	0,67	512,6	648,85	500
MCO-0646	0,73	1248,88	1580,85	500
MG1001-4	1,03	1314,98	1314,98	500
GENERADOR	1,94	8319,06	7382,34	500

Fuente: Investigación de campo (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

4.2 Implementación de Acciones para mejorar la Fiabilidad

Para mejorar la Fiabilidad en los motores Caterpillar se realiza la implementación de varias acciones como:

- Establecer los periodos de cambio de aceite y filtros con base en el muestreo del análisis de aceite. (Ver Anexo B)
- Establecer los mantenimientos preventivos de top end y overhaul, con base al monitoreo de condición (AA, vibración, consumo de aceite, presión de cárter y medidor de servicio).
- Implementar monitoreo continuo de parámetros de operación mediante software de servicio ET (Electronic Technician).

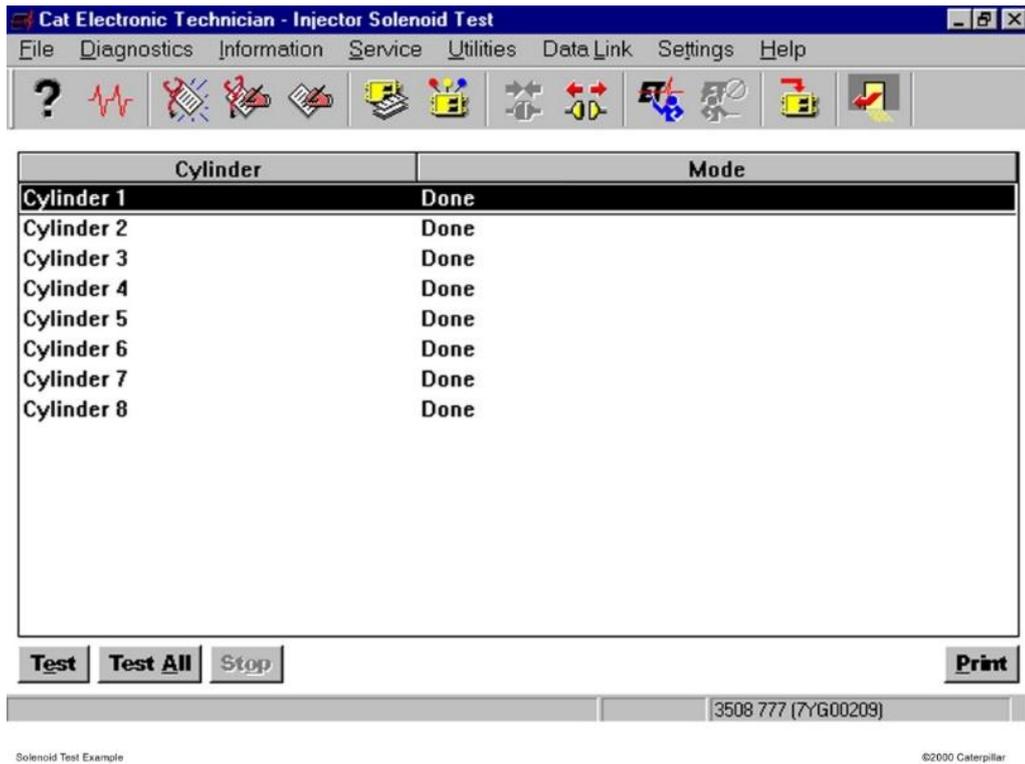


Figura 7-4 Prueba de solenoide de los cilindros

Fuente: Software de servicio Electronic Technician (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

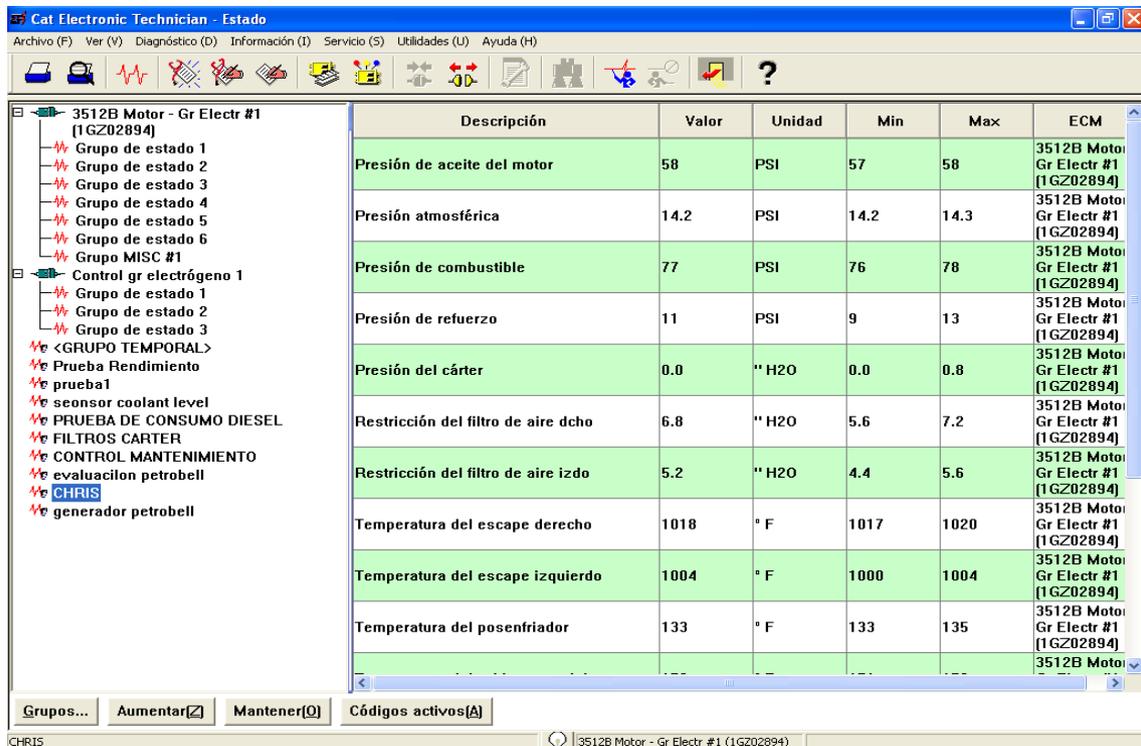


Figura 8-4 Parámetros del motor (a).

Fuente: Software de servicio Electronic Technician (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Cat Electronic Technician - Estado

Archivo (F) Ver (V) Diagnóstico (D) Información (I) Servicio (S) Utilidades (U) Ayuda (H)

Descripción	Valor	Unidad	Min	Max	ECM
Restricción del filtro de aire dcho	6.4	" H2O	5.6	7.2	3512B Motor Gr Electr #1 [1GZ02894]
Restricción del filtro de aire izdo	5.2	" H2O	4.4	5.6	3512B Motor Gr Electr #1 [1GZ02894]
Temperatura del escape derecho	1018	° F	1017	1020	3512B Motor Gr Electr #1 [1GZ02894]
Temperatura del escape izquierdo	1004	° F	1000	1006	3512B Motor Gr Electr #1 [1GZ02894]
Temperatura del posenfriador	133	° F	133	135	3512B Motor Gr Electr #1 [1GZ02894]
Temperatura del refrigerante del motor	172	° F	171	172	3512B Motor Gr Electr #1 [1GZ02894]
Velocidad del motor	1800	RPM	1799	1805	3512B Motor Gr Electr #1 [1GZ02894]
Factor de carga del motor	33	%	32	35	3512B Motor Gr Electr #1 [1GZ02894]
Duración de la inyección	1488		1420	1504	3512B Motor Gr Electr #1 [1GZ02894]
Diferencia de presión del filtro de aceite	9	PSI	8	9	3512B Motor Gr Electr #1 [1GZ02894]

CHRIS | 3512B Motor - Gr Electr #1 (1GZ02894)

Figura 9-4 Parámetros del motor (b).

Fuente: Software de servicio Electronic Technician (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

4.2.1 Implementar sistema de filtrado de combustible previo a su utilización.

Se realiza mediante la instalación de filtros RACORD.



Figura 10-4 Filtros RACORD.

Fuente: French Marine Motors (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016



Figura 11-4 Porta Filtros RACORD.

Fuente: French Marine Motors (2016)

Realizado por: Parker Racor, 2016

Con la instalación de los filtros RACORD al ingreso de los motores se obtiene un combustible mas limpio para:

- Garantizar el funcionamiento continuo de los grupos electrógenos.
- Reducir la frecuencia de paros de los equipos por combustible contaminado.
- Alargar la vida útil de partes internas del motor (bombas de inyección, inyectores, etc.)

4.2.2 Otras actividades a realizar

- Implementar sistema de filtrado de refrigerante.
- Usar herramientas especiales para acortar tiempos de paro del equipo.
- Realizar revisiones periódicas de continuidad en el cableado de control.
- Realizar inspección y limpieza de regletas y conectores.
- Verificar del funcionamiento óptimo del sistema de puesta a tierra del motor.
- Conectar periódicamente el analizador de energía para verificar la presencia de trascientes armónicos y corrientes parasitas que pueden afectar la operación del equipo.X
- Realizar Termografías (Ver Anexo C).
- Realizar Análisis de Vibraciones (Ver Anexo D).

4.2.3 Análisis Causa Raíz

El Análisis Causa Raíz puede implementarse en forma reactiva para investigar los hechos ocurridos o en forma proactiva, para evitar la ocurrencia de éstos.

Evitar fallos con impacto en la seguridad de las personas o en la protección al medio ambiente.

Analizar los posibles errores cometidos durante el diseño, la operación o el mantenimiento de un activo.

Evitar o reducir las consecuencias de los fallos recurrentes con una elevada repercusión en los costos de operación y/o de mantenimiento.

(Ver Anexo E)

4.3 Determinación de la Fiabilidad de los Motores Caterpillar año 2015

Después de implementar las acciones correctivas con los datos de falla de los motores que conforman el sistema de Generación en Central Guanta presentados en la tabla 10-4 a 13-4 se realiza el cálculo de la Fiabilidad de los motores Caterpillar 3512C de la utilizando el programa FIASOFT.

