

**MEJORAS AL PROCESO DE OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS
DIÉSEL MTU S4000 DE LA PROVINCIA DE HOLGUÍN.**

Trabajo de Diploma

AUTOR: Danilo Villafaña Nazco

TUTOR: Dr.C Carlos Alberto Trinchet Varela

Dr.C Roberto Yoan Sierra Pérez.

HOLGUÍN, 2022



RESUMEN

Luego de 15 años de explotación los GED Holguín, han consumido una parte importante de su recurso horario, presentan índice elevados de paradas imprevistas, lo cual afecta su eficiencia. Las acciones de mantenimiento correctivo superan a las del preventivo. Se necesita conocer los fundamentos técnicos que rigen su funcionamiento, así como la estrategia de mantenimiento establecida por el fabricante, para posteriormente introducir mejoras al proceso y actualizar las cartas técnicas, en correspondencia con las condiciones de O&M existentes. El objetivo de la investigación es desarrollar mejoras al proceso de Operación y Mantenimiento (O&M) de los grupos electrógenos Diésel MTU S4000 de la Provincia de Holguín (GEDH)

Se emplean diversos métodos para evaluar el desempeño, mediante indicadores de fiabilidad y mantenibilidad; principio de Pareto, así como del modo de falla y su efecto. Se definen los indicadores, son estratificados los sistemas y componentes críticos y se aplican las tareas técnicas preventivas más efectivas. La introducción de las mejoras tiene un impacto favorable en la disponibilidad técnica, la economía y el medio ambiente.



SUMMARY

After 15 years of operation, the Holguín GEDs have consumed an important part of their hourly resource, presenting a high rate of unforeseen stops, which affects their efficiency. Corrective maintenance actions exceed those of preventive. It is necessary to know the technical fundamentals that govern its operation, as well as the maintenance strategy established by the manufacturer, in order to subsequently introduce improvements to the process and update the technical charts, in correspondence with the existing O&M conditions. The objective of the research is to develop improvements to the Operation and Maintenance (O&M) process of the MTU S4000 Diesel generator sets of the Holguín Province (GEDH)

Various methods are used to evaluate performance, through reliability and maintainability indicators; Pareto principle, as well as the failure mode and its effect. The indicators are defined, the critical systems and components are stratified and the most effective preventive technical tasks are applied. The introduction of the improvements has a favorable impact on the technical availability, the economy and the environment.



Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
1.1 Introducción	4
1.2 Caracterización del proceso tecnológico de O&M de los GEDH	4
1.2.1 Descripción de la Empresa, datos generales	5
1.3 Fundamentos del GEDH	8
1.3.1 Principio de funcionamiento del grupo electrógeno Diésel MTU S4000	8
1.4 Estrategia de mantenimiento	27
1.4.1 Concepción del mantenimiento	27
1.4.2 Concepto de mantenimiento MTU	28
1.4.3 Sistema de registro, adquisición y procesamiento de la información (SCADA)	29
1.4.4 Diagnóstico técnico y utillaje	30
1.4.5 Indicadores de eficiencia utilizados	32
CAPITULO 2 MEJORAS A LA O&M DE LOS GEDH	37
2.1 Evaluación del estado técnico de los grupos electrógenos MTU BR 4000 16V G81	37
2.1.1 Principales fallos del GED	37
2.2 Análisis sobre las pautas de mantenimientos	39
2.3 Análisis de fallos de los Grupos Electrógenos MTU Br 4000 16 V G81	43
2.3.1 Principio de Pareto: Pocos vitales, muchos triviales	44
2.3.2 Aplicación del análisis causa efecto en los motores MTU 54000G81	46
2.4 Caso de estudio. Trabajos de diagnóstico y determinación del estado técnico	46
2.4.1 Informe técnico de todas las acciones realizadas durante el diagnóstico	47
2.5 Carta de soluciones a fallos más significativos	61
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFIA	66



INTRODUCCIÓN

En el año 2005 la dirección del país bajo el programa de la Revolución Energética decide pasar de una Generación Concentrada en solo una decena de puntos en el país a una Generación Distribuida a base de motores de combustión interna en una primera etapa, en más de doscientos puntos. Para ese entonces, no queda otra alternativa que desarrollar un sistema de gestión que permita establecer y normar la nueva forma de explotar y controlar este tipo de generación, más cerca del consumidor de electricidad. Por las características de esta generación se prevé la disminución de las pérdidas eléctricas, así como la mejora sustancial de los costos, al tener mejores índices de eficiencia energética según las experiencias consultadas internacionalmente.

Se le pide entonces a Generación Distribuida de Electricidad de Cuba de la Unión Eléctrica desarrollar un sistema de gestión, basado en procesos, con una primera versión en el 2007 que permite desarrollar la explotación de estos equipos de generación. A partir de mejoras continuas aparece esta nueva versión, controlando, dentro de otros aspectos, las materias primas usadas con la experiencia única e irrepetible de un país bloqueado.

En el marco de la Revolución Energética, liderada por el compañero Fidel, se diseñan los puntos donde se van a instalar las unidades generadoras por tipos, potencias y fabricantes; estos últimos de una demostrada experiencia e independencia internacional. En ese contexto es seleccionado el territorio holguinero para instalar una batería de GED, los cuales han cumplido su misión. Al transcurrir 15 años de explotación es necesario actualizar su plan de mantenimiento de manera que se corresponda con su estado actual y las condiciones vigentes.

Opina Zaldívar (2009), que el mantenimiento es un conjunto de tareas necesarias para que un equipo sea conservado o restaurado de manera que pueda permanecer de acuerdo con una condición específica.

Constituye el medio que tiene toda empresa para conservar operable con el debido grado de eficiencia y eficacia su activo fijo, está implícito en los costos y utilidades de la empresa, en los riegos y en casi todas las actividades productivas y de planificación. Engloba un conjunto de actividades necesarias para mantener una instalación o equipo en

funcionamiento; así como para restablecer el funcionamiento del equipo en condiciones predeterminadas.

Considera Mendoza (2003), que el mantenimiento incide, por lo tanto, en la cantidad y calidad de la producción. En efecto, la cantidad de producción a un nivel de calidad dado está determinada por la capacidad instalada de producción y por su disponibilidad que es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionabilidad de un elemento. Considerando lo antes expuesto nos planteamos la metodología de la investigación del modo siguiente:

Situación Problemática:

Luego de 15 años de explotación los GED Holguín, han consumido una parte importante de su recurso horario, presentan índices elevados de paradas imprevistas, lo cual afecta su eficiencia. Las acciones de mantenimiento correctivo superan a las del preventivo. Se necesita conocer los fundamentos técnicos que rigen su funcionamiento, así como la estrategia de mantenimiento establecida por el fabricante, para posteriormente introducir mejoras al proceso y actualizar las cartas técnicas, en correspondencia con las condiciones de O&M existentes.

Problema de investigación:

¿Cómo mejorar el proceso de O&M de los Grupos Electrónicos Diésel MTU Br 4000 16V G81 en las condiciones de la Provincia de Holguín?

Objeto de investigación:

Los grupos electrónicos MTU Br 4000 16V G81.

Campo de acción:

El mantenimiento de los grupos electrónicos Diésel MTU S4000 de la provincia Holguín.

Hipótesis:

Si se definen las características del proceso tecnológico de funcionamiento de los GED y la estrategia de mantenimiento establecida por el fabricante, es posible establecer los fundamentos de O&M en el contexto de la provincia de Holguín.

Objetivo general:

Establecer los fundamentos de Operación y Mantenimiento (O&M) de los grupos electrónicos Diésel MTU S4000 de la Provincia de Holguín (GEDH)

Objetivos específicos:

- Caracterizar el proceso tecnológico de funcionamiento de los GEDH

- Describir los fundamentos de la O&M de los GEDH.

Tareas de investigación

1. Caracterizar el proceso tecnológico de O&M de los GEDH.
2. Describir los fundamentos, estructura y principio de funcionamiento de una instalación de grupos electrógenos Diésel MTU S4000.
3. Explicar la estrategia de mantenimiento establecida por el fabricante.
4. Relacionar los principales fallos y sus causas por sistemas, componentes y agregados.
5. Elaboración del informe final

Métodos de investigación

Generales:

- Histórico-lógico: Se utiliza para definir el estado del arte respecto a los grupos electrógenos, su O&M, antecedentes, evolución y tendencias.
- Análisis sistémico: Permite conocer la estructura, funcionamiento y relaciones entre los sistemas, componentes y elementos.

Específicos:

- Análisis estadístico de las fallas y averías. A partir de la documentación de O&M y de los datos del SCADA.
- Análisis del Modo y Efecto de las Fallas. (AMEF). Para establecer principales fallos y sus causas por sistemas, componentes y agregados.
- Análisis Causa Raíz. Para definir las causas de los fallos.
- Diagnóstico técnico mediante instrumentos de medición especializados.

Métodos empíricos:

- La observación de los procesos de O&M.
- La consulta y entrevistas a personal de experiencia y elevada calificación.
- Revisión de la documentación técnica y de operación.

CAPITULO 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 Introducción

En este capítulo se realiza la caracterización del proceso tecnológico de O&M de los GEDH. Primeramente, se describe la estructura de la UEB Geysel de Holguín, Posteriormente el principio de funcionamiento del grupo electrógeno Diésel MTU S4000, se detalla su estructura y funcionamiento. Finalmente se describe el sistema de mantenimiento vigente.

1.2 Caracterización del proceso tecnológico de O&M de los GEDH

La empresa de Grupos Electrónicos y Servicios Eléctricos, en forma abreviada (GEYSEL), subordinada a la UNE y perteneciente al Ministerio de Energía y Minas, se crea por la necesidad de brindar un servicio integral de plantas diésel desde su diseño, comercialización, hasta su explotación, asegurando la ejecución y atención de los nuevos servicios eléctricos que requería la economía en aquel entonces, brindando además servicios de reparación y mantenimiento. En el año 1998 se incorporan nuevas actividades: diagnóstico y servicios energéticos para la reconstrucción, reparación, laboratorio de iluminación y de equipos electrodomésticos. [Material UEB]

El 2004 fue para la empresa un año de gran esfuerzo para cumplir satisfactoriamente las tareas por la Batalla de Ideas, Misión Milagro, Misión Esperanza Social, Programa Revolución dirigidas a los Hospitales y aseguramiento eléctrico a tribunas y objetivos priorizados.

Durante el 2005 y 2006 se realizó el montaje e instalación de grupos electrógenos diésel de emergencia y sincronizados. La mejora continua de la gestión empresarial, es una premisa indispensable de la empresa, para lograr alcanzar los objetivos trazados y sus metas.

En el año 2005 Cuba vivía el auge de la Revolución Energética. En este período, cambió radicalmente el mapa de las instalaciones generadoras, su tecnología y organización. La producción de electricidad, antes concentrada en algunas termoeléctricas, se complementa ahora con un sistema de generación distribuida por toda la isla.

La puesta en marcha de grupos electrógenos diésel, ha permitido contrarrestar los déficits de generación y asegurar la autonomía energética de las zonas en casos de aislamiento de la red nacional. Estas unidades son capaces de cubrir la demanda de energía en corto tiempo debido a estar conectadas al sistema de distribución del SEN.

En este contexto, la Unión Eléctrica crea en Holguín la UEB de generación distribuida, la cual se integra, en julio de 2015, a la empresa de grupos electrógenos y servicios eléctricos, Geysel.

Nuestra entidad, una de las más importantes de su tipo en Cuba, se distingue por la eficacia en la prestación de sus servicios. Estos incluyen la proyección, instalación, puesta en marcha, explotación, mantenimiento y reparación de grupos electrógenos y centrales eléctricas.

Geysel Holguín cuenta con 26 centrales diésel eléctricas, con una potencia total instalada de 169,2 Mw. Además, se atienden 31 grupos de la economía de diferentes instituciones y organismos que generan hasta 28.06 Mw. Los grupos pueden operar en modo isla o sincronizados al sistema electroenergético nacional. En el modo aislado las unidades trabajan de forma independiente o formando microsistemas entre sí.

Por estas cualidades, se puede garantizar el suministro eléctrico a centros claves de la economía y los servicios, a territorios de alta concentración poblacional, así como a zonas remotas y poco habitadas, en situaciones de emergencias. Para asegurar que la generación se cumpla con eficacia, Geysel Holguín debe mantener en estado óptimo de funcionamiento a todas sus unidades.

En julio de 2015 se concretó el proceso de transformación, donde se crea la empresa al asimilar la generación de todas las centrales de GED del país, pasando a ser una empresa con más de 3000 trabajadores en el país. [Material UEB]

La organización tiene implementado un Sistema de Gestión de la Calidad Corporativo que asegura el control y mejoramiento de los procesos que desarrolla, para lograr la satisfacción de los clientes, teniendo en cuenta el impacto social de sus actividades.

En estos años se logró consolidar el trabajo de la Administración y la Organización Sindical tanto en la elaboración de Reglamentos de la Idoneidad Demostrada, Reglamento Disciplinario Interno” y otros relacionados con los trabajadores. Los cuales eran evaluados periódicamente en los Consejos de Dirección y en las asambleas de representantes. [Material UEB]

1.2.1 Descripción de la Empresa, datos generales

1. Razón social: Unidad Empresarial de Base Holguín.

2. Entidad a la que pertenece y se subordina: Empresa de Grupos Electrógenos y Servicios Eléctricos, conocida por su nombre comercial GEYSEL, creada por la Resolución número 134 de fecha 4 de octubre de 1995, emitida por Marcos Portal León, Ministro del otrora denominado Ministerio de la Industria Básica, integrada a la Unión Eléctrica y subordinada a este Ministerio, actualmente Ministerio de Energía y Minas. [Material UEB]
3. Objeto Social: La Resolución número 763 de fecha 26 de noviembre de 2013 expedida por Adel Izquierdo Rodríguez, Ministro de Economía y Planificación de la República de Cuba, modificó el Objeto Empresarial de la Empresa de Grupos Electrógenos y Servicios Eléctricos, integrada a la Unión Eléctrica, perteneciente al Ministerio de Energía y Minas, siendo el siguiente:
 - Brindar servicios de selección, proyección, instalación, puesta en marcha, mantenimiento, explotación y reparación de Grupos Electrógenos, torres de iluminación, Motosoldaduras, Motobombas y Centrales Diésel Eléctricas.
 - Producir y comercializar de forma mayorista cuadros eléctricos de media y baja tensión.
 - Realizar estudios y proyección de instalaciones eléctricas, así como, brindar servicios de instalación, remodelación y mantenimiento de dichas instalaciones.