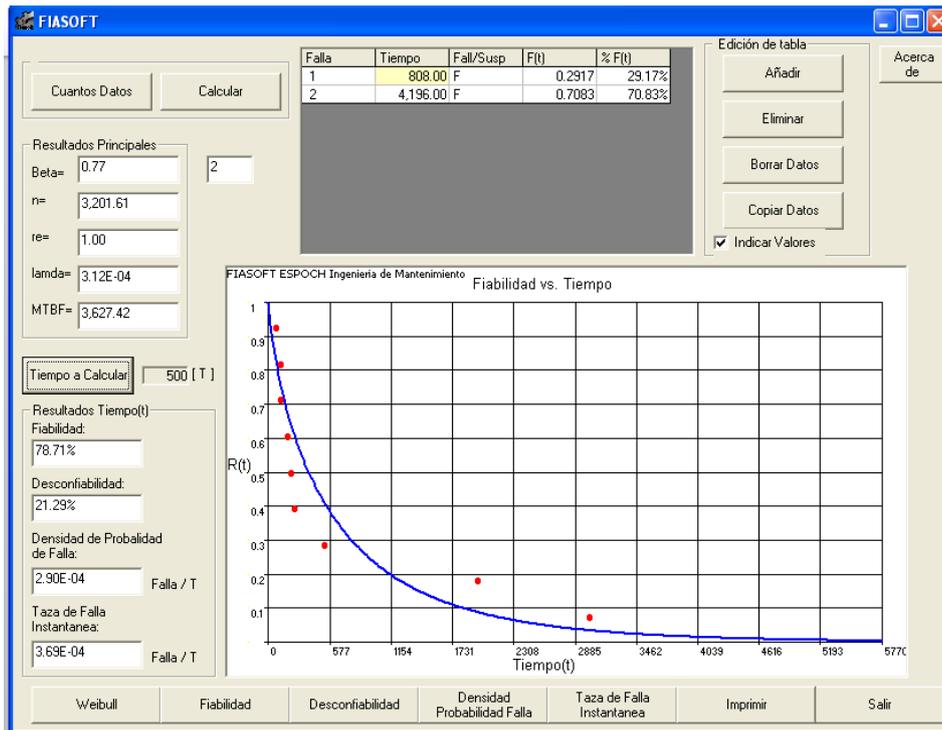


Figura 12-4 Fiabilidad Motor Caterpillar MCO-650

Fuente: Software Fiasoft (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

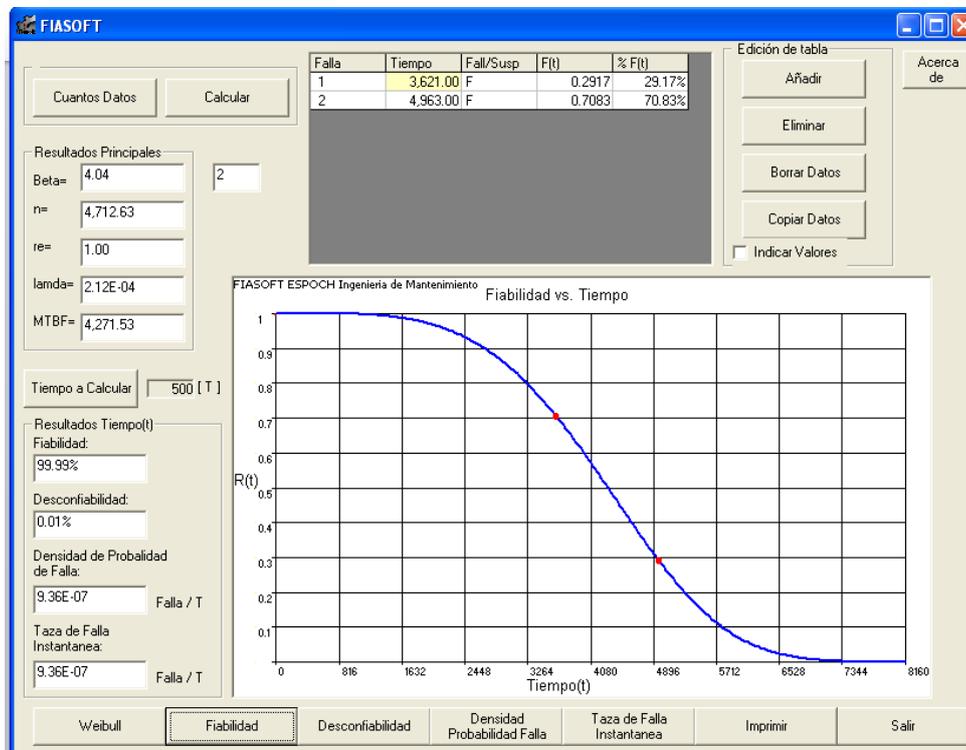


Figura 13-4 Fiabilidad Motor Caterpillar MCO-642

Fuente: Software Fiasoft (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

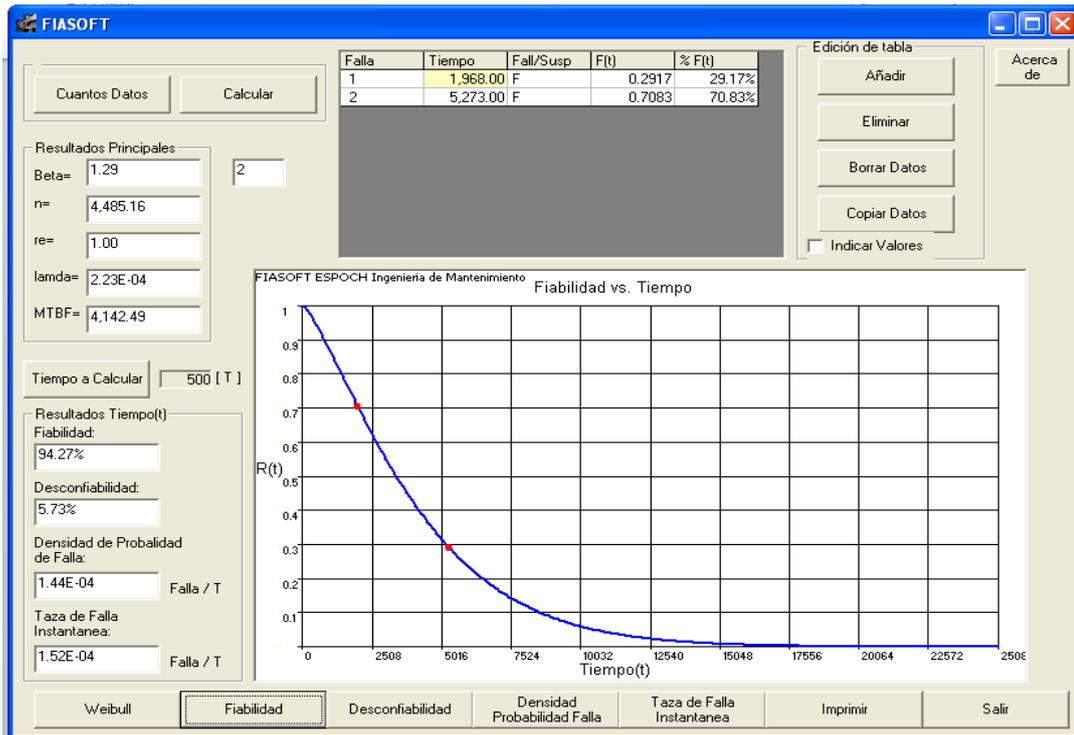


Figura 14-4 Fiabilidad Motor Caterpillar MCO-0646

Fuente: Software Fiasoft (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

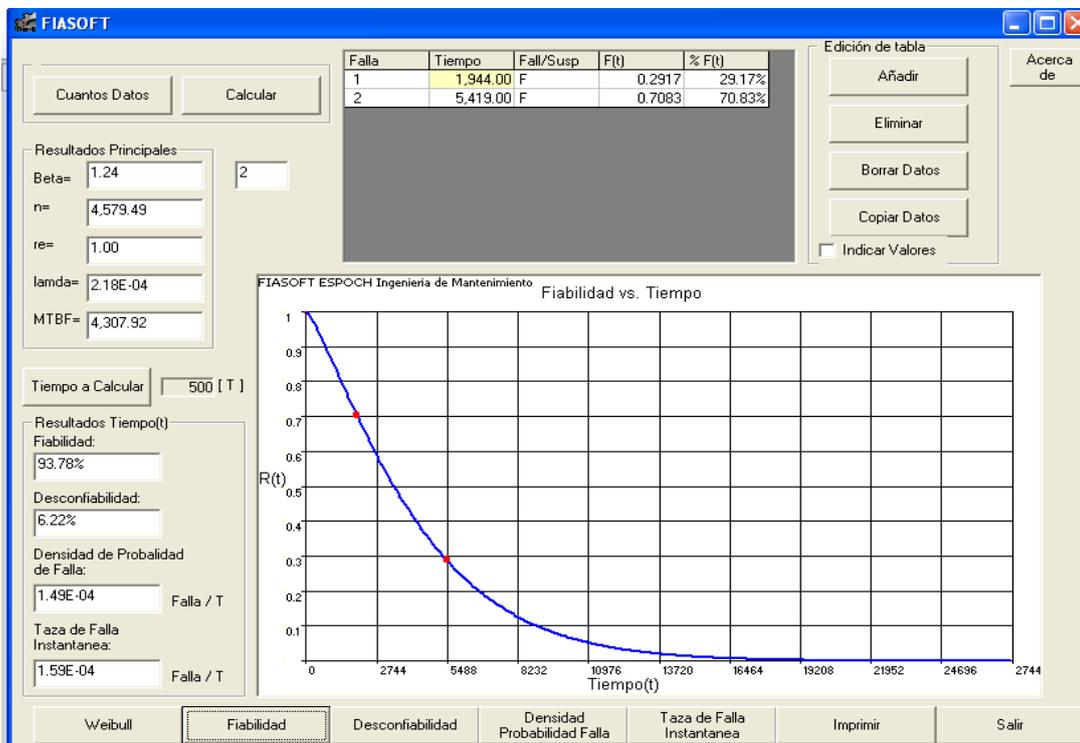


Figura 15-4 Motor Caterpillar MG1001-4

Fuente: Software Fiasoft (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

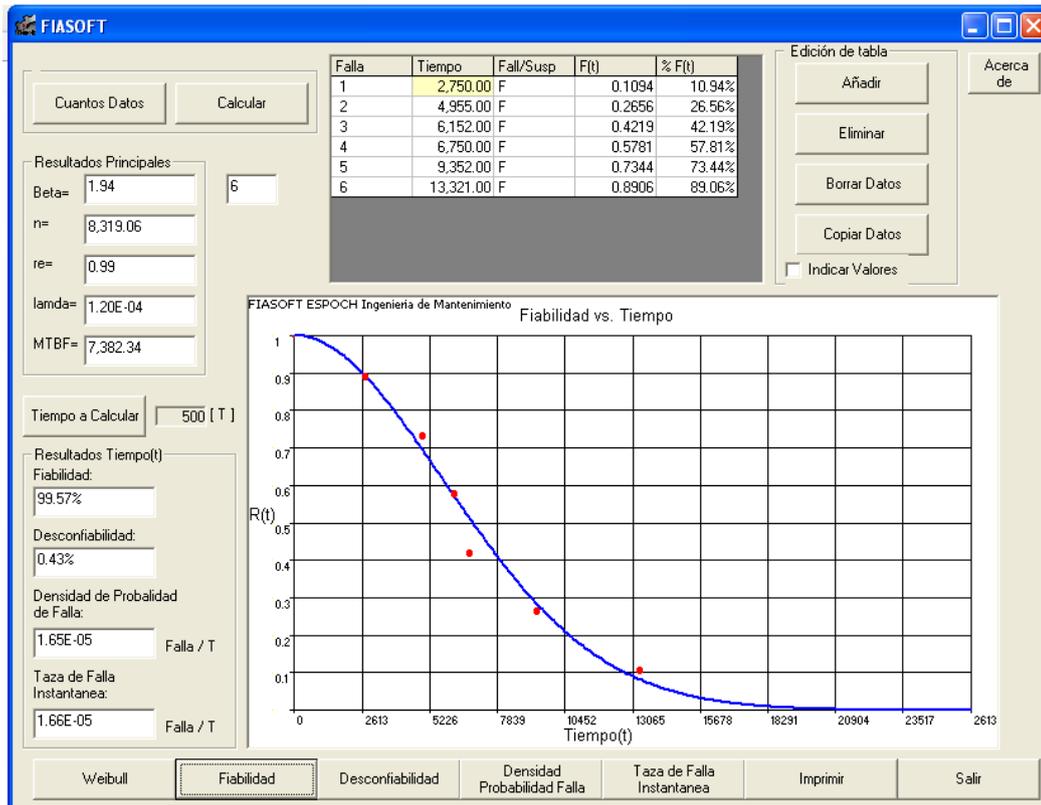


Figura 16-4 Fiabilidad Generadores

Fuente: Software Fiasoft (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Con los datos calculados en las Figuras 12-4 a 16-4 se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 15-4 Cálculos para la Fiabilidad año 2015

EQUIPO	2015			
	β	α	TMEF	TIEMPO A CALCULAR
MCO-0650	0,77	3201,61	3627,42	500
MCO-0642	4,04	4721,63	4271,53	500
MCO-0646	1,29	4485,16	4142,49	500
MG1001-4	1,24	4579,49	4307,92	500
GENERADOR	1,94	8319,06	7382,34	500

Fuente: Investigación de campo (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 16-4 Fiabilidad año 2014 y 2015

EQUIPO	2014		2015	
	TMEF	FIABILIDAD	TMEF	FIABILIDAD
MCO-0650	693,25	42,41	3201	78,71
MCO-0642	648,85	37,40	4271,53	99,99
MCO-0646	1580,85	59,89	4142,49	94,27
MG1001-4	1314,98	69,12	4307,92	93,78
GENERADOR	7382,34	99,57	7382,34	99,57

Fuente: Investigación de campo (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

4.4 Determinación de la Fiabilidad del Sistema de motores Caterpillar 3512C de la central de Generación Guanta

Con los datos de las tablas 14-4 a 15-4, mediante el programa RELEX 2009 Versión evaluación, se realiza el cálculo de Fiabilidad del sistema de motores de la central de Generación de Guanta; para el análisis se considera un sistema en redundancia en donde tres equipos están portando carga al sistema, en caso de falla o de mantenimiento preventivo de una de las unidades esta una cuarta en reserva para suplir la carga requerida.