Misión: Garantizar la generación eficiente y sustentable de energía eléctrica con motores de combustión interna diésel, respondiendo a los requisitos del SEN con profesionalidad y confiabilidad, atender Grupos Electrógenos de Emergencia que sincronizan al SEN, así como los que garantizan el servicio al primer nivel y brindar servicios técnicos eléctricos a la UNE y terceros.

Visión: Ser reconocidos como la empresa líder en los servicios y producciones que se realizan y que la certificación por Geysel, sea el certificado de gestión de la más alta estima, ampliamente aceptada en el mercado de grupos electrógenos y servicios eléctricos.

[Material UEB]

1.3 Fundamentos del GEDH

1.3.1 Principio de funcionamiento del grupo electrógeno Diésel MTU S4000

1.3.1.1 Motores de la serie 4000

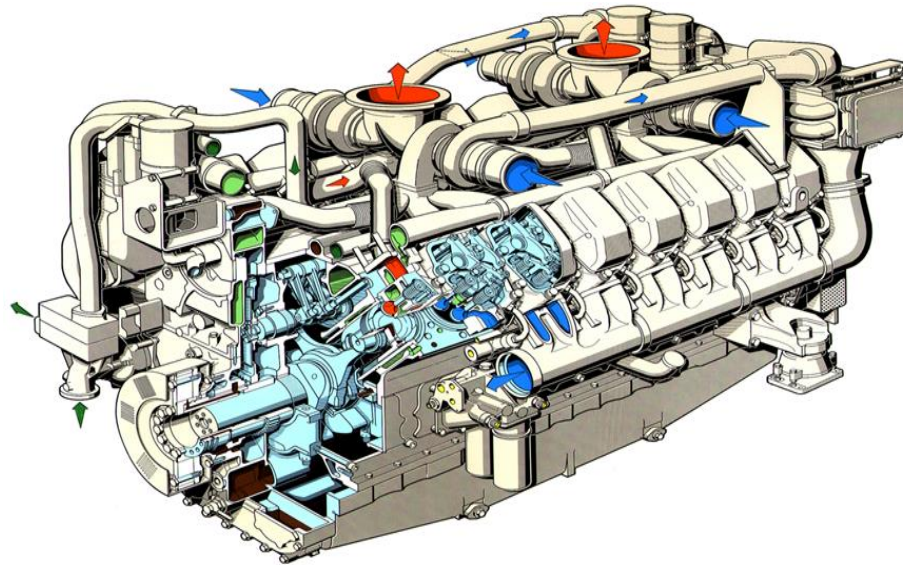


Figura 1.2 Motor MTU S4000 G81. [Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

Según se expresa en el Manual de MTU estos motores son compactos, potentes, fiables, de escaso mantenimiento y extraordinariamente económicos. Su inyección de línea común (Common Rail) conjuga el aprovechamiento óptimo del combustible con el cumplimiento de todas las normas medioambientales relevantes.

Técnica

- Motor de cuatro tiempos, inyección directa de cuatro válvulas
- 8, 12, 16 o 20 cilindros
- Ángulo en V a 90°

Potencia

- 735 kW a 3010 kW
- 91,88 kW a 150,5 kW por cilindro

Cilindrada

- 32,5 litros a 89,8 litros
- 4,06 litros por cilindro (8, 12, 16V)
- 4,49 litros por cilindro (20V)

- Motor levógiro
- Inyección Common Rail controlada electrónicamente
- Turbosobrealimentación por gases de escape con refrigeración del aire de carga
- Sistema de refrigeración de dos circuitos con refrigeración del aire de carga por agua
- Refrigeración de pistones
- Arrancador eléctrico o motor de arranque por aire comprimido (opcional)
- Soportado elástico del motor.

Ventajas

- Vida útil larga
- Rendimiento de marcha elevado
- Bajo consumo de combustible
- Cumple la mayoría de las normas de escape

1.3.1.2 Bloque motor con cárter de aceite

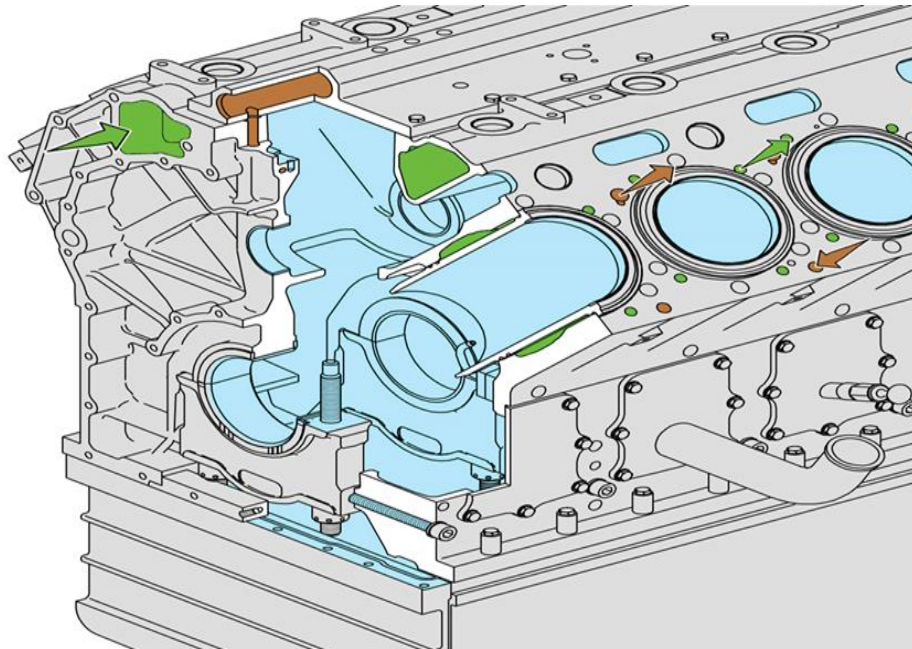


Figura 1.3 Bloque del motor. [Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

Como se aprecia en la figura 1.3, abajo en el bloque motor está montado el cárter de aceite y, por la cara frontal, la caja de ruedas, la caja de conducción de agua y la caja del volante. En las superficies superiores están fijadas a izquierda y derecha, las culatas y las suspensiones del motor y, centralmente, los turbosobrealimentadores.

Técnica

- Monobloque de fundición
- Conducto integrado de líquido refrigerante
- Canal principal de aceite integrado en la tapa de cierre superior
- Camisas de cilindro húmedas y recambiables con rectificado honing altiplano de dos etapas
- Cojinetes de deslizamiento bipartidos para el cigüeñal
- Cojinetes de deslizamiento para el árbol de levas
- Fijación vertical y horizontal de las tapas de cojinete del cigüeñal
- Abastecimiento integrado de aceite para la refrigeración de pistones
- Sistema de purga del bloque motor (circuito cerrado)
- Tapas de inspección grandes

Ventajas

- Elevada rigidez
- Nivel bajo de ruidos y vibraciones

1.3.1.3 Tren de engranajes

Como se observa en la figura 1.4 el tren de engranajes incluye las ruedas motrices y las ruedas intermedias montadas en la caja de ruedas.

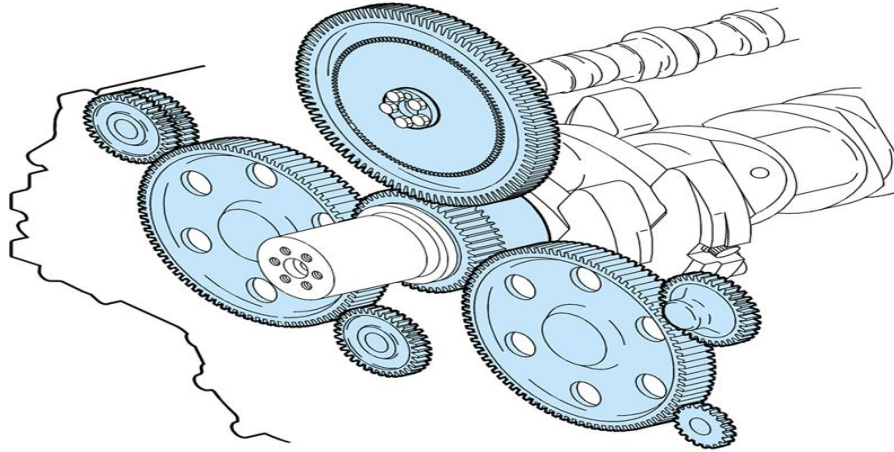


Figura 1.4 Tren de engranajes del motor MTU S4000 G81.
[Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

Técnica

- Ruedas dentadas de dentado recto

Ventajas

- Transmisión de fuerza pobre en desgaste
- Mínimo mantenimiento
- Sin fuerzas axiales

Funcionamiento

La rueda del cigüeñal acciona la rueda del árbol de levas, y, a través de ruedas intermedias, los equipos auxiliares y secundarios siguientes:

- Bomba de alta presión de combustible
- Bomba de alimentación de combustible
- Bomba de líquido refrigerante, circuito de baja temperatura
- Bomba de líquido refrigerante, circuito de alta temperatura
- Dínamo
- Bomba de aceite de motor
- Grupo adicional

1.3.1.4 Mecanismo del cigüeñal

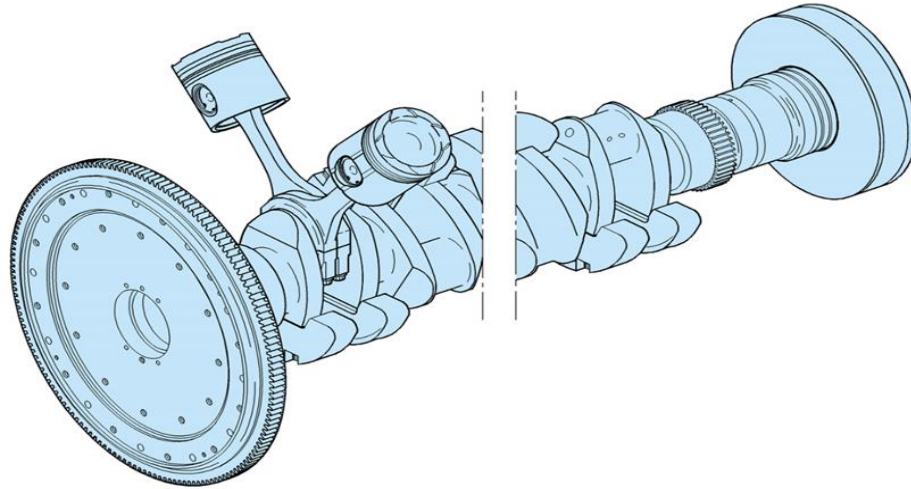


Figura 1.5 Cigüeñal, volante y biela con pistón del motor. [Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

El mecanismo figura 1.5 se encuentra montado en el bloque motor. Va alojado en cojinetes de deslizamiento y está fijado axialmente. Para la lubricación de los cojinetes y del amortiguador de vibraciones, así como para lubricar los pistones, el aceite de motor es suministrado desde el bloque motor. Los componentes ajustados entre sí garantizan una potencia elevada y un desgaste mínimo.

Técnica

Pistón

- Falda de aleación ligera (8V, 12V, 16V)
- Pistón de falda enteriza de aluminio (20V)
- Cabeza de pistón atornillada
- aros de compresión, 1 aro rascador de aceite
- Refrigeración de pistones a través de toberas de inyección de aceite
- Biela Forjada fabricada de una sola pieza, por consiguiente, elevada rigidez y peso optimizado.
- Cojinetes bipartidos
- Lubricación del semicojinete superior por aceite de refrigeración de pistones que retorna
- Lubricación del semicojinete inferior a través del cigüeñal

Cigüeñal

- Forjado
- Contrapesos atornillados
- Rueda dentada del cigüeñal encajada a presión
- Cojinetes de deslizamiento de poco desgaste, admisión de aceite del sistema de aceite lubricante
- Fijado axialmente
- Retenes radiales para estanqueización hacia fuera (KS y KGS)

Amortiguador de vibraciones (KGS)

- Amortiguador de vibraciones torsionales con amortiguación hidráulica
- Abastecimiento de aceite a través del sistema de aceite lubricante

Volante (KS)

- Brida de accionamiento
- Corona dentada para piñón del motor de arranque

Ventajas

- Capacidad elevada
- Peso mínimo
- Intervalos de mantenimiento largos
- Vida útil larga
- Bajo consumo de aceite

Funcionamiento

Las fuerzas generadas en las cámaras de combustión de los cilindros son transmitidas, a través de pistones y bielas, al cigüeñal, siendo convertidas en movimiento rotatorio, y entregadas a través de la brida de accionamiento. Las vibraciones torsionales son amortiguadas hidráulicamente por el amortiguador de vibraciones. Una rueda dentada encajada a presión en el extremo KGS acciona las ruedas intermedias y motrices del tren de engranajes. El sistema de aceite lubricante se encarga de la lubricación de los cojinetes del cigüeñal, de los cojinetes de apoyo, de los semicojinetes de biela inferior y superior, así como del amortiguador de vibraciones. Los pistones son enfriados de forma permanente con aceite por las toberas de inyección incorporadas al bloque motor.