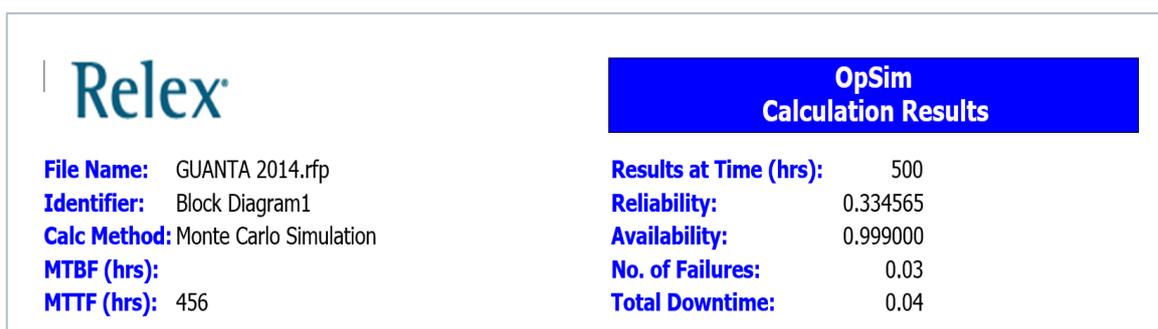


Figura 17-4 Fiabilidad del sistema de motores Caterpillar 3512C de la central de Generación Guanta, 2014.

Fuente: SOFTWARE RELEX (2009)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

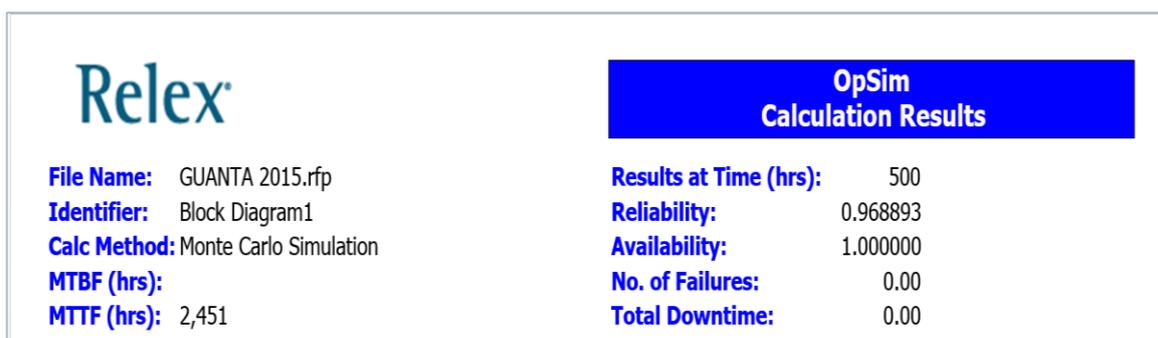


Figura 18-4 Fiabilidad del sistema de motores Caterpillar 3512C de la central de Generación Guanta, 2015.

Fuente: SOFTWARE RELEX (2009)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

En las siguientes figuras 19-4 y 20-4, se presenta los diagramas de bloques del sistema de motores Caterpillar 3512C para los años 2014 y 2015, con los datos de Fiabilidad basado en el modelo Weibull.

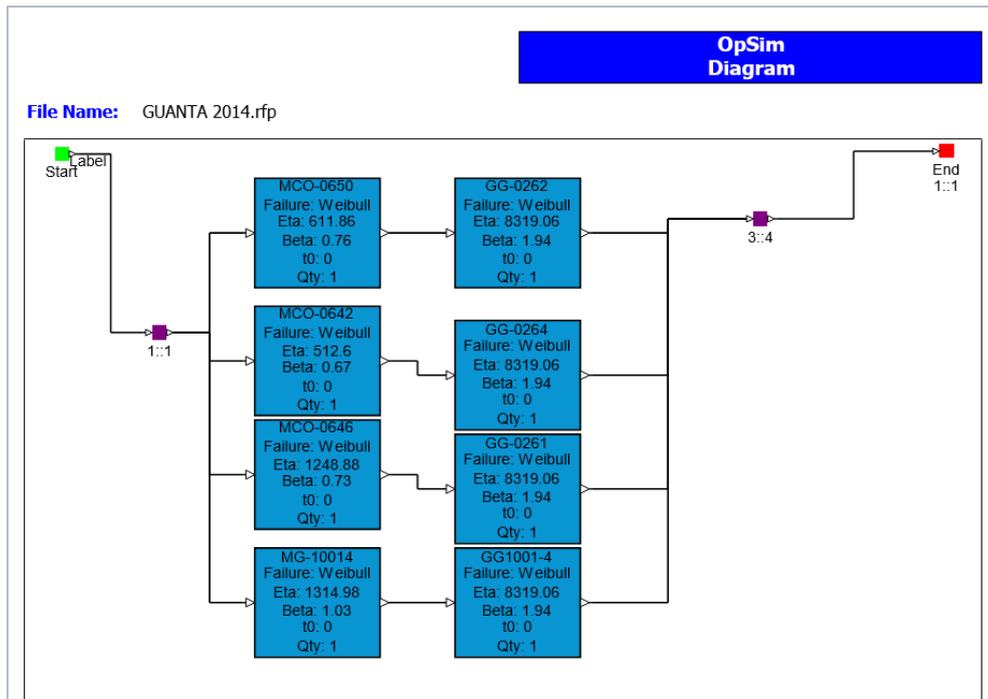


Figura 19-4 Diagrama de bloques del sistema de motores Caterpillar 3512C de la central de Generación Guanta, 2014.

Fuente: SOFTWARE RELEX (2009)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

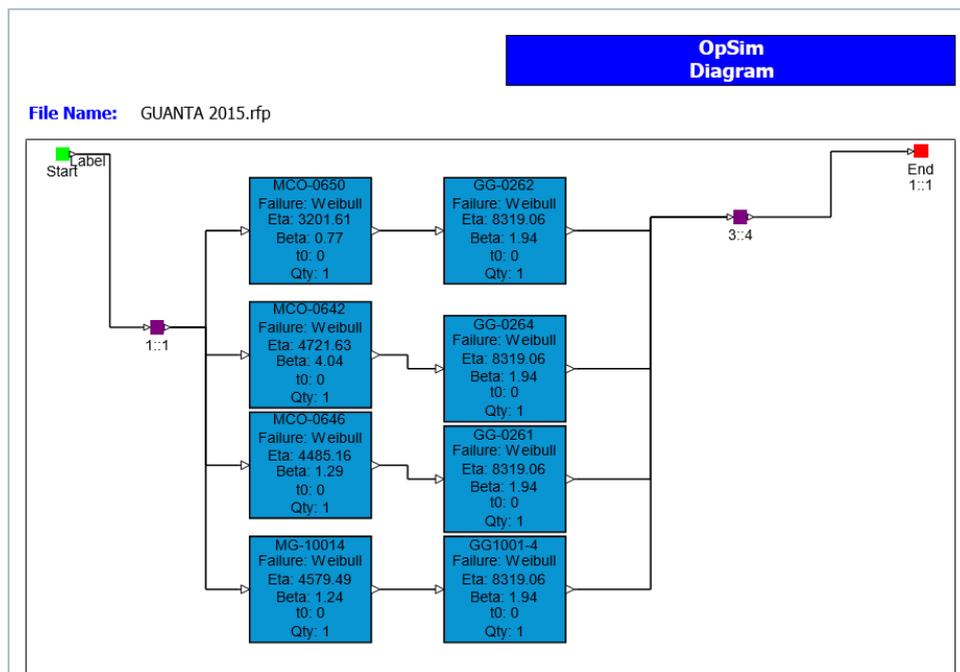


Figura 20-4 Diagrama de bloques del sistema de motores Caterpillar 3512C de la central de Generación Guanta, 2015.

Fuente: SOFTWARE RELEX (2009)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

4.5 Cálculo de costos y pérdidas de producción por Mantenimientos correctivos

Para realizar el cálculo de los costos y pérdidas de producción, se realiza el filtrado de las tablas 4-4 y 9-4, con lo cual se obtiene los siguientes datos que son presentados en la tabla a continuación.

Tabla 17-4 Número de fallos por año y tiempo de parada de los motores Caterpillar 3512C año 2014.

ITEM	MODOS DE FALLA:	#FALLAS/AÑO	TIEMPO PARADA POR FALLA
1	CAMBIO DE SENSOR DE REFRIGERANTE	1	2,58
2	CAMBIO DE INYECTOR	1	1,75
3	CAMBIO FILTROS RACOR	5	11,75
4	CAMBIO BANDAS POLEA VENTILADOR	2	12
5	CAMBIO VALVULA DE CABEZOTE	1	13
6	DESMONTAJE GRUPO ELECTROGENO	2	15
7	CAMBIO DE SENSOR DE PRESION DIFERENCIAL	3	12,67
8	CAMBIO FILTROS DIESEL	2	7,5
9	REVISION CHAQUETAS, CAMBIO ACEITE Y FILTROS	1	24
10	CORRECCION DE FUGA DE GASES DE ESCAPE	2	16
11	REVISION MOTOR MEDICION PARAMETROS	1	6
12	CORRECCION REGULADOR DE VOLTAJE	1	5,75
13	CAMBIO BREAKERS CAJA DISTRIBUCION	2	9,92
14	CORRECCION FUGA DE ACEITE BOMBA DE COMBUSTIBLE	1	5
15	CAMBIO DE HARNESS	1	11
16	INSTALACION Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO GENERADOR	1	10
17	CAMBIO DE BOMBA DE AGUA	1	6,25
18	REPARACION BOMBA DE AGUA	1	4,75
19	CAMBIO DE BATERIAS	1	3,5
20	REVISION SISTEMA DE ALIMENTACION	1	6
21	REVISION SISTEMA DE CONTROL	1	4
22	CORRECCION LIQUEO MANGUERA RETORNO COMBUSTIBLE	1	1,25
23	CORRECCION POR ALTA PRESION DEL CARTER	2	13
24	CAMBIO DE HOSE TEE	1	5,75
	TOTAL	36	208,42

Fuente: Investigación de campo (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 18-4 Número de fallos por año y tiempo de parada de los motores Caterpillar 3512C año 2015.

ITEM	MODOS DE FALLA:	#FALLAS/AÑO	TIEMPO PARADA POR FALLA
1	REVISION SISTEMA DE CONTROL	1	4,75
2	CORRECCION FUGA DE ACEITE BOMBA DE COMBUSTIBLE	1	3
3	CAMBIO FILTROS DIESEL	1	4,92
4	DESCONEXION CABLES DE CONTROL DE FUERZA	1	8,25
5	CORRECCION FUGA DE DIESEL	1	5
6	CAMBIO DE INYECTOR	1	5,5
	TOTAL	6	31,42

Fuente: Investigación de campo (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Para el año 2014:

- Tiempo de parada por mantenimientos correctivos: 208,42 horas.
- Costos por mantenimientos correctivos: \$ 26721,66 USD dólares.
- Reparación mayor de un grupo electrógeno: \$250.000 USD dólares, debido a los problemas presentados en el motor se lo retira prematuramente para realizar la reparación mayor antes de cumplir la frecuencia que es de 20.000 horas.

Para el año 2015:

- Tiempo de parada por mantenimientos correctivos: 31,42 horas
- Costos por mantenimientos correctivos: 989,17 dólares
- Reparación mayor de un grupo electrógeno: 0 dólares, en este año no se presentan problemas para reparaciones mayores con las acciones correctivas se disminuye las paradas por mantenimientos correctivos y mejora la operatividad del grupo electrógeno.

Tabla 19-4 Tiempo de parada y costos por Mantenimientos correctivos.

AÑO	Tiempo parada por Mantenimientos correctivos (Horas)	Costos por Mantenimientos correctivos (Dólares)	Costos por reparaciones Mayores (Dólares)	Costo Total utilizado por año (Dólares)
2014	208,42	26721,66	250000	276721,66
2015	31,42	989,17	0	989,17

Fuente: Investigación de campo (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Tabla 20-4 Costos de pérdidas de producción por Mantenimientos correctivos.

AÑO	Tiempo parada por Mantenimientos correctivos (Horas)	Tiempo para reestablecer producción (Horas)	Pérdidas de Producción Ramal Norte y Sur (Barriles/ hora)	Costos por Pérdidas de Producción Ramal Norte y Sur (Dólares)
2014	208,42	36	138	1517848,2
2015	31,42	6	138	232378,2

Fuente: Investigación de campo (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

La Central de Generación de Guanta aporta los ramales Norte y Sur se toma en cuenta un tiempo adicional de reestablecimiento de producción de los pozos (promedio una hora), esto se debe a que no cuentan con en su sistema de extracción con Standing ball por lo que se necesita esperar el tiempo de llenado de la columna de petróleo para su posterior arranque.

4.6 Resultados

Se puede observar que luego de las acciones implementadas en los motores el número de fallas se reduce y los parámetros beta y alfa del modelo weibull cambian considerablemente, al proyectar estos valores en el diagrama de bloques para un tiempo estimado de 500 horas se evidencia un incremento en la Fiabilidad del sistema de 33% en el año 2014 al 96% en el año 2015 como se podrá observar en las figuras 17-4 y 18-4.

En los resultados del análisis estadístico con el software Fiasoft para el modelo Weibull en base al parámetro de forma beta según la figura 4-2 Curva de la bañera los equipos se encuentran entre fase de la vida temprana y útil para los cálculos del año 2014. Mientras que para el año 2015 la mayoría se encuentra la fase de vida útil excepto el motor MCO 0642 el cual está en fase de desgaste coincidiendo con las horas de operación para proyectar la reparación mayor (Overhaul) del mismo, en caso de no disponer del software FIASOFT se puede realizar el cálculo mediante estimación con el modelo exponencial para lo cual se requiere encontrar la tasa de fallos.

Las acciones correctivas se ven reflejadas en la efectividad al ser aplicadas por ende la Fiabilidad de los equipos tiene un incremento considerable. Aunque, uno de los problemas

principales es la saturación de filtros para el cual se realizó varias acciones correctivas especialmente la limpieza de tanques debido a que el combustible refinado en la Estación de Shushufindi al ser trasvasado a los tanques provoca levantamiento de sedimentos mismos que ingresan a los motores y provocan su apagado por saturación de filtros.

También se instaló filtros adicionales antes del ingreso a los filtros originales de los motores que vienen de fábrica los cuales separan el agua del combustible ya que el combustible refinado en el complejo Shushufindi no cumple con todas las especificaciones del fabricante, cabe indicar que los motores Caterpillar 3512C por ser electrónicos y no mecánicos son más sensibles y propensos a apagarse por saturación de los filtros.

La adquisición, capacitación y utilización del software ET (Electronic Technician) fue también esencial en la detección predictiva de fallos que pueden ocurrir en los equipos, debido a que puede detectarse mediante el monitoreo de los parámetros a los cuales está trabajando y en caso de no ser los adecuados se realiza la parada para proceder con su mantenimiento predictivo antes de que ocurra un siniestro del equipo el mismo que ocasionaría costos de reparaciones mayores del equipo.

4.6.1 Comprobación de hipótesis en base a T Student

Esta técnica paramétrica se utiliza para comparar la media de una variable independiente cuantitativa entre dos grupos de valores de muestras relacionadas, para comparar si mejora el análisis de fiabilidad al aplicar el modelo planteado o mantenerlo de forma empírica, es decir al asumir el promedio de los tiempos hasta el fallo como el tiempo medio entre fallas.

Hipótesis alternativa: Existe una diferencia significativa entre los valores de Fiabilidad antes de realizar las acciones correctivas a los motores Caterpillar 3512C de la estación Guanta y después de aplicar un plan de mantenimiento preventivo a los motores Caterpillar 3512C de la estación Guanta, comparando las medias de dos grupos con un nivel de confianza del 95%.

$$H_1: X_0 \neq X_1$$

Hipótesis Nula: NO existe una diferencia significativa entre los valores Fiabilidad antes de realizar las acciones correctivas a los motores Caterpillar 3512C de la estación Guanta y después de aplicar un plan de mantenimiento preventivo a los motores Caterpillar 3512C de la estación Guanta, comparando las medias de los dos grupos con un nivel de confianza del 95%.

$H_0: X_0=X_1$

Donde:

X_0 : Fiabilidad del sistema para 500 horas con datos del análisis de fallas del año 2014 calculado con software RELEX 2009 versión evaluación para un filosofía de operación redundancia (Parallel operating) 3 de 4, es decir tres equipos operan y uno se encuentra en stand by.

X_1 : Fiabilidad del sistema para 500 horas con datos del análisis de fallas del año 2015 calculado con software RELEX 2009 versión evaluación para un filosofía de operación redundancia (Parallel operating) 3 de 4, es decir tres equipos operan y uno se encuentra en stand by.

En la Figura 21-4 se presenta la proyección de weibull con los datos de la Fiabilidad del año 2014 y 2015

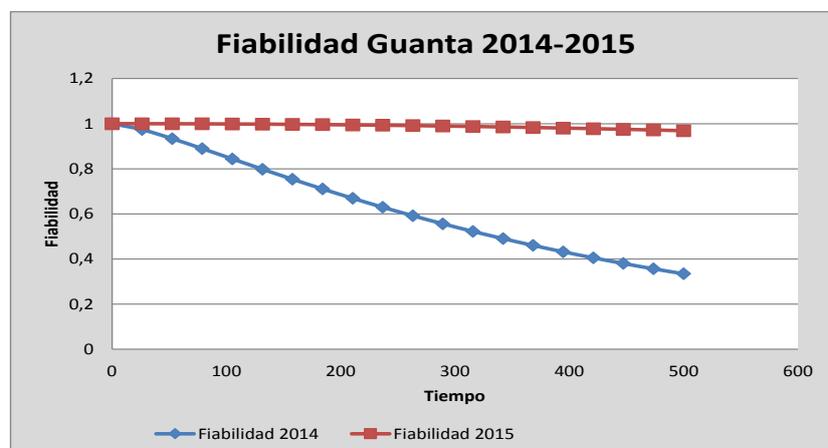


Figura 21-4 Resultados estimación de Fiabilidad

Fuente: Investigación de campo (2016)

Realizado por: Rómulo Álvarez, 2016

La figura 22-4 presenta los resultados de aplicar el cálculo utilizando la función análisis de datos de Microsoft Excel.

Figura 22-4 Resultados prueba de hipótesis T student muestras relacionadas.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas	λ empírico (h) Variable 1	λ de análisis (h) Variable 2
Media	0,988855105	0,617518053
Varianza	0,000100179	0,041816812
Observaciones	19	19
Coeficiente de correlación de Pearson	0,939841845	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	8,295737576	
P(T<=t) una cola	7,2792E-08	
Valor crítico de t (una cola)	1,734063607	
P(T<=t) dos colas	1,45584E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2,10092204	

Fuente: Investigación de campo (2016)

Realizado por: Rómulo Alvarez, 2016

Las consideraciones que se encontraron para determinar que la hipótesis alternativa es la correcta son:

- 1.- P valor dos colas 1.45×10^{-7} es menor que 0.05 (valor de probabilidad)
- 2.- El estadístico t 8.29 es mayor que 2,04 (valor crítico de dos colas)

Por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa H_1 al demostrar que “Existen diferencias significativas entre los valores Fiabilidad antes de realizar las acciones correctivas a los motores Caterpillar 3512C de la estación Guanta y después de aplicar un plan de mantenimiento preventivo a los motores Caterpillar 3512C de la estación Guanta comparando las medias de dos grupos con un nivel de confianza de 95%”

CONCLUSIONES

- Con la utilización del software Relex 2009 que identifica la fiabilidad de los equipos y con el modelo estadístico, fue posible realizar las acciones correctivas como: monitoreo, análisis de aceite, vibraciones, termografías y otros, de tal manera que el índice de fiabilidad del año 2014 del sistema de motores Caterpillar 3512C de la Central de Generación de Guanta se incrementó del 33% al 96%.
- Mediante la técnica del análisis causa raíz fue posible identificar la falta de recursos en aspectos que tienen incidencia en la fiabilidad de los motores Caterpillar 3512C. De tal manera que al examinar detenidamente las zonas rebajadas para partículas de desechos atrapados, estos muestran evidencia de que no han sido examinados, retirados y limpiados adecuadamente.
- Con el análisis de los modos de falla existentes en los motores del Sistema Caterpillar 3152C de la Central de Generación Guanta, se encuentra que no tienen mantenimientos correctivos que aseguren la energía permanente para la producción de los pozos petroleros y demás sistemas de reinyección de agua, muy importantes dentro del proceso de extracción de petróleo.
- Se establece que es imperioso realizar únicamente pocos pero eficientes mantenimientos correctivos, ya que con lo propuesto se disminuyeron considerablemente los excesivos trabajos de mantenimiento con la mejora continua y mediante las innovaciones tanto tecnológicas como mecánicas.
- El primer indicio de problemas recurrentes es el turbocompresor, puesto que suele ser de baja potencia o el escape de humo negro suscitado con demasiada frecuencia, siendo la causa principal un filtro de aire sucio que restringe el suministro de aire de entrada. Así mismo, se encuentra que la falta de lubricación en los turbocompresores se debe fundamentalmente a causas tales como: bajo nivel de aceite, los arranques en frío, aceite incorrecto, pasajes restringidos, aceite contaminado, altas temperaturas, entre otros.

RECOMENDACIONES

- Se requiere implementar el método Análisis Causa Raíz (ACR) dentro de la empresa para las diferentes áreas de trabajo para aprender de la historia, es decir tener en expresión matemática la experiencia suscitada en los equipos; de hecho, se comprueba que un análisis de Fiabilidad realizado con este tipo de examen, de cualquier problema es posible determinar cual fue la causa esencial del mismo y así tomar las acciones correctivas inmediatas. Sebe concientizar a todo el personal, que el ingreso de fallos al sistema de Gestión y Mantenimiento de la empresa Máximo Oil&Gas, debe ser una forma real en cuanto al tiempo y descripción del mismo, a más de hacerlo en forma estandarizada, para obtener una base de datos confiable para realizar estudios, tomar acciones correctivas y evitar problemas.
- Será necesario realizar convenios con los proveedores para que realicen capacitaciones continuas, especialmente reforzando los conocimientos del área Técnica del Departamento de Mantenimiento, ya que es la más vulnerable cuando los equipos sufren paradas inesperadas, que a su vez implican interrupción del sistema e inclusive paralizaciones y por ende pérdidas en producción.
- La identificación de los residuos es a menudo la clave para encontrar la causa raíz del desgaste abrasivo, siempre que sea posible, se debe examinar detenidamente las zonas rebajadas para partículas de desechos atrapadas, retirar suavemente, limpiarlas y examinarlos con buena iluminación y meticulosidad.
- Reforzar la limpieza de tanques de combustible con cronogramas coordinados con el área de producción para realizar paradas programadas y evitar pérdidas en producción, así salvaguardar la integridad tanto del personal como de los equipos.
- Se deberá adquirir equipos de última tecnología como son: vibraciones, termografía, análisis de aceite, licencias actualizadas de software como el llamado ET para el monitoreo continuo de los equipos, complementando rutas de monitoreo de acuerdo a la criticidad e importancia de los equipos, permitiendo detectar fallos potenciales.

- Se recomienda dar a conocer al personal de la empresa la importancia que tiene la Fiabilidad de los equipos y sistemas, debido a que muchas veces lo que importa son las soluciones inmediatas, por ser tan dinámica la operación petrolera; siendo preventiva la realización obligatoria de los análisis de los fallos para evitarlos a futuro.

BIBLIOGRAFÍA

BLOQUE 56 LA (2013-2015). *Datos de Operación y Mantenimiento, Central de Generación Estación Guanta*. Sucumbíos, Ecuador: Petroamazonas EP.

BLUM, C. (2013). *Listado oficial de Empresa, País, Bloque, Activo, Facilidades de Producción, Campos, Plataformas, Pozos y Zonas productoras*.

CAMPOVERDE VIVANCO, E. (2012). *Análisis de fiabilidad e equipos rotativos de la Central Hidroeléctrica Paute Molino*. (Tesis de Grado Previo a la Obtención del Título de Ingeniero de Mantenimiento). Recuperado de la base de datos del Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Consulta 2 octubre 2016].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1639>

CARRIÓN ERAS, C. (2015). *Análisis del estado actual de máquinas, equipos y sistemas y su influencia en la Fiabilidad en la florícola la ROSALEDA S.A. en la provincia de Cotopaxi*. (Trabajo Estructurado de Manera Independiente Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico). Recuperado de la base de datos del Repositorio digital de la Universidad Técnica de Ambato. [Consulta 2 octubre 2016].

<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/10352>

COLLANTES VÉLIZ, R. (2010). *Análisis de mejora de la Fiabilidad de los sistemas de distribución eléctrica de alta densidad de carga*. (Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias, Mención: Sistemas de potencia). Recuperado de la base de datos de Cybertesis Universidad Nacional de Ingeniería de Perú. [Consulta 2 octubre 2016].

<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/152>

CORNO, F., REBAUDENGO, M. y SONZA, M. (s/f). *Evaluación y Cálculo de la Confiabilidad*.

[Consulta 10 agosto 2016].