1.3.1.5 Culata con válvula de inyección

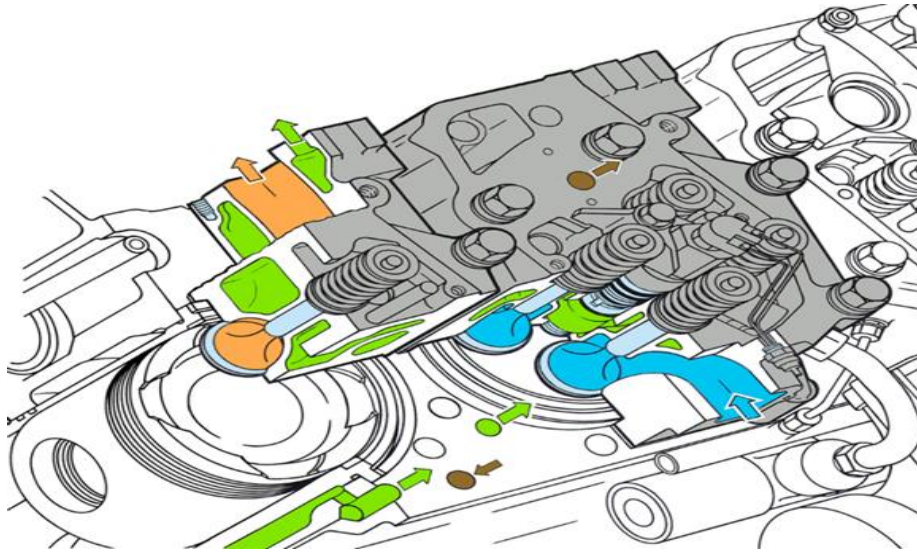


Figura 1.6 Culata del bloque de motor. [Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

Las culatas con la distribución por válvulas y el equipo de inyección de combustible están fijadas encima del bloque motor. El líquido refrigerante para la refrigeración de las culatas y el aceite de motor para la lubricación de los componentes de la distribución por válvulas son suministrados desde el bloque motor. La admisión de combustible a las válvulas de inyección se efectúa desde la bomba de alta presión de combustible a través de un acumulador de presión común. El combustible llega a las válvulas de inyección a través de conductos de alta presión.

Técnica

- Culatas individuales
- válvulas de admisión y 2 de escape en cada caso
- Válvula de inyección dispuesta centralmente
- Taladros de refrigeración adicionales para refrigeración del fondo y de los asientos de válvula
- Punto de separación hacia la camisa de cilindro estancajeado de forma metálica
- Estancajeación de los pasos entre bloque motor y culata para aceite de motor y líquido refrigerante por placa de estancajeación

Ventajas

- Dimensionado para presiones de encendido elevadas

- Bajo consumo de combustible
- Ennegrecimiento y emisiones de escape reducidos
- Largos intervalos de mantenimiento

Funcionamiento

Con las válvulas de admisión abiertas, el aire de carga pasa a la cámara de combustión del cilindro correspondiente. Al ser inyectado combustible por la válvula de inyección se produce una mezcla de aire/combustible en la cámara de combustión que se autoenciende por la compresión. Una vez abiertas las válvulas de escape, los gases de escape producidos en la combustión son conducidos, a través del canal de escape, al colector de escape que va a los turbosobrealimentadores por gases de escape. La apertura y el cierre de las válvulas de admisión y escape tiene lugar por la distribución por válvulas.

1.3.1.6 Distribución por válvulas

El árbol de levas con rueda motriz y las palancas oscilantes están montados en el bloque motor. Los empujadores constituyen la unión entre las palancas oscilantes y los balancines. Los soportes de cojinete con los balancines están fijados en las culatas.

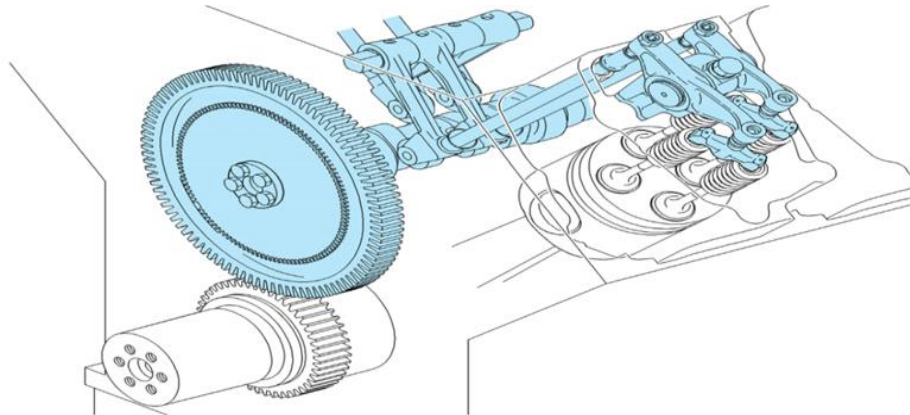


Figura 1.7 Distribución de las válvulas en la culata. [Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

Técnica

- Árbol de levas central, lubricación de los cojinetes de deslizamiento desde el bloque motor
- La rueda motriz del árbol de levas es accionada directamente por la rueda del cigüeñal

- Mando de las válvulas a través de palancas oscilantes, empujadores, balancines y puentes de válvula
- El soporte de cojinete y el balancín son abastecidos de aceite de motor por el sistema de aceite lubricante
- Puentes de válvulas flotantes para válvulas de admisión y escape
- Ajuste de la holgura de válvula en los tornillos de ajuste de los balancines

Ventajas

- Construcción que ahorra peso
- Masas giratorias reducidas

Funcionamiento

La apertura y el cierre de las válvulas de admisión y escape es controlado por el árbol de levas. Los movimientos impulsados por las levas del árbol de levas para accionamiento de las válvulas son transmitidos, a través de las palancas oscilantes, los empujadores y los balancines a los puentes de válvulas de las válvulas de admisión y escape. La apertura de las válvulas tiene lugar contra la fuerza del resorte y el cierre por la presión de los resortes de válvula.

1.3.1.7 Sistema de combustible con inyección Common Rail (línea común)

El sistema de combustible consta de un sistema de baja presión y otro de alta presión (sistema Common Rail).

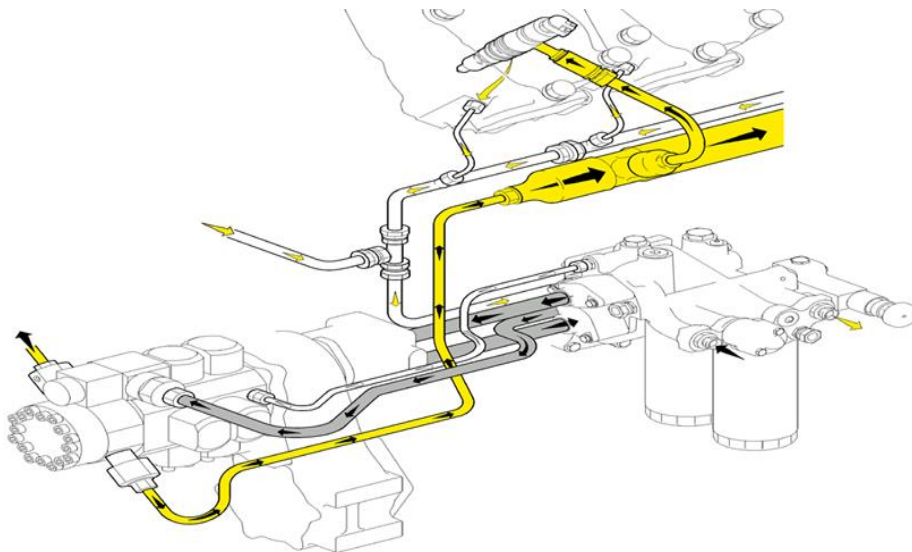


Figura 1.8 Sistema de combustible línea común. [Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

Mediante el sistema de inyección Common Rail (línea común) son determinados, controlados por la electrónica del motor, la presión de inyección, el momento de inyección y la cantidad de inyección, independientemente del número de revoluciones del motor. Presiones de inyección de hasta 1400 bares se encargan de unas condiciones óptimas de inyección de combustible y combustión.

Técnica

El sistema de baja presión incluye:

- Bomba de alimentación de combustible accionada por un arrastrador de la bomba de alta presión de combustible
- Bomba a mano de combustible
- Filtro doble de combustible

Alta presión, forman parte del sistema de inyección Common Rail:

- Bomba de alta presión de combustible (en el 20V adicionalmente lubricada por aceite)
- Acumulador de presión común o línea común (Common Rail)
- Conductos de alta presión de una sola pared
- Conductos de alta presión de doble pared (opcionales)
- Válvulas de inyección individuales

El sistema de retorno de combustible incluye:

- Conductos de retorno de las válvulas de inyección
- Conducto de retorno de la bomba de alta presión de combustible
- Conducto de retorno al depósito

Mando

- Electrónicamente por sistema electrónico del motor
- Comienzo y fin de inyección controlables electrónicamente (de forma variable)

Ventajas

- Reducción perceptible de la emisión de sustancias dañinas a números de revoluciones bajos
- Consumo favorable de combustible en todo el intervalo de potencias
- Buen comportamiento de aceleración
- Sin pérdida de potencia a elevadas temperaturas de combustible

- No es necesario efectuar un ajuste mecánico
- Mínimo mantenimiento
- Elevado grado de fiabilidad
- Silenciosidad ejemplar

Funcionamiento

Accionada por un arrastrador de la bomba de alta presión de combustible, la bomba de alimentación de combustible aspira el combustible del depósito, impeliéndolo a través del filtro doble de combustible a la bomba de alta presión. Esta aumenta la presión a hasta 1400 bares, impeliendo el combustible al Common Rail. El Common Rail acumula la presión, repartiendo el combustible, a través de los conductos de alta presión, a las distintas válvulas de inyección. El tiempo y la cantidad de inyección son determinados por las válvulas electromagnéticas incorporadas a las válvulas de inyección, todo controlado por la electrónica del motor. El combustible inyectado por las válvulas de inyección es distribuido óptimamente en la cámara de combustión. El combustible sobrante pasa a través del conducto de retorno al filtro doble de combustible. Desde allí retorna al depósito junto con el combustible sobrante del conducto de retorno de la bomba de alta presión de combustible. Para la purga de aire del sistema de baja presión de combustible va montada una bomba manual en la caja del filtro doble de combustible. [Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

1.3.1.8 Sistema de sobrealimentación y escape

Los componentes del sistema de aire de carga y de escape están montados en el lado de accionamiento (KS) y en el motor.

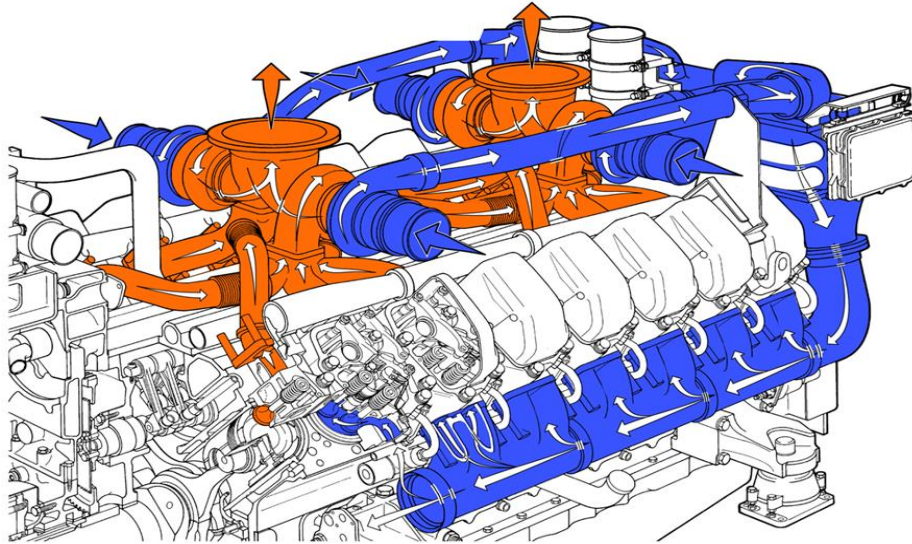


Figura 1.9 circulación de los gases de admisión y escape del motor
[Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

Las exigencias elevadas planteadas a la potencia y el comportamiento de aceleración de dichos motores requieren campos característicos anchos del motor. Por el perfeccionamiento consecuente del sistema de sobrealimentación y escape se obtiene un comportamiento del par de los motores que cumple dichos requerimientos.

Técnica

- Turbosobrealimentación por gases de escape de una sola etapa
- Dos turbosobrealimentadores en los motores 8V y 20V
- Cuatro turbosobrealimentadores en los motores 12V y 16V
- Conductos de escape secos en la V del motor
- Codos de escape de salida vertical
- Refrigeración del aire de carga

Ventajas

- Emisiones de escape reducidas
- Consumo favorable de combustible
- Elevado rendimiento del motor
- Comportamiento óptimo ante la conexión de carga
- Conexión sencilla al sistema de escape externo

Funcionamiento

Sistema de escape

Después de la apertura de las válvulas de escape, los gases de escape de las cámaras de combustión de los cilindros pasan a través de los canales de escape de las culatas a los colectores de escape que van a los turbosobrealimentadores. Los gases de escape que entran en la caja de turbina, accionan la rueda de turbina del grupo rotor, siendo conducidos después al exterior a través de la salida de gases de escape y el sistema de escape.

Sistema de aire de carga

Por la rueda del compresor situada en el mismo árbol del grupo rotor es aspirado aire desde el exterior, a través de los filtros de aire, siendo comprimido en la caja del compresor. El aire comprimido pasa por el refrigerador de aire de carga al tubo de admisión de aire y a continuación a través de los canales de entrada de las culatas a las cámaras de combustión de los cilindros. Para obtener elevadas potencias por cilindro, el aire de carga en el refrigerador de aire de carga es enfriado. En caso de potencias reducidas del motor, el circuito de mezcla permite un precalentamiento del aire de carga en el refrigerador de aire de carga. Esto da lugar a emisiones reducidas de hidróxido de carbono en el servicio a carga inferior.

1.3.1.9 Sistema de aceite lubricante

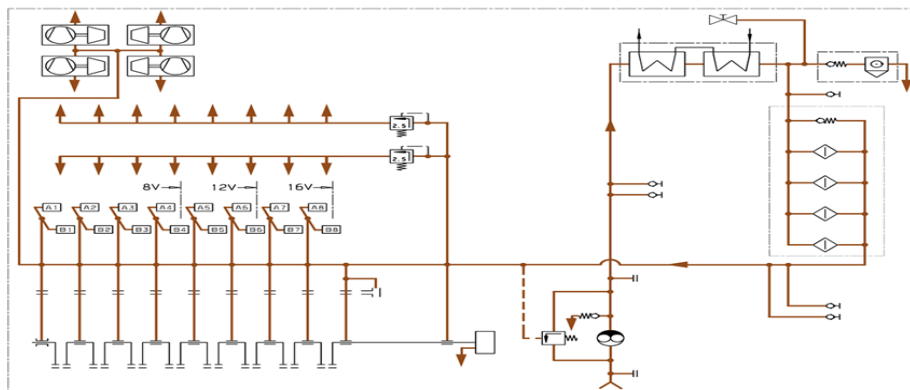


Figura 1.10 Circulación del lubricante en el motor [Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

Técnica

- Sistema de circulación forzada por cárter húmedo
- Elevado grado de limpieza del aceite de motor por filtros centrífugos de aceite (opcionales)

- Filtro de aceite automático (opcional)

Ventajas

- Largos intervalos de cambio de aceite

Funcionamiento

La bomba de aceite de motor aspira el aceite a través de una alcachofa del cárter de aceite, impeliéndolo al intercambiador de calor de aceite de motor a través de un conducto de unión. En caso de filtros centrífugos de aceite adosados, parte del aceite refrigerado pasa por los mismos.