[https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwiKo6CMI8DQAhVFLSYKHRywCIUQFgglMAI&url=http%3A%2F%2Fwww.cad.polito.it%2Fprojects%2FEuropean%20Union%20Projects%20\(terminated\)%2FTOSCA%2Fc%C3%A1lculo.pdf&usq=AFQjCNEXxQghZYpDUAVx5PbFJoWBU5bw0A&sig2=JAhzhryfsoVs8PQQwNm_rg&bvm=bv.139782543,d.eWE&cad=rja](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwiKo6CMI8DQAhVFLSYKHRywCIUQFgglMAI&url=http%3A%2F%2Fwww.cad.polito.it%2Fprojects%2FEuropean%20Union%20Projects%20(terminated)%2FTOSCA%2Fc%C3%A1lculo.pdf&usq=AFQjCNEXxQghZYpDUAVx5PbFJoWBU5bw0A&sig2=JAhzhryfsoVs8PQQwNm_rg&bvm=bv.139782543,d.eWE&cad=rja)

FAA-HDBK-006^a. (2008). *Federal Aviation Administration Handbook. Reliability, Maintainability, and Availability (RMA).*

FIASOFT SOFTWARE. VERSIÓN. 1.0.0 *Cálculo de Fiabilidad.*

FRENCH MARINE MOTORS. (2016). *Product information.*

[Consulta 2 octubre 2016].

<https://www.frenchmarine.com/Products.aspx>

IIASA, CAT. (2005). *Service Manual 3500B GENERATORS SETS RENR5057-01.*

KLUTKE, G. (2003). *A Critical Look at the Bathtub Curve. IEEE transactions on reliability.* (vol. 52) no. 1.

M.T. TODINOV. (2005). *Reliability and Risk Models: Setting Reliability Requirements.* by John Wiley & Sons.

MANAGEMENT MANUAL. (S/F). *Guidelines for the Naval Aviation.*

MIL-HDBK-109. (1960). *Quality Control and Reliability - Statistical.*

MINISTRY OF DEFENCE DEFENCE STANDARD 02-45 Issue 2 CATEGORY 2 (2000). *Requirements for the Application of Reliability-Centred Maintenance Techniques to HM Ships, Submarines, Royal Fleet Auxiliaries and other Naval Auxiliary Vessels. NES 45 Issue 3 July 2000.*

MOUBRAY, J. (2000). *Rehability Centered Maintenance*. EE.UU: Industrial Press. Inc.

NASA. (2000). *Reliability and Maintainability (RAM)*.

NAVAIR (2005). *Reliability-Centered Maintenance Process*.

NORMAS APA. (2015). *Centro de Escritura Javeriano*.

[Consulta 2 octubre 2016].

<http://portales.puj.edu.co/ftpcentroescritura/Recursos/normasapa.pdf>

NOWLAN, S., HEAP, H. (1978). *Reliability-Centered Maintenance*. San Francisco, Ca. EE.UU: United Airlines.

PIÑALOZA HARO, L. Y CAMACHO QUIJIJE, E. (2013). *Análisis Vibracional y Alineamiento Láser en los Equipos de la Industria Plástica del Centro IMPLASTIC de la Ciudad de Ambato*. (Tesis de Grado Previo a la Obtención del Título de Ingeniero de Mantenimiento). Recuperado de la base de datos del Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

[Consulta 2 octubre 2016].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2408>

PITA FERNÁNDEZ, S. Y PÉRTEGAS DÍAZ, S. (2002). *Investigación*. A Coruña, España: U.E.C.B.

PLACENCIA, S. (2014). *FMECA para el Análisis de Riesgo*. Riobamba, Ecuador.

RADICAL MANAGEMENT. (2004). *Secuencia del proceso RCM*.

[Consulta 10 agosto 2016].

<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/definiciones.asp>

BRAVO, X. (2013). *Manual de Recopilación de Datos de Mantenimiento y Confiabilidad de Maximo Oil and Gas* Departamento de Mantenimiento.

REICHARDT, C. (1986). Más allá de los métodos cualitativos versus cuantitativos.

[Consulta 12 diciembre 2015].

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2858142.pdf>

SAE INTERNATIONAL, SAE J1012. (2002). *Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.* USA.

SECRETARÍA DE HIDROCARBUROS. (2015). Mapa de bloques petroleros del Ecuador.

[Consulta 10 agosto 2016].

<http://www.secretariahidrocarburos.gob.ec/mapa-de-bloques-petroleros/>

SEXTO, L. (2012-2014). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).* (Primera Edición). Maestría en Gestión del Mantenimiento Industrial. ESPOCH.

SEXTO, L. (2012-2015). *Ingeniería de la Fiabilidad.* (Primera Edición). Maestría de Gestión del Mantenimiento Industrial. ESPOCH.

SEXTO, L. (2015). Ingeniería de la fiabilidad.

[Consulta 20 septiembre 2016].

[www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Fiabilidad sistemas complejos.pdf](http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Fiabilidad_sistemas_complejos.pdf)

SEXTO, L. (2015). *Auditoria para evaluar la gestión de mantenimiento en la empresa.*

[Consulta 20 septiembre 2016].

[www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Fiabilidad sistemas complejos.pdf](http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Fiabilidad_sistemas_complejos.pdf)

SISALIMA JIMÉNEZ, W. (2016). Mantenimiento predictivo de los generadores Diesel FG Wilson, Cummins, Himoina de la empresa Sociedad Minera Liga de Oro S.A. mediante ferrografía analítica. (Tesis de Grado Previo a la Obtención del Título de Ingeniero de Mantenimiento). Recuperado de la base de datos del Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

[Consulta 2 octubre 2016].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4570>

SOFTWARE RELEX. (2009). *RELEX 2009 VERSIÓN EVALUACIÓN.*
CARACTERÍSTICAS RBD.

[Consulta 8 Mayo 2016].

<http://www.datsi.fi.upm.es/~rail/new/WP2/Relex/Relex.htm>

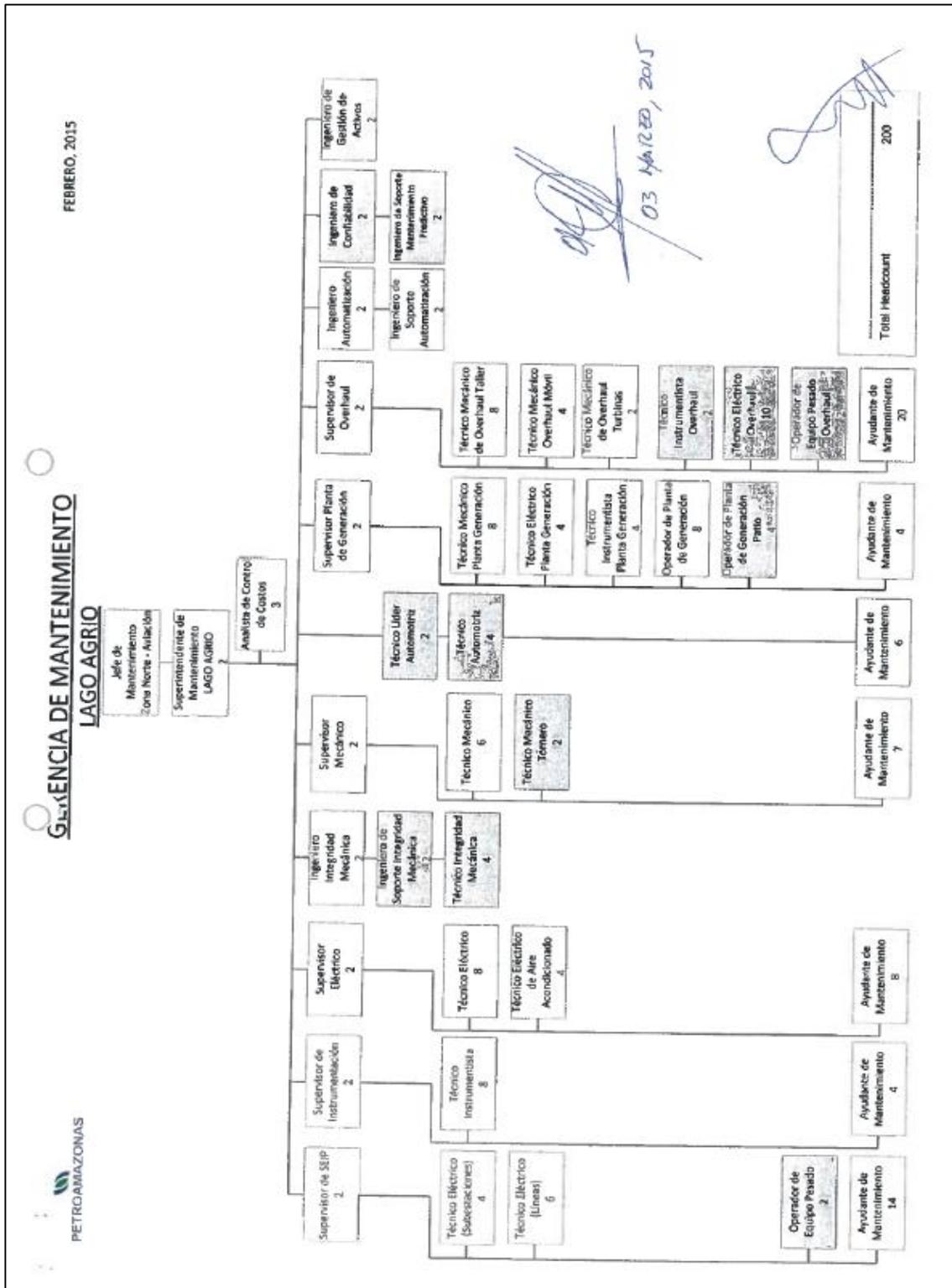
TAMBORERO DEL PINO, J. (2012). *Centro Nacional de Condiciones del Trabajo.*
Barcelona, España.

[Consulta 10 agosto 2016].

http://www.jmcprl.net/NTPs/@Datos/ntp_316.htm

http://www.jmcprl.net/NTPs/@Datos/ntp_331.htm

ANEXO A. Organigrama del Departamento de Mantenimiento Bloque 56



Fuente: Petroamazonas, EP (2016)

Realizado por: Gerencia de Mantenimiento 2016

ANEXO B. Reporte de Análisis de Aceite

PETROAMAZONAS EP CLIENTE: PETROAMAZONAS EP LAGO AGRO BLOC ORDEN DE TRABAJO: 6W17872
JHONNY ALVAREZ NÚMERO DE EQUIPO: 5 SERIE COMPONENTE:
AVANACIONES UNIDAS E7-95 Y AV.DE LOS SHYRIS COMPONENTE: MOTOR INDUSTRIAL MODELO DEL COMP.:
QUITO, PICHÍ NÚMERO DE SERIE: 10205538 FABRICANTE DEL COMP.:
 FAX: MARCA: CATERPILLAR # CONTROL LAB:
 FONDO: 2-2467500 MODELO: 3512B MARCA-GRADO ACEITE: CAT15W-40
 TIPO DE MUESTRA: ACEITE LUGAR DE TRABAJO: GUANTA TIPO DE FLUIDO: C14
 NÚMERO DE GARANTÍA EXTENDIDA: FECHA DE TÉRMINO: Av. Juan Tanca Marengo Km.3
 www.iiasacat.com

# CONTROL LABORATORIO	FECHA MUESTREO	FECHA PROCESO	HORÓMETRO	HORAS ACEITE	¿CAMBIO ACEITE?	RELLENO	UNIDADES DEL RELLENO	¿CAMBIO FILTRO?
R440-4699-0099	22-Mar-2016	30-Mar-2016	39749 HR	77 HR	No			No
Normal	LOS VALORES QUE INDICAN EL DESGASTE INTERNO DEL MOTOR SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS PARÁMETROS NORMALES EN ESTE PERIODO. LAS CONDICIONES DEL ACEITE ESTÁN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS. TOMA OTRA MUESTRA DESPUÉS DE 50 HORAS PARA OBSERVAR LA TENDENCIA.							
R440-4536-0120	17-Dec-2015	22-Dec-2015	9757 HR	466 HR	SI			SI
Normal	LOS VALORES QUE NOS INDICAN EL DESGASTE INTERNO DEL MOTOR SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS PARÁMETROS NORMALES. LAS CONDICIONES DEL ACEITE ESTAN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS. CONTINUE MUESTREANDO A INTERVALOS NORMALES PARA OBSERVAR LA TENDENCIA.							
R440-4539-0052	20-Nov-2015	26-Nov-2015	38076 HR	505 HR	SI	25	GAL	SI
Seguimiento	EL ACEITE AGREGADO DISMINUYE LA CONCENTRACION DE LOS VALORES DE DESGASTE, LO QUE INFLUYE DIRECTAMENTE EN LA INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS. LOS VALORES DE DESGASTE PARECEN ESTAR NORMALES EN ESTE PERIODO. LA SULFATACION ESTA ALTA, ESTO PUEDE AFECTAR EL DESGASTE. REVISE LA TEMPERATURA DE OPERACION DEL MOTOR Y LA CALIDAD DEL COMBUSTIBLE UTILIZADO EN EL EQUIPO. TOMA OTRA MUESTRA ANTES DE AGREGAR ACEITE PARA VERIFICACION.							
R440-45314-0124	05-Nov-2015	10-Nov-2015	8805 HR	197 HR	SI			SI
Normal	LOS VALORES QUE NOS INDICAN EL DESGASTE INTERNO DEL MOTOR SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS PARÁMETROS NORMALES. LAS CONDICIONES DEL ACEITE ESTAN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS. CONTINUE MUESTREANDO A INTERVALOS NORMALES PARA OBSERVAR LA TENDENCIA.							