Purifican (centrifugan) el aceite. El aceite purificado retorna, sin presión, al cárter de aceite. La corriente principal del aceite pasa a través de cuatro filtros de aceite de motor directamente a los puntos de engrase existentes en el motor y al canal principal de aceite.

Son abastecidos directamente:

- Amortiguador de vibraciones
- Cojinete de apoyo del cigüeñal, KGS
- Cojinetes de biela
- Toberas de inyección de la refrigeración de pistones

A través del canal principal de aceite son abastecidos:

- Cojinetes principales del cigüeñal
- Culata
- Cojinete de apoyo del cigüeñal, KS
- Cojinetes del árbol de levas
- Rodamientos de los turbosobrealimentadores
- Cojinetes axiales del árbol de levas

La bomba de aceite de motor se trata de una bomba de engranajes. Es accionada por el cigüeñal a través de una rueda dentada intermedia. Una válvula de sobrepresión la protege de una presión de aceite excesiva. Una válvula de descarga regula la presión de aceite independientemente del número de revoluciones del motor. Las válvulas presostato abastecen las toberas de inyección para la refrigeración de los pistones sólo a partir de una presión mínima de aceite. De esta forma aseguran la lubricación del mecanismo en la gama de revoluciones inferior. [Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

1.3.1.10 Sistema de refrigeración

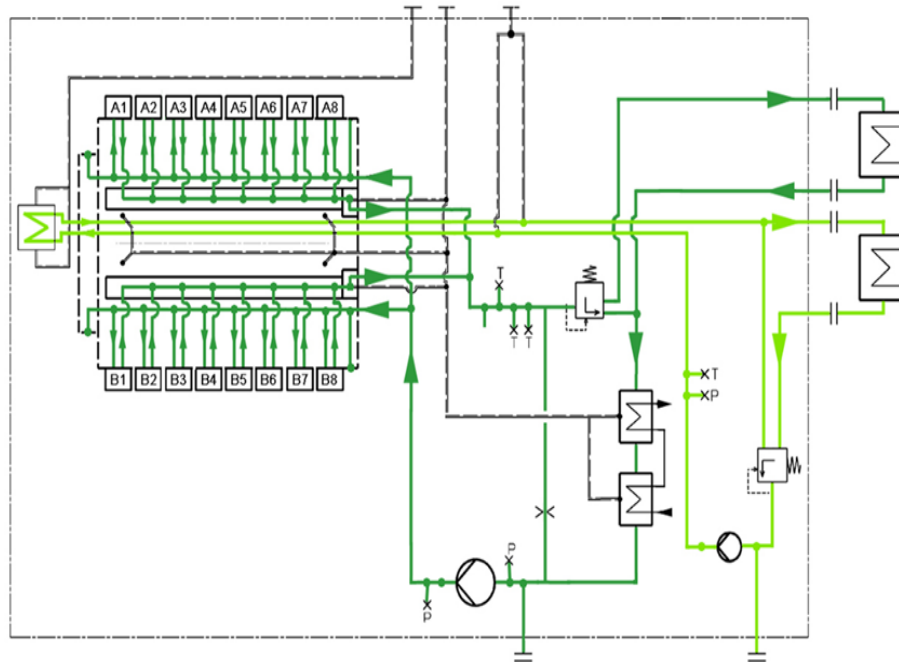


Figura 1.11 circuitos de líquido refrigerante y su movimiento en el motor [Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

Técnica

- Dos circuitos separados:
- Líquido refrigerante del motor (circuito de alta temperatura)
- Líquido refrigerante del aire de carga (circuito de baja temperatura)
- Refrigeración de retorno del líquido refrigerante por:
- Radiadores ventiladores accionados eléctricamente
- Radiador ventilador accionado mecánicamente
- Intercambiador de calor agua/agua (p. ej. intercambiador de calor de placas)
- Circuito de líquido refrigerante controlado por termostato
- Aire de carga refrigerada o calentada por líquido refrigerante

Ventajas

- La temperatura óptima de servicio para motor, aceite y aire de carga es alcanzada rápidamente

- Por calentamiento del aire de carga en marcha en vacío y en servicio a carga inferior se impide el humo blanco.
- Refrigeración del aire de carga en el servicio a carga.

Funcionamiento

Circuito de líquido refrigerante

Después del arranque del motor, la bomba de líquido refrigerante del motor bombea el líquido refrigerante por los canales de líquido refrigerante del bloque motor a las cámaras de los cilindros. Allí baña las camisas de cilindro y pasa a continuación a las culatas, atraviesa las cámaras y taladros de líquido refrigerante de las culatas para circular después por los colectores de líquido refrigerante situados a izquierda y derecha al regulador de temperatura. Antes del regulador de temperatura, parte del líquido refrigerante del motor retorna a través de un restrictor directamente a la bomba de líquido refrigerante del motor. En el punto más alto del equipo de refrigeración va dispuesto el depósito de expansión de líquido refrigerante del motor. Dicho depósito permite la compensación de cantidad y presión del líquido refrigerante del motor y comunica con el circuito a través de un conducto de compensación y purga de aire. Normalmente, el motor está dotado de un equipo de precalentamiento. En los puntos más bajos del circuito de líquido refrigerante del motor van dispuestos tapones de descarga.

Con el motor frío

En estado frío del motor, el regulador de temperatura conduce la parte restante del líquido refrigerante del motor por los intercambiadores de calor de aceite de motor directamente a la bomba de líquido refrigerante del motor. Pasando por alto el refrigerador de retorno de líquido refrigerante del motor, el motor, el aceite lubricante y el líquido refrigerante llegan rápidamente a la temperatura de servicio.

Con el motor caliente

En condición de carga (con el motor a temperatura de régimen), el regulador de temperatura conduce el líquido refrigerante del motor al refrigerador de retorno de líquido refrigerante del motor (A). Procedente del refrigerador de retorno de líquido refrigerante del motor (B), el líquido refrigerante del motor ya enfriado pasa a continuación por los intercambiadores de calor de aceite de motor antes de volver a la bomba de líquido refrigerante del motor.

Circuito de líquido refrigerante del aire de carga

Funcionamiento

La bomba de líquido refrigerante para aire de carga adosada al motor bombea el líquido refrigerante del aire de carga al refrigerador de aire de carga.

En el punto más alto del equipo de refrigeración va dispuesto el depósito de expansión de líquido refrigerante del aire de carga. Dicho depósito permite la compensación de cantidad y presión del líquido refrigerante del aire de carga y comunica con el circuito a través de un conducto de compensación y purga de aire. En los puntos más bajos del circuito de líquido refrigerante del aire de carga van dispuestos tapones de descarga. [Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

Con el motor frío

El líquido refrigerante del aire de carga pasa al regulador de temperatura a través del refrigerador de aire de carga. En estado frío del motor, éste vuelve a conducir el líquido refrigerante del aire de carga directamente a la bomba de líquido refrigerante del aire de carga.

Con el motor caliente

Estando el motor caliente por el servicio, el líquido refrigerante del aire de carga pasa por el regulador de temperatura al refrigerador de retorno de líquido refrigerante del motor (A). Procedente del refrigerador de retorno de líquido refrigerante del motor (B), el líquido refrigerante del aire de carga ya enfriado, pasa a la bomba de líquido refrigerante del aire de carga.

1.3.1.11 Gestión del motor y vigilancia del motor

La vigilancia del motor garantiza la disponibilidad de servicio y la larga vida útil del motor. El momento de inyección, la duración de inyección y la cantidad de inyección resultante son calculados de nuevo para cada ignición y para cada cilindro. Esto garantiza un consumo favorable, gases de escape mínimos y una potencia máxima.

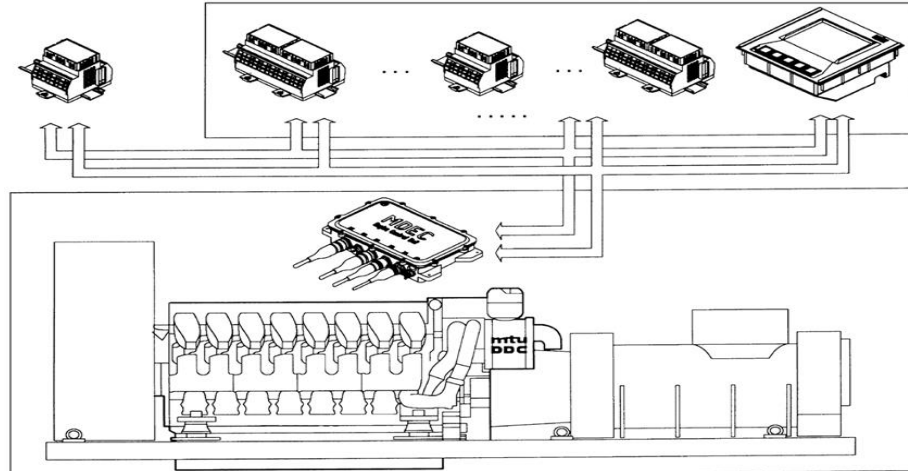


Figura 1.12 Unidad de control del motor generador. [Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.]

Unidad de control del motor ECU

Como cometidos prioritarios del ECU destacan la gestión o la regulación del motor, el control de la inyección Common Rail y la vigilancia de los valores de servicio del motor más importantes.

Técnica

- Caja plana
- Regulador de máxima o regulador de inyección de combustible
- Regulación del número de revoluciones del motor
- Vigilancia del motor e indicación de valores de servicio del motor y alarmas
- Protección del motor al ser alcanzados parámetros críticos de servicio
- Sistema de autodiagnóstico y vigilancia para hardware y software
- Registrador del perfil de carga
- Control automático del sistema secuencial de arranque
- Selección del número de revoluciones para servicio a 50 o 60 Hz
- Conmutación del grado P durante el funcionamiento del motor
- Captación e indicación de valores de medición zona planta

Ventajas

- Conexión simple a sistemas de mando del grupo de uso corriente y usuales en el mercado
- Configuración flexible de interfaces

- Minimización de la adaptación de la vigilancia del motor/grupo
- Funcionamiento del grupo eficiente y fiable por diagnóstico rápida de fallos

Funciones

ITS -- Sistema de ensayo integrado

- Todos los sensores y actuadores están conectados directamente al ECU
- La vigilancia abarca el fallo de sensores, la función de los sensores y la rotura de cables

Regulación

- Número de revoluciones (según los valores preestablecidos)
- Inyección (presión de combustible, momento de inyección, duración de inyección, estado de servicio)

Mando

- Protección del motor con sistemas de seguridad multietapa:
- Reducción de potencia
- Limitación de potencia
- Parada de emergencia

Vigilancia

- Número de revoluciones del motor
- Número de revoluciones excesivo
- Presión de aceite
- Temperatura del líquido refrigerante
- Nivel del líquido refrigerante (opcional)
- Temperatura de aceite
- Temperatura del líquido refrigerante del aire de carga
- Servicio Vds activable a través de entrada binaria

Interfaz del cliente

- 9 entradas binarias optodesacopladas
- 6 salidas binarias 24V DC

entradas analógicas para:

- Prefijación del valor teórico del número de revoluciones
- Loadplus o sobrecarga.

salidas analógicas 0-10V para:

- Número de revoluciones
- Presión del aceite lubricante
- Temperatura del aceite lubricante
- Temperatura de líquido refrigerante

La memoria de fallos está diseñada como memoria intermedia anular. Como máximo son memorizadas 80 entradas. Al ser sobrepasado dicho número, es anulado el fallo más antiguo, siendo memorizado el fallo más reciente

1.4 Estrategia de mantenimiento

1.4.1 Concepción del mantenimiento

Como concepción del mantenimiento de forma general en Generación Distribuida se organiza en cinco sistemas:

1. Sistema generador que incluyen los siguientes equipos: motor-generador, así como su esquema electro-automático asociado.
2. Sistema de combustible, lubricante y residuales que incluyen los siguientes equipos: bombas, separadores centrífugos, tanques de combustible, cubetos, válvulas, sistemas de drenaje, trampas de tratamiento de residuales, esquemas de tuberías y esquema electro-automático asociado.
3. Sistema de vapor que incluye: caldera, bomba, conductos de escape, domos, tuberías, válvulas y sistema electro-automático asociado.
4. Sistema de aire comprimido que incluye: compresores, tanques de aire comprimido, tuberías, válvulas y sistema electro-automático asociado.
5. Sistema infraestructura que incluye: contenedores, cerca perimetral, viales, aceras, talleres, edificio administrativo, garitas de los agentes de seguridad, alumbrados, etc.

La responsabilidad de la ejecución y alcance de los mantenimientos es de la empresa explotadora en este caso es la UEB Geysel Holguín. El mantenimiento tiene que cubrir toda la cadena de producción, desde la recepción de la materia prima (combustibles y otros) hasta la exportación de la energía al sistema. Para las empresas que intervienen en el mantenimiento, su trabajo no termina con la ejecución de este, es decir, su función para con la Generación Distribuida no es solo ejecutar el mantenimiento, sino mantener una elevada

confiabilidad, mantenibilidad de los equipos y por esto será evaluado su desempeño dentro del sistema. [Manual GDECU, 2009]

Los bajos costes de funcionamiento y mantenimiento, así como la fiabilidad operativa y la disponibilidad dependen de que el mantenimiento y el mantenimiento se lleven a cabo de acuerdo con especificaciones e instrucciones.

El sistema global, del que el motor forma parte integrante, deberá mantenerse de forma que se garantice un funcionamiento sin problemas.

1.4.2 Concepto de mantenimiento MTU

El sistema de mantenimiento para productos MTU es un concepto de mantenimiento preventivo. Facilita la planificación anticipada y garantiza un alto grado de disponibilidad del equipo.