Elementos de desgaste (ppm)	Cu	Pb	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo	Ni	V	Ca	Mg	Zn	P
R440-4699-0099	1	2	0	1	0	0	2	2	2	61	0	0	1453	1424	1462	1223
R440-4536-0120	3	6	0	1	0	0	0	0	1	51	0	0	1956	1137	1763	1249
R440-4539-0052	5	12	0	0	2	1	3	0	0	35	0	0	1923	1342	1562	1273
R440-45314-0124	1	3	0	1	2	0	1	0	0	39	0	0	2084	1066	1707	1320

Condición de aceite / Conteo Partículas	ST	OXI	NIT	SUL	W	A	F	V100	TBN
R440-4699-0099	1	9	4	18	N	N	N	14.0	
R440-4536-0120	3	15	8	27	N	N	N	13.8	6.0
R440-4539-0052	5	19	9	32	N	N	N	13.9	4.0
R440-45314-0124	2	14	7	24	N	N	N	13.8	7.0

Ag = Plata, Al = Aluminio, B = Boro, Ca = Calcio, Cr = Cromo, Cu = Cobre, Fe = Hierro, F = Fósforo, K = Potasio, Mg = Magnesio, Mo = Molibdeno, Na = Sodio, Ni = Níquel, Pb = Plomo, Si = Silicio, Sn = Estaño, Ti = Titanio, Zn = Zinc, A = Antioxidante, B = Combustible, V = Agua, P = Pasivo, N = Negativo, E = Excesivo, NIT = Nitrosos, OXI = Oxidación, ST = Hollin, SUL = Sulfatación, ISO = Nivel de Impureza, PQI = Índice de Quantificador de Partículas, HAVI = Agua lavada, FE = Punto de ebullición, TAN = Número Total de Ácido, TBN = Número Total Básico, HCO = Índice de Carbono, V100 = Viscosidad a 100°C, V40 = Viscosidad a 40°C, VI = Índice de Viscosidad

Nota: El propósito de este análisis es únicamente para detectar desgastes mecánicos. No debe entenderse como garantía expresa o implícita de que no ocurra una falla del equipo o alguno de sus componentes.

PETROAMAZONAS EP CLIENTE: PETROAMAZONAS EP LAGO AGRO BLOC ORDEN DE TRABAJO:
JHONNY ALVAREZ NÚMERO DE EQUIPO: 7 SERIE COMPONENTE:
AVANACIONES UNIDAS E7-95 Y AV.DE LOS SHYRIS COMPONENTE: MOTOR MODELO DEL COMP.:
QUITO, PICHÍ NÚMERO DE SERIE: 10204237 FABRICANTE DEL COMP.:
 FAX: MARCA: CATERPILLAR # CONTROL LAB:
 FONDO: 2-2467500 MODELO: 3512B MARCA-GRADO ACEITE: CAT15W-40
 TIPO DE MUESTRA: ACEITE LUGAR DE TRABAJO: GUANTA TIPO DE FLUIDO: C14
 NÚMERO DE GARANTÍA EXTENDIDA: FECHA DE TÉRMINO: Av. Juan Tanca Marengo Km.3
 www.iiasacat.com

# CONTROL LABORATORIO	FECHA MUESTREO	FECHA PROCESO	HORÓMETRO	HORAS ACEITE	¿CAMBIO ACEITE?	RELLENO	UNIDADES DEL RELLENO	¿CAMBIO FILTRO?
R440-4696-0053	27-Feb-2016	04-Mar-2016	3319 HR	546 HR	SI			SI
Normal	LOS VALORES QUE INDICAN EL DESGASTE INTERNO DEL MOTOR SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS PARÁMETROS NORMALES. LAS CONDICIONES DEL ACEITE ESTAN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS. EN EL PRÓXIMO CAMBIO DE ACEITE, RECOMENDAMOS CORTAR EL FILTRO Y REVISARLO EN BUSCA DE PARTÍCULAS VISIBLES. REVISE EL FACTOR DE CARGA DEL EQUIPO. TOMA OTRA MUESTRA DESPUÉS DE 250 HORAS PARA OBSERVAR LA TENDENCIA.							
R440-4697-0069	18-Feb-2016	26-Feb-2016	3105 HR	332 HR	No			No
Normal	LOS VALORES QUE INDICAN EL DESGASTE INTERNO DEL MOTOR SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS PARÁMETROS NORMALES. LAS CONDICIONES DEL ACEITE ESTAN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS. CONTINUE MUESTREANDO A INTERVALOS NORMALES PARA OBSERVAR LA TENDENCIA.							
R440-4694-0055	04-Feb-2016	11-Feb-2016	2770 HR	521 HR	SI			SI
Normal	LOS VALORES QUE NOS INDICAN EL DESGASTE INTERNO DEL MOTOR ESTAN DENTRO DE LOS PARÁMETROS NORMALES. LAS CONDICIONES DEL ACEITE ESTAN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS. CONTINUE MUESTREANDO PARA OBSERVAR LA TENDENCIA.							
R440-46921-0055	11-Jan-2016	21-Jan-2016	2205 HR	538 HR	SI			SI
Normal	LOS VALORES QUE NOS INDICAN EL DESGASTE INTERNO DEL MOTOR SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS PARÁMETROS NORMALES EN ESTA MUESTRA. LAS CONDICIONES DEL ACEITE ESTAN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS. CONTINUE MUESTREANDO A INTERVALOS NORMALES PARA OBSERVAR LA TENDENCIA.							

Elementos de desgaste (ppm)	Cu	Pb	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo	Ni	V	Ca	Mg	Zn	P
R440-4696-0053	2	12	0	1	2	0	2	2	0	51	0	0	1666	1332	1587	1278
R440-4697-0069	1	7	0	0	1	1	2	2	0	46	0	0	1423	1353	1309	1143
R440-4694-0055	1	7	0	1	1	0	2	1	1	39	0	0	1402	1057	1244	1029
R440-46921-0055	1	8	1	0	1	0	3	0	0	48	0	0	1279	1132	1283	979

Condición de aceite / Conteo Partículas	ST	OXI	NIT	SUL	W	A	F	V100	TBN
R440-4696-0053	5	13	7	27	N	N	N	13.3	7.0
R440-4697-0069	3	11	6	22	N	N	N	13.4	8.5
R440-4694-0055	5	11	6	25	N	N	N	13.0	8.0
R440-46921-0055	5	10	6	24	N	N	N	13.1	8.0

Ag = Plata, Al = Aluminio, B = Boro, Ca = Calcio, Cr = Cromo, Cu = Cobre, Fe = Hierro, F = Fósforo, K = Potasio, Mg = Magnesio, Mo = Molibdeno, Na = Sodio, Ni = Níquel, Pb = Plomo, Si = Silicio, Sn = Estaño, Ti = Titanio, Zn = Zinc, A = Antioxidante, B = Combustible, V = Agua, P = Pasivo, N = Negativo, E = Excesivo, NIT = Nitrosos, OXI = Oxidación, ST = Hollin, SUL = Sulfatación, ISO = Nivel de Impureza, PQI = Índice de Quantificador de Partículas, HAVI = Agua lavada, FE = Punto de ebullición, TAN = Número Total de Ácido, TBN = Número Total Básico, HCO = Índice de Carbono, V100 = Viscosidad a 100°C, V40 = Viscosidad a 40°C, VI = Índice de Viscosidad

Nota: El propósito de este análisis es únicamente para detectar desgastes mecánicos. No debe entenderse como garantía expresa o implícita de que no ocurra una falla del equipo o alguno de sus componentes.

REPORTE DE ANÁLISIS

Datos Cliente

Cliente:	PETROAMAZONAS B56 LAGO AGRIO
Distribuidor:	PETROECUADOR EP

Datos Muestra

Solicitud N° [14290]

Lubricante:	LUB TURBODIESEL 15W40 CI4/SL	Condición:	Usado	Muestra #:	1
Componente:	MOTOR	Marca:	No definido	Horómetro(HR/KM):	19280
Código:	MCO-0646	Tipo:	N/D	Uso Aceite(HR/KM):	519
Modelo:	3512	Per.Toma Muestra:	MARCO PEÑAFIEL	Serie:	N/D
Fecha Toma:	26/Abr/2016	Fecha Recepción:	02/May/2016	Fecha Análisis:	16/May/2016

Diagnóstico - 16/May/2016

Condición: **Alerta**

Viscosidad alta del lubricante, por posible cambio extendido del lubricante o error en la toma e identificación de la muestra. Se sugiere el cambio del producto inmediatamente. Viscosidad alta provoca pérdida de película de lubricación y aumento del desgaste.

PDV S.A. certifica que, los resultados y diagnósticos obtenidos en este reporte de análisis de esta(s) muestra(s), fueron realizados por técnicos y analistas calificados, y los equipos usados para estos análisis fueron validados siguiendo lineamientos metrologicos de la norma ISO 9000 con que estamos certificados.

	Resultado de Análisis					Método	Límites Críticos Referenciales	
						Min	Max	
Fecha Toma	28-abr-2016							
Fecha Análisis	16-may-2016							
Hora	519							
Horómetro	19280							
Orden #	14290							
Muestra #	1							
Condición	Alerta							

Estado Lubricante

Agua, Cracking Test	NEGATIVO					Plancha	-	-
Color Visual	NEGRO					Visual	-	-
TBN, Proc. B, mg KOH/gr	8.4					ASTM D 2896	<5	-
Visc, 100°C, cSt	18.72					ASTM D 445	>11	<17

Contaminación Lubricante

Si (Silicio), mg/Kg	6.9					ASTM D 6595	-	>15
---------------------	-----	--	--	--	--	-------------	---	-----

Desgaste del Equipo

Al (Aluminio), mg/Kg	1.6					ASTM D 6595	-	>20
Cr (Cromo), mg/Kg	0.5					ASTM D 6595	-	>15
Cu (Cobre), mg/Kg	1.1					ASTM D 6595	-	>45
Fe (Hierro), mg/Kg	17					ASTM D 6595	-	>100
Pb (Plomo), mg/Kg	8.9					ASTM D 6595	-	>40

Fuente: Petroamazonas, EP (2016)

Realizado por: Ingeniero de Confiabilidad PAM, 2016

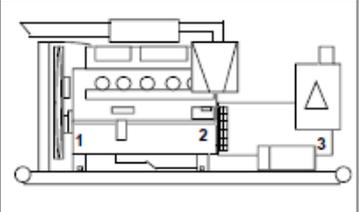
ANEXO C. Reporte de Termografías

	INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BLOQUE 56		
	REPORTE DE CBM		FECHA: 18/10/2014 Página 1 de 2

REPORTE N°	PROCEDIMIENTOS	PERMISO DE TRABAJO	ORDEN DE TRABAJO
CBM-RC-016-WR-2014		NA	140970866

ANÁLISIS REALIZADOS	VIBRACIONES	<input checked="" type="checkbox"/>	BALANCEO	<input type="checkbox"/>	ULTRASONIDO	<input type="checkbox"/>
	TERMOGRAFÍA	<input checked="" type="checkbox"/>	ACEITE DIELECTRICO	<input type="checkbox"/>	CORRIENTES	<input type="checkbox"/>

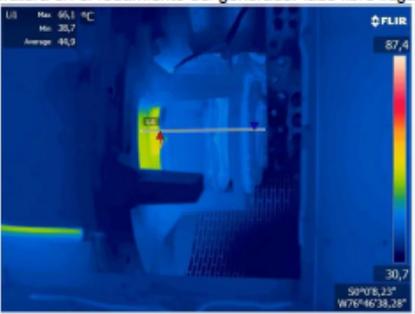
DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	COMPONENTES	VALOR MAX. RMS (pulg/seg)	CONDICIÓN
GRUPO ELECTRÓGENO	GNP-GEL-SGGN-04	Motor CAT 3512	.320	B
		TAG: MCO-0650		
		Generador:	.420	B
		TAG: GG-0282		