El programa de mantenimiento se basa en el perfil de carga. Los intervalos de tiempo en los que deben llevarse a cabo los trabajos de mantenimiento, así como los controles y tareas correspondientes, son resultados medios basados en la experiencia operativa y, por tanto, representan únicamente directrices. Las condiciones de funcionamiento específicas pueden requerir modificaciones en el Programa de mantenimiento. [Manual GDECU, 2009]

Tabla de perfil de carga				
Factor de carga	110%	100%	75%	20%
Tiempo de funcionamiento correspondiente	1%	5%	90%	4%

Tabla 1.1 Grupo de aplicación 3B, Funcionamiento continuo con carga variable, factor de carga: < 75% [Manual GDECU, 2009]

La matriz de tareas de mantenimiento cubre todas las tareas hasta una revisión importante. Después de una revisión importante, las tareas de mantenimiento deben seguir realizándose de acuerdo con el calendario especificado.

Si el motor debe permanecer fuera de servicio durante más de 1 mes, se debe llevar a cabo los procedimientos de preservación del motor.

1.4.3 Sistema de registro, adquisición y procesamiento de la información (SCADA)

El sistema de gestión del motor MDEC para motores estacionarios del generador se utiliza para motores de las dos series MTU/DDC BR 4000 y DDC/MTU BR 2000. El sistema de gestión del motor MDEC se encarga principalmente de las siguientes tareas:

- Control del motor Diésel.
- Vigilancia de los estados operativos.
- Regulación del llenado o bien, de la velocidad de rotación del motor Diésel (dependiendo del respectivo estado operativo).
- Visualización de estados de funcionamiento erróneos a través de códigos de fallo (PIM A 511).

Para la conexión a sistemas de orden superior se pueden utilizar (opcionalmente) hasta 8 módulos de interfaz periféricos (PIM) más. Un display (opcional) proporciona informaciones acerca de los estados operativos en forma de gráficos de barras y textos, así como fallos en forma de mensajes de texto.

Estructura y función

El sistema de gestión del motor MDEC para motores estacionarios del generador tiene las siguientes características principales:

- Puede ser utilizado para las series de motores 2000 y 4000
- Regulación y control electrónico del motor
- Vigilancia del motor si hay estados operativos inadmisibles
- Indicación de los códigos de fallo
- Cable de conexión para la alimentación eléctrica de cada uno de los aparatos
- Cable de conexión para conectar un control de grupos de orden superior
- Conexión de bus CAN a un control de grupos de orden superior (opcional)
- Interfaces hardware a un control de grupos de orden superior (opcional)
- Entradas para sensores del lado de la instalación (opcional)
- Visualización de estados operativos del motor y de fallos en texto claro a través de un display LC (opcional)
- Unidades de representación visual analógicas (opcional)
- Dependiendo del estado operativo, regulador de la velocidad de rotación o del llenado
- Funciones de protección del motor hasta incluso la desconexión
- Sistema integrado de diagnóstico de fallos ITS

- Grabadora integrada para el perfil de carga
- Control plenamente automático de la secuencia de arranque
- Es posible el funcionamiento a 50 Hz ó 60 Hz
- Es posible la conmutación del estatismo durante el servicio del motor

1.4.4 Diagnóstico técnico y utillaje

El diagnóstico se realiza para identificar fallos en estado incipiente e intervenir para eliminar el fallo potencial que no complete el ciclo acordado de trabajo.

El diagnóstico es el conjunto de mediciones y análisis que se realizan con el objetivo de evaluar el estado del equipo, detectar averías potenciales e intervenir a tiempo el equipo, mantener la operación del motor bajo condiciones controladas y comprobar los indicadores técnicos económicos.

Las actividades del diagnóstico comienzan desde la inversión y puesta en marcha de la central donde se realizan las pruebas de los equipos y se almacenan todos los datos de comportamiento, que constituyen los valores de referencia para evaluar el comportamiento durante la explotación.

El período P-F, tal como se puede apreciar en la figura, es el período de tiempo entre el punto donde es detectada la falla potencial y el punto donde se convierte en una falla funcional. El punto P, es el primer momento en que la causa de falla es detectable por la técnica utilizada y F es el punto de falla, es decir, el momento en que el equipo llega al límite inferior del rango normal de desempeño. [Manual GDECU, 2009]

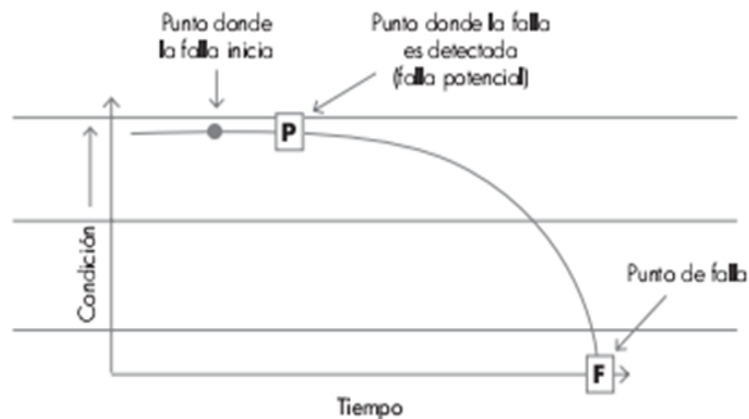


Figura 1.13 Período P-F [Manual GDECU, 2009]

Resulta conveniente la selección de la herramienta con la que se obtenga el mayor período P-F que permita:

- Tomar acciones para evitar las consecuencias de la falla.
- Planificar una acción correctiva, de manera que disminuyan las pérdidas de producción.

El diagnóstico tiene como base el régimen químico y de operación con las lecturas de parámetros que se realiza según lo planificado en cada actividad. Los datos y resultados son comparados con los normados en las cartas de régimen observando que estén en los rangos de operación normales, analizando tendencias en el tiempo y evaluando de forma proactiva hacia donde se dirige la condición del equipo.

El sistema de mantenimiento preventivo planificado posibilita tener una información actualizada de la situación de cada equipo a partir de: los elementos de régimen de operación revisados previo al mantenimiento, la inspección visual y la corroboración de parámetros y ajustes hechos durante la intervención, así como el comportamiento del equipo a la salida del mantenimiento con la medición de los parámetros para la puesta en explotación nuevamente. [Manual de gestión GEYSEL, 2010]

Se ejecutan mediciones predeterminadas de mayor complejidad con equipamiento especializado diariamente con el objetivo de desarrollar bloques de conocimiento y comportamiento del equipamiento que permitan evaluar su desarrollo en el tiempo, partiendo, además, de que las mediciones por sí solas no constituyen un elemento definitorio para la toma de decisiones y se requiere tener información sobre el equipo en cuestión preferentemente, o en caso emergente sobre el tipo de equipo.

Por ejemplo, la oportunidad de medición de los gases de escape de los motores brinda, sin dudas, elementos reales del comportamiento de la combustión, su eficiencia y permite evaluar el comportamiento del bloque, camisa, pistón, aros, etc. ante una señal de posibles fallos se determina por compresímetros los comportamientos, la hermeticidad; los cuales puede ser corroborados por endoscopías, a esta se pueden adicionar mediciones de temperatura de forma general por medio de la cámara de termovisión y puntualmente por el termo-point.

El nivel de ruidos de un equipo o central sin dudas permiten un diagnóstico de su funcionamiento que unido a las vibraciones medidas en los distintos puntos establecidos en ISO permite eliminar fuentes importantes de fallos como hasta hoy ha ocurrido.

Con el objetivo de hacer certificables los parámetros medidos tanto para una gestión ambiental segura como para estudios de comportamiento, se cuenta entonces con una estación meteorológica portátil que permite obtener temperatura ambiente, humedad relativa, altitud, sentido y velocidad de los vientos.



Figura 1.14 equipos de diagnósticos más usados.

En el diagnóstico participan todas las áreas, empresas involucradas y es responsabilidad del explotador concentrar todos estos análisis y propuestas de soluciones en un solo lugar para la toma de decisiones; dedicando a esto los recursos humanos necesarios, la planificación exhaustiva, el control necesario que posibiliten el cumplimiento periódico de las mediciones y los análisis correspondientes llegando a las causas raíces de las desviaciones y así obtener disponibilidades de excelencia.

1.4.5 Indicadores de eficiencia utilizados

CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE: Es la cantidad en gramos de combustible que se consume por cada kilowatt generado en un intervalo de tiempo. [Manual GDECU, 2009]

$$Consumo\ Especifico = Consumo\ Combust./\ Energia\ generada \quad (1.1)$$

CONSUMO ESPECÍFICO DE LUBRICANTE MOTOR: Es el lubricante que se consume en gramos por cada kilowatt generado en un intervalo de tiempo. [Manual GDECU, 2009]

$$CEac = Consumo\ Lubricante\ motor/\Energia\ generada \quad (1.2)$$

CONSUMO ESPECÍFICO DE REFRIGERANTE: Es el refrigerante que se consume en litros por cada kilowatt generado en un intervalo de tiempo. [Manual GDECU, 2009]

$$CE_{ref} = \text{Consumo refrig. motor} / \text{Energía generada} \quad (1.3)$$

CONSUMO ESPECÍFICO DE AGUA: Es el agua que se consume en litros por cada kilowatt generado en un intervalo de tiempo. [Manual GDECU, 2009]

$$CE_{agua} = \text{Consumo Agua} / \text{Energía generada} \quad (1.4)$$

CONSUMO ESPECÍFICO DE LOS LUBRICANTES AUXILIARES: Es el lubricante que se consume en litros por cada hora de trabajo del equipo auxiliar. [Manual GDECU, 2009]

$$CE_{lub}(x) = \text{Consumo Lubricante}(x) / \text{horas trabajo} \quad (1.5)$$

CONSUMO ESPECÍFICO DE PRODUCTOS QUÍMICOS: Es la cantidad en litros de producto químico consumido por litro del fluido a tratar. [Manual GDECU, 2009]

$$CE_{PQ}(x) = \text{Consumo}(x) / \text{Litros de líquidos} \quad (1.6)$$

POR CIENTO DE ÓRDENES DE TRABAJO PENDIENTE: Es la relación entre las órdenes de trabajo pendiente y las órdenes de trabajo totales llevados a por cientos. [Manual GDECU, 2009]

$$\% OTP(x) = \frac{\text{Órdenes de Trabajo Pendientes}}{\text{Órdenes de Trabajo Total}} \quad (1.7)$$

DISPONIBILIDAD (D): Es la relación entre la potencia total instalada y la potencia real que existe en el periodo dado. La potencia que no puede cumplir su función por mantenimiento, avería o causas externas forma parte de la diferencia entre la instalada y real en el periodo analizado. [Manual GDECU, 2009]

$$Disponibilidad = \frac{Potencia\ Instalada - Potencia\ Indisponible\ Total}{Potencia\ Instalada} * 100 \quad (1.8)$$

$$Pot.\ Indisp.\ Total = Pot.\ indis.\ Avería + Pot.\ indis.\ Mtto + Pot.\ indis.\ mat\ serv. + Pot.\ indis.\ redes + Pot.\ indis.\ otras\ causas \quad (1.9)$$

TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLOS (TPEF): Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas, en esos ítems en el periodo observado. Este índice se aplica a ítems que se reparan después de la falla. [Manual GDECU, 2009]

$$TPEF = \frac{NOIT * HROP}{\Sigma NTMC} \quad (1.10)$$

TIEMPO PROMEDIO PARA MANTENIMIENTO (TPPM): Relación entre el tiempo total de la intervención preventiva y el número total de la intervención preventiva en esos ítems, en el período observado. [Manual GDECU, 2009]

$$TPPM = \frac{\Sigma HTMP}{NTMC} \quad (1.11)$$

TIEMPO PROMEDIO PARA LA REPARACIÓN (TPPR): Relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado. Utilizar en ítems para los cuales el tiempo de reparación o sustitución es significativo en relación al tiempo de operación. [Manual GDECU, 2009]

$$TPPR = \frac{\Sigma HTMC}{NTMC} \quad (1.12)$$

TIEMPO PROMEDIO PARA EL DIAGNÓSTICO (TPPD): Relación entre el tiempo en que se diagnostica una intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado. Utilizar en

ítems para los cuales el tiempo de reparación o sustitución es significativo en relación al tiempo de operación. [Manual GDECU, 2009]

$$TPPD = \frac{\sum HTDMC}{NTMC} \quad (1.13)$$

TIEMPO PROMEDIO PARA EL SUMINISTRO (TPPS): Relación entre el tiempo parado por piezas una intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado. Utilizar en ítems para los cuales el tiempo de reparación o sustitución es significativo en relación al tiempo de operación. [Manual GDECU, 2009]

$$TPPS = \frac{\sum HTSMC}{NTMC} \quad (1.14)$$

TIEMPO PROMEDIO PARA TRABAJO (TPPT): Relación entre el tiempo de trabajo de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado. Utilizar en ítems para los cuales el tiempo de reparación o sustitución es significativo en relación al tiempo de operación. [Manual GDECU, 2009]

$$TPPT = \frac{\sum HTTMC}{NTMC} \quad (1.15)$$

TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAR (TPPF): Relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítems y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado. Aplicar a ítems que se sustituyen después de fallar, sin reparar. [Manual GDECU, 2009]

$$TPPF = \frac{\sum HROP}{NTMC} \quad (1.16)$$

UTILIZACIÓN (U): Utilización de equipos instalados. Horas de marcha reales (HMR) entre horas posible de marcha (HPM) por 100. Aplicable a centrales y equipos que se encuentran en funcionamiento y reserva.

Sintetiza el uso dado a las instalaciones para su fin: Producir. Repercuten en su valor tanto producción (usuario) como las ventas. [Manual GDECU, 2009]

$$U = \frac{HMR}{HPM} * 100\% \quad (1.17)$$

RENDIMIENTO (R): Sintetiza el buen control del proceso productivo, así como el estado de funcionamiento de las instalaciones. Repercuten en él producción y mantenimiento. [Manual GDECU, 2009]

$$R = \frac{\text{ProducciónRE al período}}{\text{ProducciónNominal al período}} * 100 \quad (1.18)$$

Es muy importante para el cálculo de este índice tomar un correcto valor para la producción nominal.

COSTO DE MW GENERADO: Es el costo por cada Megawatts generado en un intervalo de tiempo. [Manual GDECU, 2009]

$$\text{Costo MWG} = \text{Costo del MW} / \text{Generación} \quad (1.19)$$

CAPITULO 2 MEJORAS A LA O&M DE LOS GEDH

En este capítulo se determinan los principales fallos y sus causas, por sistemas y componentes a través de los valores de las variables de salida de los motores ante cada mantenimiento realizado. Se desarrolla un procedimiento que establecen las intervenciones de mantenimiento, las cartas de fallas y soluciones que favorecen los índices de funcionabilidad e introducir un sistema de mejoras técnicas de O&M de los GEDH

2.1 Evaluación del estado técnico de los grupos electrógenos MTU BR 4000 16V G81

El objetivo fundamental del capítulo es la determinación de los principales fallos a través de los valores de las variables de salida de los motores ante cada mantenimiento realizado y la utilización de un procedimiento elaborado para dicho fin.

2.1.1 Principales fallos del GED

En estudio realizado en un quinquenio y es el porqué de este trabajo es demostrar la situación de deterioro en disponibilidad de los grupos en cuestión, los últimos 3 años hemos visto un aumento en las averías donde el sistema del motor lleva la peor parte.

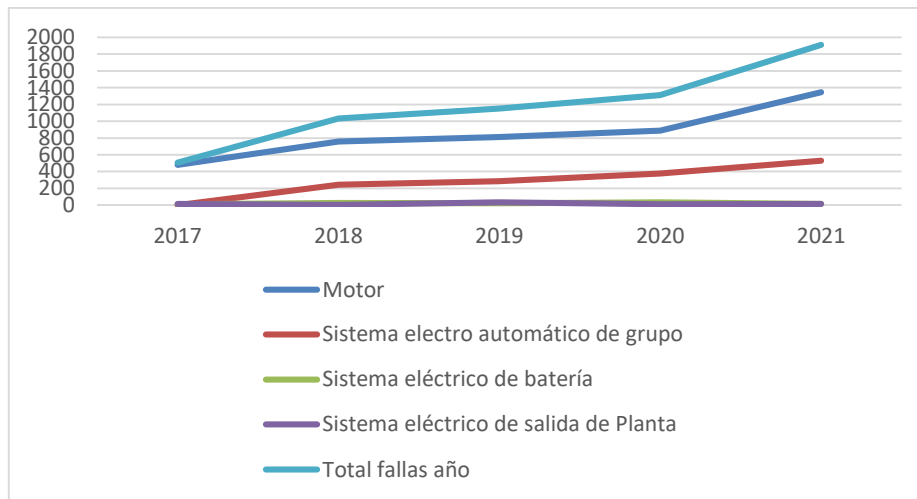


Figura 2.1 Total Fallas por Sistemas en los últimos 5 años

Desgaste de sus partes y piezas, falta de materias primas para realizar los mantenimientos a tiempo, o tener que reutilizar piezas y agregados que por fabricante limitan en tiempo de trabajo u operación, son algunas de los factores que pueden estar incidiendo en ello.

También podemos decir que una débil realización de las intervenciones ante los mantenimientos preventivos o correctivos provoca que estos gráficos vayan en constante aumento.

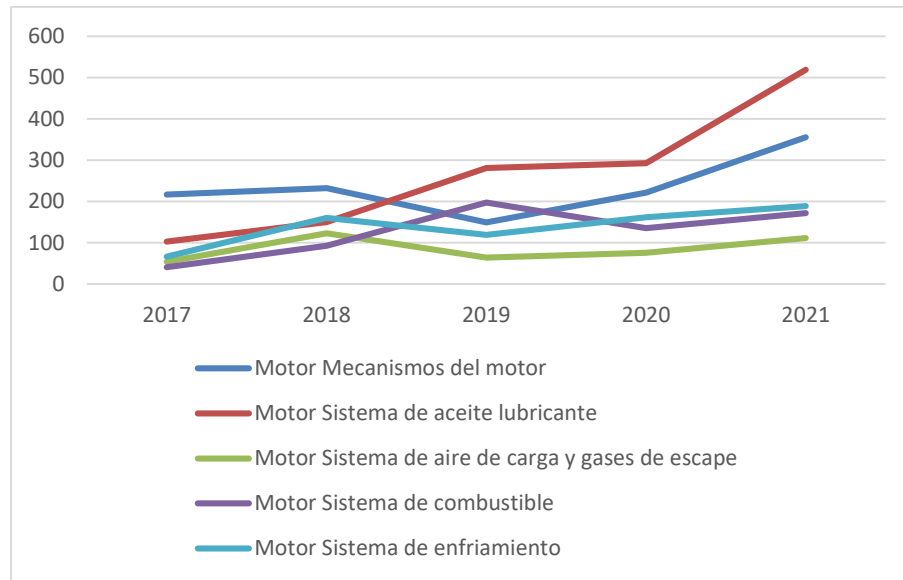


Figura 2.2 Sistema del motor y subsistemas más fallados.

Dentro del sistema del motor podemos decir que el subsistema más fallado es el de los mecanismos del motor con un ascenso en los últimos años de 100 fallas entre un año y otro lo que corrobora que las partes y piezas del motor sin un debido overhauling o reparación capital por tiempo de trabajo le ha provocado desgastes técnicos.

Los demás subsistemas aquí se comportan de la misma manera en ascenso, lo que su mayor falla está en las altas temperaturas o bien del aceite lubricante, refrigerante, combustible y gases de escape, véase que todo esto lo provoca algún defecto mecánico del motor.

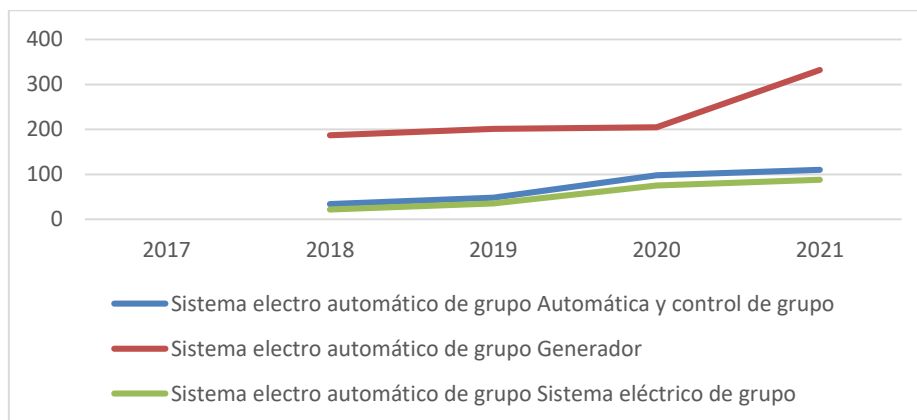


Figura 2.3 Sistema electro automático de grupo y subsistemas más fallados.

En el sistema antes expuesto en la figura 2.3 vemos que la avería o falla más común está en el generador, de este generador podemos acotar que es de fabricación italiana, marca MARELLI, clase H de aislamiento del bobinado, un rodamiento por escudo, y flotante a través de un acoplamiento flexible al volante del motor, su mantenimiento está basado fundamentalmente en lavado, barnizado y engrase en terreno, sus reparaciones de agregados se ha logrado realizar en el país aunque todavía no existe muchos proveedores que logren mantener una producción con calidad y sistemática, teniendo que llegar a importar todos sus componentes y recambios en la gran mayoría de las veces.

Los otros dos sistemas asociados al grupo no presentan una distorsión mayor ya que sus componentes vienen para un tiempo de vida útil muy largo por fabricante, no obstante, se han presentado fallas muy comunes a nivel de país en componentes como: módulos de control del interruptor de grupo, AGC o sistema de control del grupo, sensores, protecciones de alto y bajo voltaje, entre otras, etc.

2.2 Análisis sobre las pautas de mantenimientos

Los mantenimientos se tienen que realizar bajo regulaciones, instrucciones e inspecciones que garanticen la calidad de la ejecución, y la entrega del equipo sin limitaciones ni restricciones para su operación.

Para la ejecución del mantenimiento las partes de mantenimiento y operación coordinan el trabajo a realizar: tipo de mantenimiento y volumen a ejecutar. El equipo es entregado a mantenimiento mediante un proceso debidamente documentado (UJ-IG 0310 Análisis de equipos antes y después de mantenimiento), con las vías libres solicitadas, el equipo limpio, y las medidas de seguridad tomadas. Terminado el mantenimiento al equipo, se entrega a la operación con el trabajo finalizado y limpio, a través de un proceso de recepción documentado (UJ-IG 0310 Análisis de equipos antes y después de mantenimiento), se devuelven las vías libres y se comienza su prueba con la participación de ambas partes. Finalmente, con el resultado exitoso de la prueba es recepcionado el activo. [Manual de gestión GEYSEL, 2010]

Durante la explotación surgen defectos y averías que se dividen en dos grupos: los de atención inmediata (el equipo no puede seguir en operación bajo esta condición) y los que

necesitan de una parada planificada para su solución, control que es necesario de manera individualizada y detallada para cada equipo, en el sistema de gestión.

Para la ejecución de los mantenimientos se discute el volumen total de trabajo a ejecutar, el cronograma de ejecución del mantenimiento, incluyendo el personal a utilizar y la calificación de estos, los materiales y herramientas a utilizar y piezas de repuesto, dejando acta de los acuerdos tomados para la ejecución.

Si durante la ejecución del mantenimiento se detecta un problema que genere un trabajo no previsto, se incluye en el volumen a ejecutar, si no se tiene el recurso para poder solucionar y es algo que no indisponen se agrega a los defectos pendientes, agregándose al informe final.

Para la ejecución de estos mantenimientos por cada tipo de tecnología existe una matriz con los pasos a seguir, en este caso la tecnología MTU S4000 con la matriz:

- UJ-IG 0513: MATRIZ DE MANTENIMIENTO DEL CONTENEDOR SERIE MTU S 4000.

De estas matrices la empresa GEYSEL estableció modelos con los volúmenes a ejecutar por cada matriz para que existiera una mejor guía en cuanto los técnicos trabajaran en los mantenimientos, estos modelos son los:

MTU S4000:

- MT - IM – 0140: M2 (350 HRS). [Manual de gestión GEYSEL, 2010]
- MT – IM – 0141: M3 (1000 HRS). [Manual de gestión GEYSEL, 2010]
- MT – IM – 0143: M5 (3000 HRS). [Manual de gestión GEYSEL, 2010]
- MT – IM – 0116: M6 (6000 HRS). [Manual de gestión GEYSEL, 2010]

Al examinar los documentos buscando deficiencias en lo que pudiera realizarse o no en cuanto a la matriz contra los volúmenes de trabajo exigidos y no llegar a violar ningún paso que pueda llegar a afectar la tecnología se identifica que:

- Las matrices establecidas por manual se quedan muy escasas de puntos a tratar en cada tiempo de trabajo. En los volúmenes se trata de abarcar casi todo, pero en algunos casos puede que haya puntos no tratados como se puede apreciar en esta tabla:

Tipo de Mtto	Acciones por Matriz		Acciones por modelo Volumen	
	Si	No	Si	No
M2 350 horas	18	Control de todos los sistemas	18	3
M3 1000 horas	6	Control de todos los sistemas	28	
M5 3000 horas	4	Control de todos los sistemas	29	2
M6 6000 horas	2	Control de todos los sistemas	32	1
Total de acciones a ejecutar	30		107	
Diferencia de puntos que se deben tratar fuera de la matriz		77		

Tabla 2.1 Diferencias en matriz y modelo de volumen para los mantenimientos.

En revisión efectuada en las CDE para determinar si se cumplían con las pautas establecidas para cada mantenimiento se detecta lo siguiente:

1. De los mantenimientos 350 y 250 horas se detecta que a pesar de que los operadores realizaban esta tarea no existió una capacitación sobre las pautas (carta técnica) a seguir que detallara los pasos y exigencias. Solamente se sigue realizando el cambio de aceite y filtros e indistintamente en dependencia de la capacidad de cada operador se realizaban revisiones. Fundamentalmente revisiones y controles, nada más varía la medición de holgura entre rotor y estator y la medición de la resistencia de contacto del interruptor.
2. De los mantenimientos desde 1000 horas hacia adelante, los técnicos como promedio laboran de 4 a 6,30 horas para atender un mantenimiento.
3. De las órdenes de servicio (OS) revisadas se puede apreciar que presentaban modelos establecidos de mto MT-IM-0138 y UJ-IG-0200.A62 (análisis antes y después de los trabajos y el informe de mto, aunque se aprecia que no se detallan los defectos identificados y las maneras de solucionarlos.
4. Aunque se ve mejoras en la preparación de los mantenimientos antes de, continúan deficiencias entre la preparación de volúmenes a ejecutar. Muy pocas CDE gestionan su mantenimiento exigiendo al Jefe de Brigada cumplir los controles operacionales exigidos.

5. Se detecta que la gran mayoría de las OS revisadas, conjuntamente con los modelos establecidos siempre existe una conformidad sobre lo realizado, no se especifica la calidad de los trabajos y los trabajos pendientes no ejecutados.
6. Los resultados de las entrevistas y encuestas evidencian que como promedio se están ejecutando más del 97% de las acciones o volúmenes establecidos.
7. Se detecta y corrige en coordinación con el área de operaciones que los mantenimientos 350 horas y 250 horas con respecto a las mediciones de holgura entre rotor-estator de la excitatriz y medición de la resistencia de contacto del interruptor no se ejecutaban adecuadamente por el operador, estableciendo entre - 40 y más de 40 horas para que la Brigada de Técnicos lo realice y se realicen las anotaciones correspondientes.

Existe consenso que la atención por el mantenimiento a las CDE ha mejorado considerablemente desde el proceso de planificación hasta la ejecución, los operadores, técnicos, así como los especialistas encargados de esta tarea se han ido preparando para realizar los mantenimientos con la calidad requerida. La preparación previa implica planificar los recursos a utilizar hasta los pasos a seguir en cuanto a cada mantenimiento, se analiza de conjunto entre operaciones y Mtto, aprobando los trabajos a ejecutar.

En el año 2020 se realiza cambio de lubricante a utilizar por indicaciones de la dirección de la UNE, anteriormente se utilizaba el aceite CUBALUB 15W40 y se cambia por el CUBALUB 10W40 homologado para operación en los grupos.