	DATOS PRUEBA		EQUIPOS UTILIZADOS		
	Carga Nominal	1200 kW	VibXpert		
	Carga Prueba	650 kW			
	NORMAS USADAS		CONDICIÓN DE EQUIPO		
ISO 8528-8		CRÍTICO	C	SEGUIMIENTO	S
		MALO	M	BUENO	B

Punto	Descripción	Vibración filtrada Max. 0-Pico (Plg /seg.)			Vibración Global RMS (Plg /seg.)		
		Horizontal	Vertical	Axial	Horizontal	Vertical	Axial
1	Motor lado libre	.310	.150	.190	.320	.250	.250
2	Motor lado acople	.240	.360	.150	.310	.340	.160
3	Generador Lado Libre	.350	.280	.230	.420	.310	.310

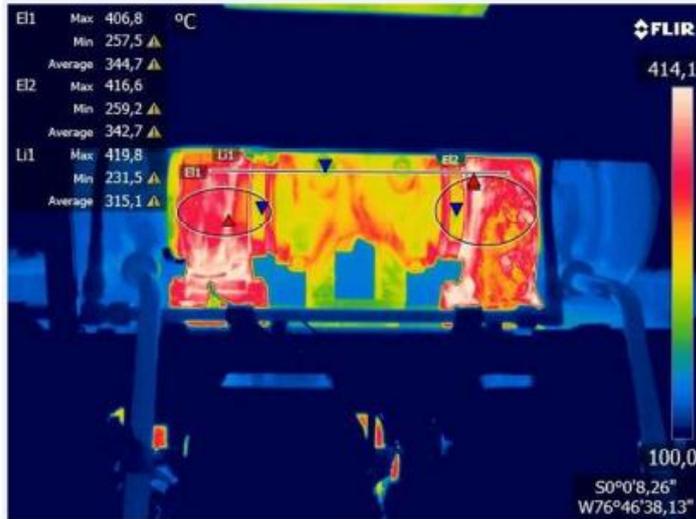
OBSERVACIONES Y RESULTADOS

- Los niveles de vibración se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la NORMA 8528-8.
- Equipo en condiciones de operación.
- Mantenimiento Predictivo realizará monitoreo de vibraciones con una frecuencia mensual.
- La temperatura en el rodamiento del generador lado libre llega a 86°C

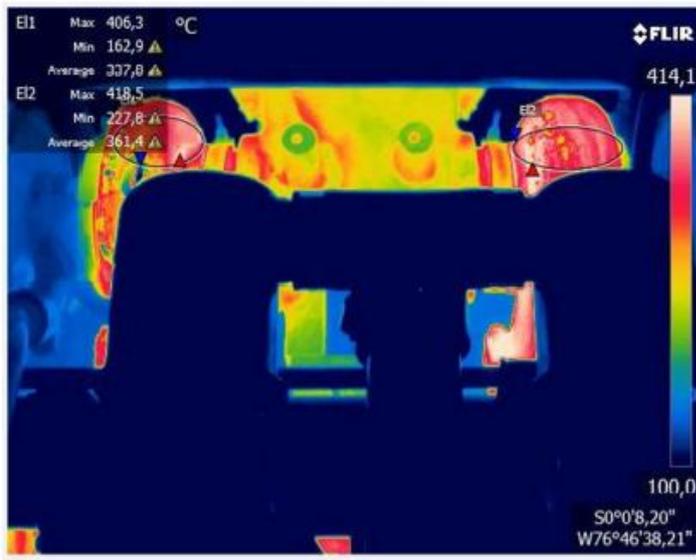


Elaboró: Washington Ruiz	Aprobó: Ing. Ulvio De Mora
--------------------------	----------------------------

TEMPERATURA EN TURBOS LADO DERECHO VISTO DESDE EL GENERADOR: MAXIMA 416°C



TEMPERATURA EN TURBOS LADO IZQUIERDO: MAXIMA 418°C



Elaboró: Washington Ruiz

Aprobó: Ing. Ulvio De Mora

Fuente: Petroamazonas, EP (2016)

Realizado por: Ingeniero de Confiabilidad PAM, 2016

ANEXO D. Análisis de Vibraciones



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO
INFORME DE INSPECCIÓN PREDICTIVA

1

EQ.	TAG	OT No.	Procedimientos No.	Área	Job Plan No.	Fecha	Reporte No.
	GG0262			GENERACIÓN		25-04-2014	083-PDM-14

Facilidad de Producción:		BLOQUE 56		Locación:		GUANTA CENTRAL	
Reportes de referencia:		X	Análisis de Vibraciones	Análisis de Lubricantes	Alineación de Precisión	Análisis de Corrientes	
Fecha:			IR Termografía	Análisis de Ultrasonido	Balanceo	Otros	

Descripción:	Reporte de monitoreo de condición grupo electrógeno GG0262 CAT-3512.		
Atención a:	Marco Peñafiel	Fecha de solicitud	26-04-2014
Preparado por:	Fernando Quispe (Ing. Mantenimiento Predictivo)	Fecha de evaluación	26-04-2014

ANTECEDENTES:

En la central de generación de la estación Guanta central se presentó una falla total no programada en motor y generador en los grupos electrógenos #5 y #6, con una alta consecuencia. En vista de que es un sistema centralizado existe la probabilidad de que el grupo electrógeno #4 GG0262 también presente una falla, por lo que se requiere determinar la condición mecánica del mismo.

OBJETIVOS:

- Realizar monitoreo de condición para determinar la condición de la unidad #4 GG0262
- Elaborar un reporte detallado de la condición y entregar las recomendaciones pertinentes.

RESULTADOS:

Se realiza monitoreo de vibraciones e inspección termográfica, obteniendo los siguientes resultados.

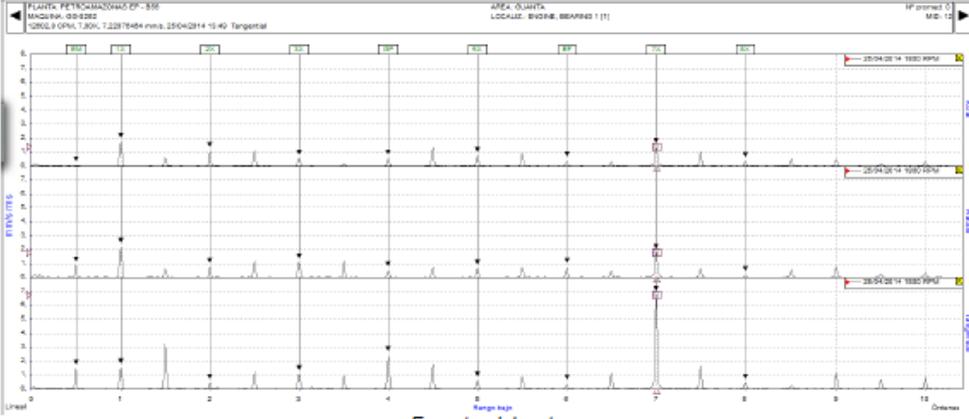
GG-0262 GRUPO ELECTROGENO 3512.

MONITOREO DE VIBRACIONES

PLANTA: PETROAMAZONAS EP-356 AREA: GUANTA IP: 192.168.1.101

MOTOR: 00-0262 LOCAL: BIVOR, BEA9902 1 (1) MD: 12

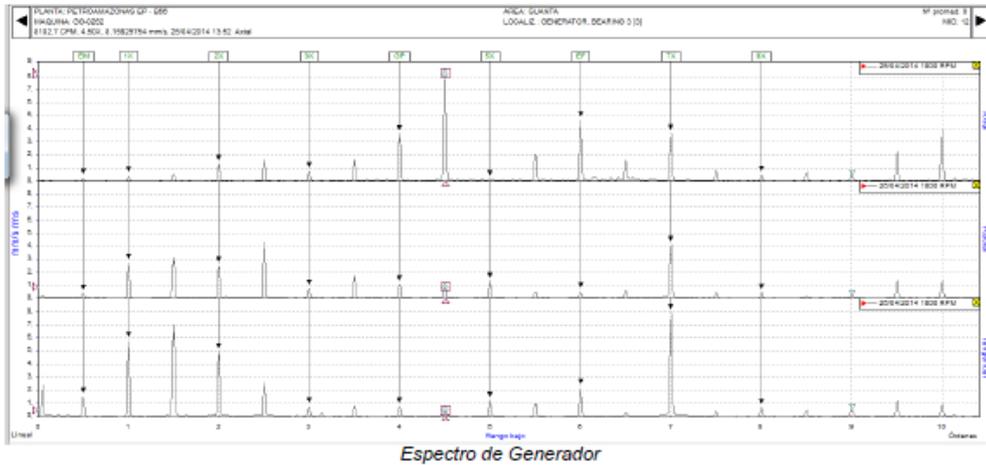
SRV: 00-0262 7.2281946 r/min 25/04/2014 11:49 Tangential



Espectro del motor

Creado por: Fernando Quispe

EQ.	TAG	OT No.	Procedimientos No.	Área	Job Plan No.	Fecha	Reporte No.
	GG0262			GENERACIÓN		25-04-2014	083-PDM-14



Diagnóstico:

- Se tiene en el motor una frecuencia con un incremento de amplitud moderada, en el orden de 7.0X lo que nos indica que existe una posible holgura mecánica.
- Se tiene un nivel de vibración moderado a las frecuencia de 4.5X, 2.5X y en el orden 7.0X, lo que nos indica una falla eléctrica y/o mecánica moderada.
- En la termografía realizada en el motor, no se identificó variación.

Recomendación:

- Continuar con el monitoreo de vibraciones periódico, para determinar tendencia.
- Realizar análisis dinámico en el generador para identificar fallas mecánicas y eléctricas, al igual que la calidad de energía.
- Realizar ultrasonido en el rodamiento del generador, y realizar análisis de fase.

Creado por: Fernando Quispe

ANEXO E. Análisis Causa Raíz (ACR)



SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
INFORME DE INVESTIGACIÓN ACR

EQ.	TAG	OT No.	Procedimientos No.	Área	Job Plan No.	Fecha	Reporte No.
Central de Generación Guanta	MCO-0642	N/A	PAH-EP-ECU-MNT-02-PRC-001-00	MANTENIMIENTO	N/A	30-04-2016	01

Facilidad de Producción:	B 56 - Guanta		Locación:	Central de Generación Guanta PAD C	
Reportes de referencia:	Informe de Caterpillar	Informe del operador	Manuales	Costos:	
Fecha:	30-04-2016	Riesgo:		Otros:	ACR
Grupo de Análisis:	Nombre			Cargo	
	Ing. Xavier Cevallos			Supervisor Planta de Generación	
	Sr. Ricardo Flores			Supervisor de overhaul	
Facilitador:	Washington Ruiz			Ing. Predictivo €	

Descripción:	Atascamiento del motor CAT 3512 serie: 1GZ05539		
Atención a:	Superintendente de Mantenimiento	Fecha de solicitud	15/02/2016
Preparado por:	GRUPO DE ANALISIS	Fecha de evaluación	30/04/2016

ANTECEDENTES:

El campo de producción Guanta tiene dos centrales de generación, para los procesos de producción: La central "antigua" alimenta de energía a las facilidades de producción de la estación central que está conformada por los generadores: 1, 2, 3.



La segunda central "nueva" alimenta a las facilidades de los pozos de todo el campo y está conformada por los generadores: 4, 5, 6, 7, 8. Esta Central cuenta con personal propio: Operadores, instrumentistas, mecánicos, y técnicos eléctricos, que son los encargados del monitoreo y mantenimiento de la planta.



PETROAMAZONAS EP

SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
INFORME DE INVESTIGACIÓN ACR

EQ.	TAG	OT No.	Procedimientos No.	Área	Job Plan No.	Fecha	Reporte No.
Central de Generación Guanta	MCO-0542	N/A	PAJ-EP-ECL-MNT-92-PRO-001-00	MANTENIMIENTO	N/A	30-04-2016	01

OBJETIVO:

- Determinar las causas que produjeron la parada del Generador N°5 de la Estación Guanta.
- Implementar un plan de acción para evitar su recurrencia.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA:

Qué	Problema (s)	Atascamiento del motor CAT 3512 serie: 1GZ05539
Cuándo	Fecha	21-12-2015
	Hora	18:40
Donde	Locación	Estación de Producción Guanta Central
	Tarea que se estaba realizando	Cambio de retenedor del drive de la polea del alternador por fuga de aceite.
Impacto	Seguridad (SI/NO)	NO
	Medioambiente (SI/NO)	NO
	Producción (SI/NO)	NO
	Activo, propiedad (SI/NO)	SI
	Mano de obra, tiempo MNT (SI/NO)	SI

ACCIÓN INMEDIATA TOMADA:

- Verificación de condiciones (alarmas y fugas)
- Se desmonta el motor de arranque para inspeccionar se coloca el ~~catcher~~ ratchet para girar manualmente pero el motor no gira.



SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
INFORME DE INVESTIGACIÓN ACR

PETROAMAZONAS EP

EQ.	TAG	OT No.	Procedimientos No.	Área	Job Plan No.	Fecha	Reporte No.
Central de Generación Guante	I/CO-0642	N/A	PAM-EP-ECU-MNT-02-PROC-001-00	MANTENIMIENTO	N/A	30-04-2016	01

SECUENCIA DE EVENTOS:

Hora	Descripción del Evento
06:00	Verificación de parámetros operativos de las unidades de la Central de Generación. El grupo electrógeno estaba operando con una fuga de aceite por el drive de la polea del alternador.
06:15	El grupo electrógeno sale de línea y opera en vacío para regular la temperatura antes de apagar para que se enfríe
06:30	Se apaga la unidad
07:45	Apertura del permiso de trabajo N° 62572
11:15	Se retira el personal técnico al almuerzo
14:00	Reinician las actividades del mantenimiento
17:00	Montaje de cañerías, accesorios y protecciones y llenado de refrigerante
18:15	Verificación de condiciones
18:30	Arranque de la unidad
18:40	Se procedió a retirar el motor de arranque para verificar si era esa la falla, pero el motor de arranque estaba bien se volvió a colocar y se dio arranque a la máquina pero el motor no encendió. El técnico mecánico inspeccionó e indicó que está remordido el cigueñal y el equipo quedaba fuera de servicio.

MATRIZ DE DECISIÓN PARA INICIO DE ACR

MTBF: TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (días)	30 o menos	ACR	ACR	ACR	ACR	ACR
	31 a 60	ACR	ACR	ACR	ACR	ACR
	61 a 180				ACR	ACR
	181 a 365				ACR	ACR
	más de 365				ACR	ACR
Impacto económico a la propiedad/activo (USD)	0 a 500	501 a 1000	1001 a 10000	10001 a 100 mil	> 100 mil	
Impacto a la producción (BBLD Petróleo)	1	2 a 10	11 a 100	101 a 1000	1001 o más	

De acuerdo a lo especificado en la matriz, por el costo de reparación que supera los \$ 100.000, amerita realizar el ACR.

EQ.	TAG	OT No.	Procedimientos No.	Área	Job Plan No.	Fecha	Reporte No.
Central de Generación Guanta	MCO-0642	N/A	PAJ-EP-ECU-MBT-92-PRC-001-00	MANTENIMIENTO	N/A	30-04-2016	01

ARBOL DE ANALISIS DE FALLAS



EQ.	TAG	OT No.	Procedimientos No.	Area	Job Plan No.	Fecha	Reporte No.
Central de Generación Guanta	MCO-0042	N/A	PAM-EP-ECU-MINT-92-PRC-001-00	MANTENIMIENTO	N/A	30-04-2016	01

RESUMEN DE LA INSPECCIÓN Y HALLAZGOS.

- Luego del evento se realiza una inspección, donde se intenta girar el motor y se verifica que el mismo está remordido.
- No se contaba con un procedimiento para realizar esta actividad.
- En vista de que el equipo está asegurado no se procedió a realizar ninguna otro trabajo de verificación. Se solicitó realizar un análisis por parte de fábrica para que ayuden a esclarecer la/s causa/s que originaron el evento.
- El sábado 19 de marzo del 2016 se procede a desarmar el motor para realizar la inspección y evaluación de componentes en general contando con la autorización de la aseguradora. El trabajo se lo realiza con los Técnicos de IIASA Caterpillar Coca, y la colaboración de los Técnicos de Petroamazonas Bolívar Capuz, Hernan Maza, Bolívar Campoverde, Alex Guevara y Angel Romero
- Al realizar el despiece del motor, el Técnico de Caterpillar evidencia el daño de cojinetes de biela y bancada las cuales se encuentra con desprendimiento de material y adherencia al cigüeñal (remordido).
- Papel filtrante. Se observa moderada cantidad de carbonilla retenida y pocas partículas metálicas dispersas. Este hecho se debe a que los filtros y el aceite tenían menos de 100 horas de trabajo. Al no encontrar **particulado** metálico proveniente del desgaste de cojinetes podemos sospechar que la falla se originó y avanzó de forma rápida, casi de forma instantánea.
- Bomba de aceite. Presenta desgaste y **cayaduras** en los bocines de los ejes, también existe desprendimiento de material por cavitación en la tapa de la caja. El resto de partes se encuentran en buen estado, no se evidencian inconvenientes o fallas en la bomba de aceite.

CAUSA(S) DE FALLA / DESVIACIÓN:

Se puede argumentar lo siguiente:

No podemos determinar con exactitud el por qué se interrumpió o perdió el suministro de aceite al motor. En tal virtud se listan las siguientes hipótesis o posibles causas:

- Falta o ausencia de aceite en el cárter del motor.- A este grupo electrógeno se realizó el PM el día anterior al suceso.
- Pérdidas y/o consumo excesivo de aceite. La fuga era pequeña y se controlaba continuamente.

En base a los hechos y eventos encontrados, y a las características que presentan las partes afectadas podemos determinar que la causa raíz más probable para el fallo del motor es la pérdida de lubricación y/o interrupción repentina del suministro de aceite en el sistema de lubricación.

EQ.	TAG	OT No.	Procedimientos No.	Área	Job Plan No.	Fecha	Reporte No.
Central de Generación Guanta	MCC-0042	NA	PAM-EP-ECU-MNT-02-PROC-001-00	MANTENIMIENTO	NA	30-04-2016	01

TRABAJOS EJECUTADOS PARA CORREGIR LA FUGA DE ACEITE.

1. Apertura del Permiso de Trabajo.
2. Drenaje del fluido refrigerante.
3. Desmontaje de líneas de refrigerante, ya que interfieren para desarmar la polea propulsora para el alternador de 24V DC,
4. Se desmontaron bomba de refrigerante y bomba de aceite lubricante del motor #5, cabe indicar que la bomba de aceite tiene una masa de aproximadamente 50 libras.
5. El técnico encargado realiza la remoción de la polea, remoción del piñón libre, que sirve de transmisor de movimiento para propiciar la carga del alternador 24 voltios DC, e instala en el alojamiento vacío, una tapa para evitar fugas de aceite.
6. En horas de la tarde, el técnico procede con la Instalación de bomba de aceite, tal actividad la realiza solo debido a que su compañero sale a descanso por fin de turno.
7. Instalación de bomba de refrigerante.
8. Instalación de líneas de refrigerante y aceite lubricante.
9. Se realiza la adición de fluido refrigerante.
10. Inspección del equipo y puesta en marcha en coordinación con el Operador de la estación.
11. Según versión del técnico encargado del trabajo el motor cumplió un proceso de arranque normal por pocos segundos y se detiene por baja presión de aceite, evento registrado en el ECM del motor.
12. Luego se realizan varios intentos para poner en marcha el motor #5 pero este ya no gira.

Análisis de las actividades realizadas

Para tener un mejor criterio de lo que encierran las actividades realizadas para corregir la fuga de aceite, debemos conocer que la instalación de la bomba de aceite cuya masa es considerable y que resulta muy difícil instalarla por una sola persona, vamos a explicar lo que resultaría ser lo más probable que indujera en la falla de lubricación a la que se hace mención en el ACR emitido por IIASA CATERPILLAR.

Para el montaje de la bomba de aceite lubricante se hacen necesarias herramientas auxiliares como un tacle de 500 lb, se levanta el cuerpo de la bomba, mediante un movimiento de balanceo se la introduce en su alojamiento, luego con un empuje hacia el frente se hace coincidir el eje estriado con su correspondiente mando en el juego de engranes de la caja de distribución localizada en la parte frontal del motor.



SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
INFORME DE INVESTIGACIÓN ACR

PETROAMAZONAS EP

EQ.	TAG	OT No.	Procedimientos No.	Area	Job Plan No.	Fecha	Reporte No.
Central de Generación Guante	MCO-0642	N/A	PAM-EP-ECU-MNT-02-PRC-001-00	MANTENIMIENTO	N/A	30-04-2016	01

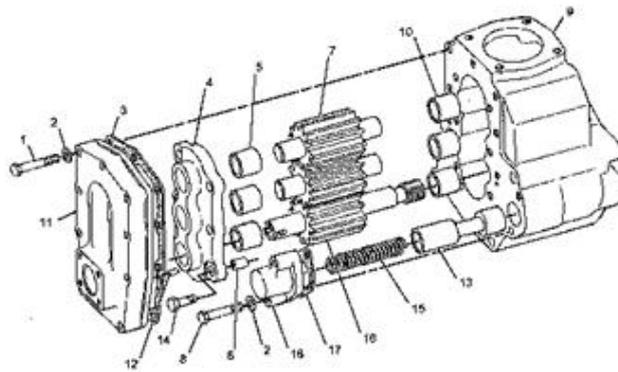


Grafico de la bomba de aceite.

Luego se fija la bomba a su base mediante pernos, y posterior a su torque final se instala un conector denominado FLANGE; número de parte 7W-0129 y que contiene 4 sellos de caucho (Rubber O'rings) los mismos que tienen la finalidad de crear sellado entre el cuerpo del Cárter del motor y la toma inferior de la bomba.

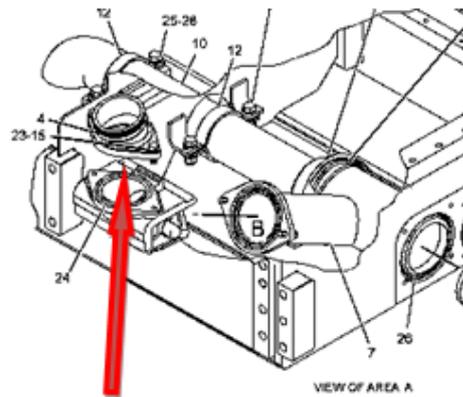
Ver el siguiente gráfico.



SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
INFORME DE INVESTIGACIÓN ACR

PETROAMAZONAS EP

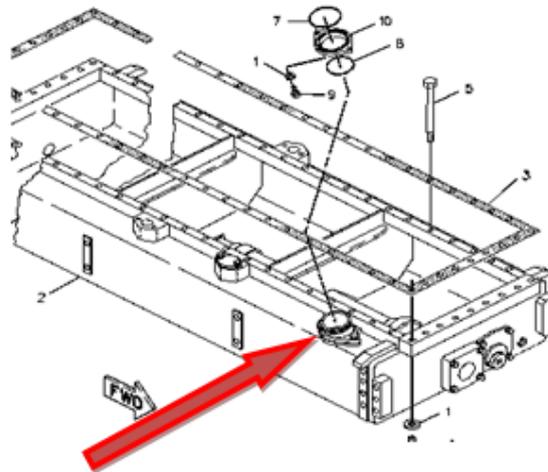
EQ.	TAG	OT No.	Procedimientos No.	Area	Job Plan No.	Fecha	Reporte No.
Central de Generación Guante	I/MCC-0042	N/A	PAM-EP-ECU-MNT-02-PRC-001-00	MANTENIMIENTO	N/A	30-04-2016	01



Flange número de parte 7W-0129

La instalación de este accesorio requiere minuciosidad y pericia ya que se lo realiza con sentido de tacto, puesto que visualmente no es posible garantizar la ubicación final de los sellos.

Como se puede advertir realizar esta actividad con una sola persona resultaría casi imposible, y menos aún sin la ayuda de un teclé portátil. La causa probable para crear baja o nula presión de aceite en el motor sería un mal montaje de los Sellos O'ring, ocasionando vacío en la succión de la bomba de aceite, y consecuentemente falta de aceite en todos los circuitos internos del motor de combustión interna.



Flange alojado en el carter de motor.



SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
INFORME DE INVESTIGACIÓN ACR

PETROAMAZONAS EP

EQ.	TAG	OT No.	Procedimientos No.	Área	Job Plan No.	Fecha	Reporte No.
Central de Generación Guanta	I/CO-0542	N/A	PAM-EP-EQU-MNT-02-PRO-001-00	MANTENIMIENTO	N/A	30-04-2016	01

PLANES DE ACCIÓN:

CAUSA	ACCIONES A TOMAR	RESPONSABLE	PLAZO
Instalación	Elaboración de Procedimientos	Supervisor de área involucrada	30 Días

RECOMENDACIONES:

Supervisión:

- Instrucción, selección y asignación de tareas al personal de campo.
- Trabajo en equipo

Comunicación:

- Informes de avances de trabajos
- Informes de cambios de turno (Supervisores, Técnicos)