Desde este cambio, aunque el lubricante 10W40 dice que cumple con las especificaciones que el fabricante menciona, los grupos específicamente los motores comienzan un proceso de degradación en sus parámetros de temperaturas de lubricantes y otros valores asociados al sistema que provocan salidas imprevistas, muchas de estas averías son provocadas por la acumulación de gases en el cárter que al no poder evacuarlas por las vías normales provocan durante la operación derrames de lubricantes, esto altera el consumo específico (CElub) establecido.

2.1. Principales Fallos de los Grupos Electrónicos MTU Br 4000 16 V G81

2.3 Análisis de fallos de los Grupos Electrónicos MTU Br 4000 16 V G81

En este epígrafe se detallarán los principales fallos de Grupos Electrónicos, en la serie 4000 en el periodo comprendido de los años 2017 hasta la fecha, los mismos se muestran en una lista técnica. La relación de los fallos se determinó de la base de datos existente en la UEB GEYSEL de la Provincia de Holguín.

Sistema	Subsistema	2017	2018	2019	2020	2021
Motor	Mecanismos del motor	217	232	149	221	355
	Sistema de aceite lubricante	103	150	281	293	519
	Sistema de aire de carga y gases de escape	54	123	64	76	111
	Sistema de combustible	41	93	197	135	172
	Sistema de enfriamiento	66	160	119	162	189
		481	758	810	887	1346
Sistema electro automático de grupo	Automática y control de grupo		34	48	98	110
	Generador		187	201	205	332
	Sistema eléctrico de grupo		22	35	75	88
		0	243	284	378	530
Sistema eléctrico de batería	Celda e interruptor	4	16	4	11	4
	Contenedor de control central	4		2		
	Panel de control, automática e instrumentación	4	7	14	24	8
	Sistema de tierra y pararrayos					2
	Transformadores		4	3		2
		12	27	23	35	16
Sistema eléctrico de salida de Planta	Celda e interruptor	9	5	27	1	1
	Panel de control, automática e instrumentación			7	9	6
	Resistencia de aterramiento neutro	1			1	
	Sistema de CD					1
	Sistema de tierra y pararrayos	5				5
	Transformadores				1	3
		15	5	34	12	16
Total fallas año		508	1033	1151	1312	1908

Tabla 2.2 Principales Fallos.

2.3.1 Principio de Pareto: Pocos vitales, muchos triviales

Ya lo dijo Ishikawa "El noventa y cinco por cien de los problemas de una empresa se pueden resolver utilizando métodos estadísticos sencillos. Casi todos los problemas se pueden resolver con gráficos de Pareto y diagramas de causa y efecto."

Los Diagramas de Pareto son una de las siete herramientas básicas de la Calidad. Se basan en el Principio de Pareto, también conocido como la Regla del 80/20. Un concepto muy sencillo con un grado de cumplimiento asombroso. En pocas palabras, cuando analizamos un problema, el 80% del resultado proviene del 20% de las causas. El 80% de causas restantes sólo afecta al 20% del resultado. Es decir, existen pocas causas realmente importantes, y muchas de poca importancia (pocas vitales y muchas triviales). Está claro que la proporción 80/20 es orientativa, aunque generalmente en la práctica los valores se aproximan mucho a ella.

Los Diagramas de Pareto se utilizan en general para detectar las causas principales de No Conformidades, de cualquier origen: descarte, retrabajo, queja, entre otras. Por esto aplicando este principio en las principales fallas detectadas quedaría de la siguiente manera:

Sistema	Subsistema	Total fallas	% Total fallas	Acumulad o	% Acumulado
Motor	Mecanismos del motor	1346	23%	1346	23%
Motor	Sistema de aceite lubricante	1174	20%	2520	43%
Motor	Sistema de aire de carga y gases de escape	925	16%	3445	58%
Motor	Sistema de combustible	696	12%	4141	70%
Motor	Sistema de enfriamiento	638	11%	4779	81%
Sistema electro automático de grupo	Automática y control de grupo	428	7%	5207	88%
Sistema electro automático de grupo	Generador	290	5%	5497	93%

Tabla 2.3 Relación de sistemas y subsistemas y sus fallas

Sistema	Subsistema	Total fallas	% Total fallas	Acumulado	% Acumulado
Sistema electro automático de grupo	Sistema eléctrico de grupo	220	4%	5717	97%
Sistema eléctrico de batería	Celda e interruptor	57	1%	5774	98%
Sistema eléctrico de batería	Contenedor de control central	43	1%	5817	98%
	Panel de control, automática e instrumentación	39	1%	5856	99%
Sistema eléctrico de batería	Sistema de tierra y pararrayos	22	0%	5878	99%
Sistema eléctrico de batería	Transformadores	10	0%	5888	100%
Sistema eléctrico de salida de Planta	Celda e interruptor	9	0%	5897	100%
Sistema eléctrico de salida de Planta	Panel de control, automática e instrumentación	6	0%	5903	100%
Sistema eléctrico de salida de Planta	Resistencia de aterramiento neutro	4	0%	5907	100%
Sistema eléctrico de salida de Planta	Sistema de CD	2	0%	5909	100%
Sistema eléctrico de salida de Planta	Sistema de tierra y pararrayos	2	0%	5911	100%
Sistema eléctrico de salida de Planta	Transformadores	1	0%	5912	100%

Tabla 2.3 Relación de sistemas y subsistemas y sus fallas (Continuación)

De esta manera se aprecia que solamente el sistema del motor tiene el 81 % de las fallas en 5 años de explotación.

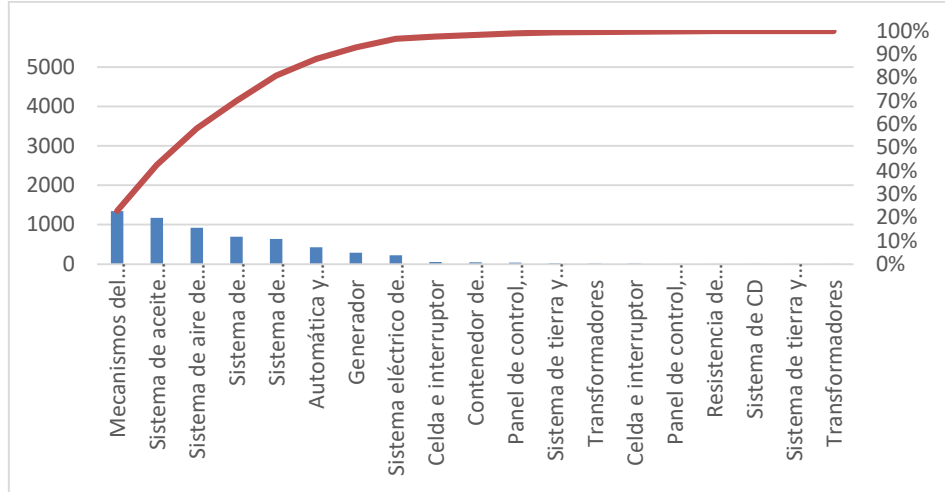


Figura 2.4 Diagrama de Pareto

2.3.2 Aplicación del análisis causa efecto en los motores MTU 54000G81

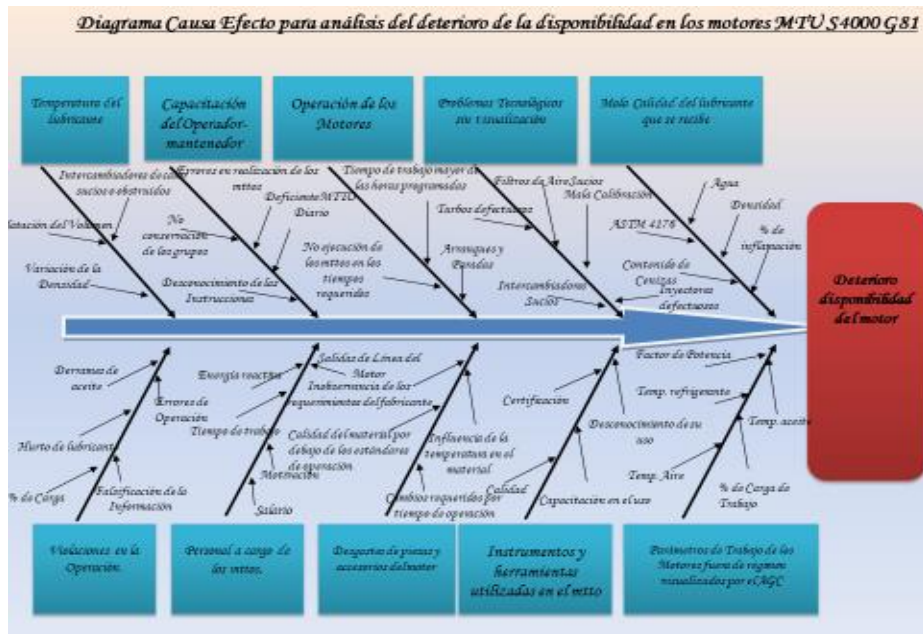


Figura 2.5 Diagrama causa y efecto.

2.4 Caso de estudio. Trabajos de diagnóstico y determinación del estado técnico

Para continuar el análisis es seleccionado mediante un muestreo simple al azar el grupo 4 de la batería 3 de los de la CDE Holguín 220 KV.

En el momento de realizar el diagnóstico posee 9400 horas de trabajo por operación, pero por el MDEC del motor tiene ya 10769 horas.

2.4.1 Informe técnico de todas las acciones realizadas durante el diagnóstico

Pasos a seguir para realizar el estudio

1. Inspección visual del motor/generador y sus agregados.
2. Puesta en servicio del grupo (comprobando que cumple con los requisitos técnicos) prueba en vacío (10 minutos como máximo) y al 75 % (1 hora mínimo) acorde al protocolo de pruebas registrando y grabando en cada etapa los parámetros del grupo que ofrece el MDEC.
3. Realizar descarga de datos del MDEC, DEIF y realizar análisis de cargabilidad del motor con análisis de porcentaje y tiempo en los rangos especificados por la norma ISO 3046-1, calcular las horas totales al vacío, determinar la potencia promedio de operación y gráfico de cargabilidad según instrucción UJ-IG 0120.
4. Evaluar la condición de la bomba de alta presión de combustible.
5. Realizar medición de vibraciones al conjunto motor-generador.
6. Revisión del estado del dispositivo de aterramiento de corrientes parásitas.

Paso 1

Se tomaron imágenes del estado del contenedor, estado del piso, insulación, panel eléctrico, tubo de escape y electro-ventiladores.



Figura 2.6 Estado de electroventiladores

En la figura 2.6 se muestran los electroventiladores, cabe indicar que los mismos han ido perdiendo la curvatura de los cables de entrada a la caja de conexiones del mismo algo que provoca entrada de agua u otro liquido de tener la prensaestopa dañada para el bobinado. En este caso se realizaron pruebas de aislamiento y todo estaban por encima de los 100 MOhm.



Figura 2.7 Radiador de refrigerante del circuito de alta temperatura

Tal como se ve en las figuras 2.7 y 2.8 el estado de los radiadores es malo, los mismos han perdido las aletas de sujeccion y guias de circulacion del aire entre las venas de los paneles.



Figura 2.8 radiador de refrigerante del circuito de baja temperatura

En la proxima figura vemos el tubo de escape, podemos apreciar que el mismo muestra falta de mantenimiento y pintura especifica para soportar altas temperaturas, por lo que vemos ya una oxidacion por la parte superior del mismo, se estudia cambio del proyecto para modificar el escape y asi mejorar el flujo de los gases de escape.



Figura 2.9 Tubo de escape

Realizamos revision al panel de grupo, detectando varios contactores magneticos faltos de mantenimiento, se les aplica un lavado con liquido lubricante dielectrico.



Figura 2.10 panel de control de grupo

Las baterías de arranque y servicio de 24 volt para la automática se encontraban en buen estado como se muestra en la figura siguiente.



Figura 2.11 cajon de las cuatro baterías de 12 volt

La bomba de recirculación del líquido refrigerante de la caja de precalentamiento para mantener el motor con temperatura apropiada para el arranque esta en condiciones optimas para el funcionamiento (figura 2.12).



Figura 2.12 Circuito de precalentamiento del motor

Paso 2

Se realiza prueba del grupo con arranque incluido para evaluar los parámetros técnicos de los valores de salida los mismos se reflejan a continuación en la tabla 2.4.

Presión de aire de carga (bar)	1	
Temperatura de aire de carga (°C)	39.1	
Presión de aceite (bar)	5.7	
Temperatura de aceite (°C)	71.4	
Presión de combustible (bar)	6.6	
Temperatura del combustible (°C)	39.1	
Por ciento (%) de inyección y valor de la medición (mm ³ /H)	27.3	158
Temperatura de líquido refrigerante (°C)	70	
Por ciento (%) de cargabilidad del motor.	69%	
Presión en cárter (mbar)	-3.4	

Tabla 2.4 valores del motor en vacío, que es prueba del grupo sin carga establecida por el generador.

Se observan buenas condiciones técnicas en el motor durante el trabajo en vacío.

Al 75% de carga el motor presenta buenos parámetros técnicos, no obstante, se nota un ligero incremento del valor temperatura del lubricante que en caso de tener un trabajo intenso que lleve más de 6 horas de operación el mismo puede llegar a distorsionarse

Presión de aire de carga (bar)	2.8	
Temperatura de aire de carga (°C)	57	
Presión de aceite (bar)	5.5	
Temperatura de aceite (°C)	90.4	
Presión de combustible (bar)	6.5	
Temperatura del combustible (°C)	44.8	
Por ciento (%) de inyección y valor de la medición (mm ³ /H)	65.6	381
Temperatura de líquido refrigerante (°C)	84.3	
Por ciento (%) de cargabilidad del motor.	69%	
Presión en cárter (mbar)	-1	

Tabla 2.5 valores del motor en vacío, que es prueba del grupo sin carga establecida por el generador.

Se comprueba mediante el manómetro de columna de agua, los valores de la presión en el cárter, desde el momento del arranque del grupo, observando el valor de la columna desde este momento hasta que culmine la prueba.

Por encima de 0 y hasta más de 5 mbar hay que darle seguimiento al grupo, observar su desempeño y determinar la solución correspondiente, si el valor sobrepasa los más de 5 mbar el motor debe quedar indisponible y es necesario aplicar acciones correctivas para mejorar el valor. Todo esto debido a que al acumular demasiados gases en el cárter es una señal de que algo no está bien en el motor: problemas de aros en pistón, tupición de los conductos de desahogo de los gases, filtros de purgas sucios o faltos de recambio, etc.



Figura 2.15 medición de la columna de agua con el motor sin carga o al vacío.

En la figura 2.15 se muestra la medición estando todo en orden, aquí se puede apreciar que está en más de 1 mbar.

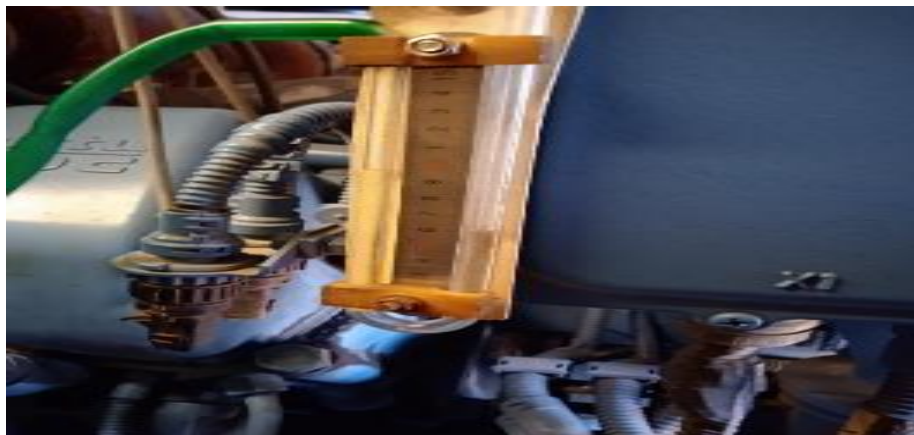


Figura 2.16 medición de la columna de agua con el motor al 75% de la carga.

Según el protocolo establecido, se comprueba el comportamiento de la presión en el cárter, térmicamente el motor trabaja en parámetros. El motor es estanco.

Paso 3

En los casos que los motores presentan alguna alteración en las horas de Operación del MDEC se debe explicar la causa y dejar evidencia de la orden de trabajo por la cual se atendió dicha anomalía, como en este motor no hubo alteración por esta causa se le realiza perfil de carga para tener claridad en los distintos perfiles de carga aprobados cual ha sido el más utilizado.

Para ello primeramente aplicamos la formula siguiente:

$$\% \text{ Horas en vacío} = \sum \text{T tiempo en } \frac{\text{vacío} \left(\text{menos de } \frac{100 \text{ mm}^3}{\text{H}} \right)}{\text{Horas ECU} (\text{Horas totales})} * 100 \quad (2.1)$$

En concordancia con los valores recibidos el % Horas en vacío es igual a 2,7% teniendo una evaluación de regular ya que este porcentaje debe estar por debajo de uno, esto indica que el motor en su vida útil ha gastado casi el 3% de sus horas de operación sin producir energía algo que atenta contra la eficiencia del mismo.

Después hallamos la potencia promedio de operación con la formula siguiente:

$$\text{Cargabilidad} = \sum_{50}^{600} \frac{\text{mm}^3}{\text{H}} * t1 (\text{mm}^3 / \text{ciclo horas}) \quad (2.2)$$

La misma da un valor de 69%, evaluándose de bien, ya que la proporcionalidad que existe entre la cargabilidad promedio y la cargabilidad a Potencia nominal está por encima de 50%, aquí el motor ha sido eficiente.

Continuando el estudio se halla el perfil de carga como se muestra en la figura 2.17, este grafico muestra la cantidad de horas trabajadas en relación con la cantidad de milímetros cúbicos por hora trabajada de consumo de combustible (mm^3/H), aquí vemos que teniendo $375 \text{ mm}^3/\text{H}$ es donde más recurso horario a consumido coincidiendo con el 75% de cargabilidad del motor. Este parámetro es muy importante para la reparación capital del grupo pues si se ha violado el perfil de carga el fabricante MTU no acepta la garantía. [Manual GDECU, 2009]

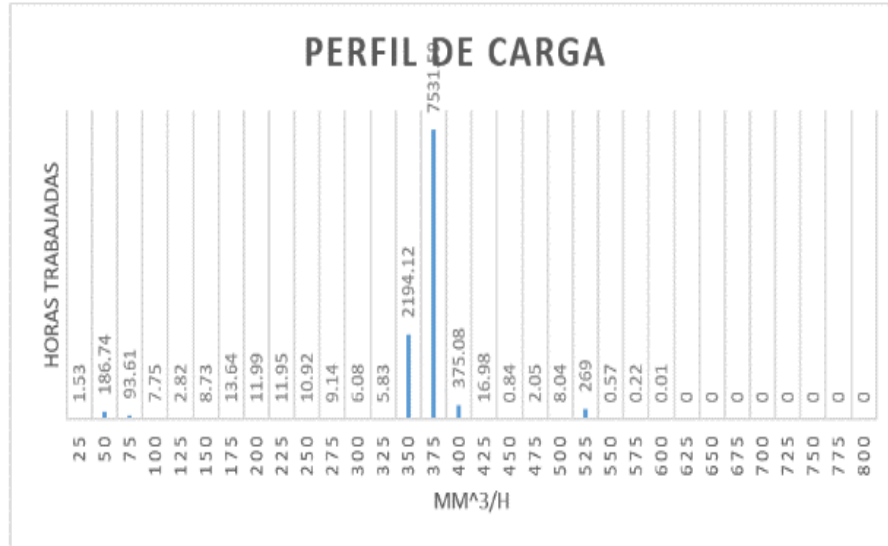


Figura 2.17 Grafico del perfil de carga del motor.

Se analiza la estadística de las alarmas históricas como complemento de la evaluación del estado del motor y se profundiza en los últimos eventos de alarmas prestando especial atención a:

- Parada de emergencia por baja presión de aceite.
- Parada de emergencia por baja presión de combustible.
- Parada de emergencia por alta temperatura de líquido.
- Parada de emergencia por sobre velocidad.

Este motor se llega a la conclusión que ha trabajado de acuerdo a lo establecido por el fabricante.

Error number	Error name	Count
3	L1 T-FUEL	0
5	L1 T-CHARGE AIR	1
9	L1 T-INTERCOOLER	19
15	L1 P-LUBE OIL	0
16	L2 P-LUBE OIL	0
44	L1 LEVEL INTERCOOLER	0
45	L2 LEVEL INTERCOOLER	288

Tabla 2.6 Principales estadísticas de las alarmas amarillas y rojas dadas por el MDEC

Error number	Error name	Count
51	L1 T-LUBE OIL	164
52	L2 T-LUBE OIL	0
65	L1 P-FUEL	169
66	L2 P-FUEL	1
67	L1 T-COOLANT	6
68	L2 T-COOLANT	8
82	RAIL PRESSURE HIGH	0
83	RAIL PRESSURE LOW	0
30	ENGINE OVERSPEED	3

Tabla 2.6 Principales estadísticas de las alarmas amarillas y rojas dadas por el MDEC
(Continuación)

Paso 4

Mostrar evidencia de los parámetros a través de la descarga del MDEC mediante una foto donde se muestran los parámetros, el goteo de orificio de descarga será a criterio.

<i>Corrientes de solenoide (mA)</i>	1216
<i>Presión de Common Rail (bar)</i>	1200
<i>Goteo del orificio de descarga en un día</i>	<i>Se resume levemente en la hora de prueba.</i>

Tabla 2.7 valores de la corriente de solenoide de la bomba de alta presión de combustible

Por los parámetros analizados en el histórico de alarmas, los valores de corriente en el solenoide, la presión en el Rail y la observación del delator, la bomba de alta presión tiene buenas condiciones técnicas.

Paso 5

Según la norma ISO 8528-9 se recomiendan los sitios de medición de los motores de combustión interna en las localizaciones vistas en la figura 2.18. [Manual GDECU, 2009]

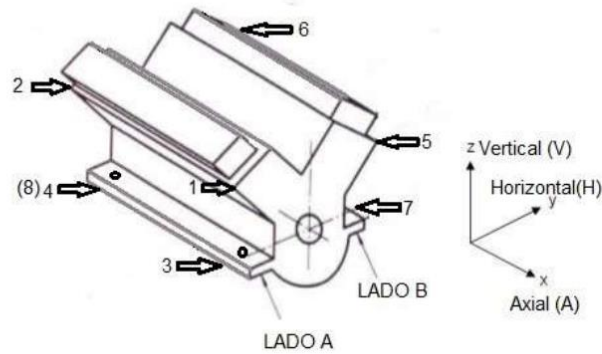


Figura 2.18 Ejemplo de puntos de medición de un motor multicilindro en V [Manual GDECU, 2009]

Se comienza la prueba de vibraciones poniendo en marcha el grupo, cuando alcance valores nominales al vacío o sin carga estables se procede a realizar las mediciones detectando que los valores del motor están todos dentro del rango (figura 2.19), no así en el generador teniendo puntos muy cerca del rango permisible.

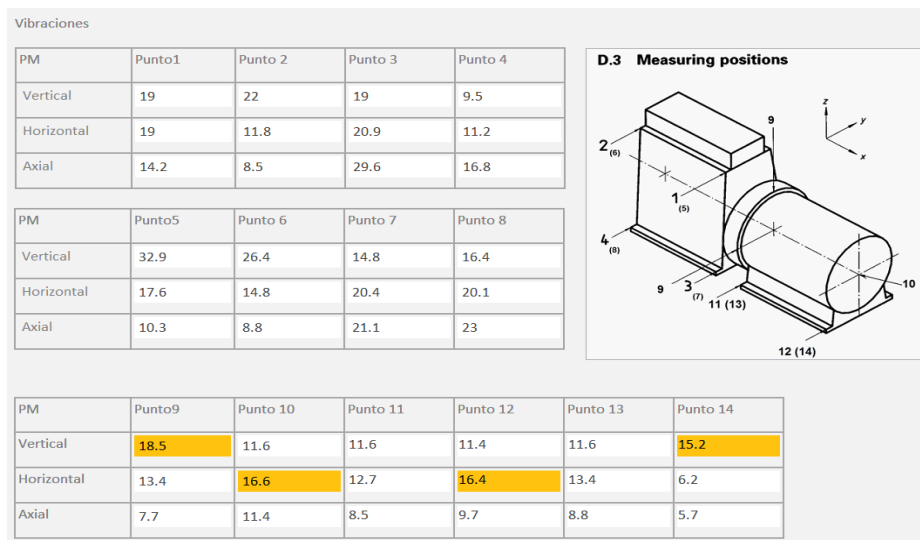


Figura 2.19 valores de los puntos de medición de vibración en el motor generador al vacío o sin carga

Se realiza la medición de vibraciones y se detecta que en el punto 10 está en valores límites, (posible causa que: la altura de los calzos a pesar de que están en valores permisibles el punto B3 está por debajo de los demás en el generador llegando a provocar que el mismo tenga un efecto de balanceo horizontal y axial, no obstante, los demás valores están dentro de la instrucción y dentro del rango.

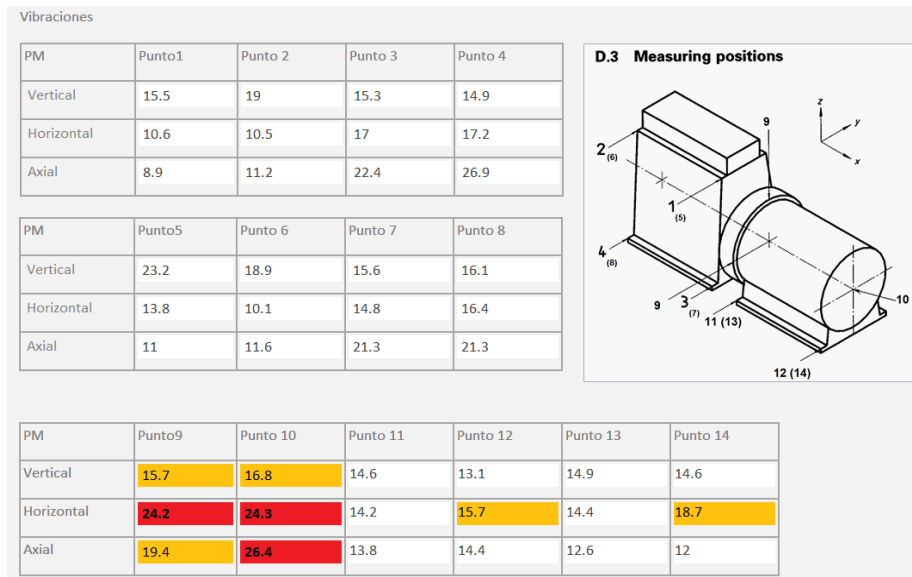


Figura 2.19 valores de los puntos de medición de vibración en el motor generador al 75% de carga

Los valores son aceptables cuando para el motor, según la norma ISO 8528-9, deben ser menores que 45 mm/s y para el generador menor que 20 mm/s.

También se realiza revisión y medición de los calzos del motor y el generador (mm). En caso de los calzos encontrarse fuera de parámetros, se valora el estado del grupo teniendo en cuenta las mediciones en cada punto y decidir o no la intervención del mismo para corregir el problema.

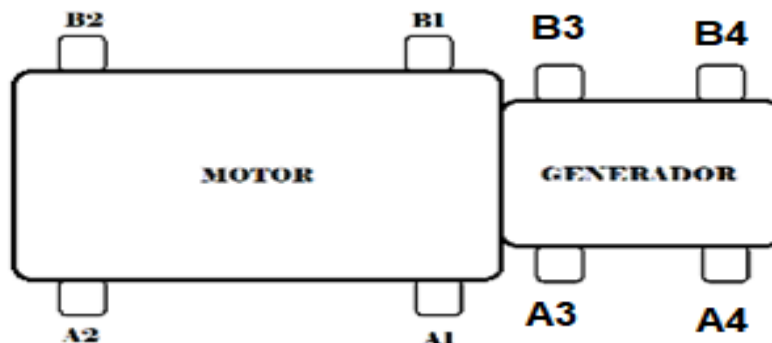


Figura 2.20 señalización de los puntos de medición de calzos en el motor generador [Manual GDECU, 2009]

El punto de medición del calzo se mide con pie de rey desde la base del bastidor hasta la base de la pata del motor como se muestra en la figura 2.21.

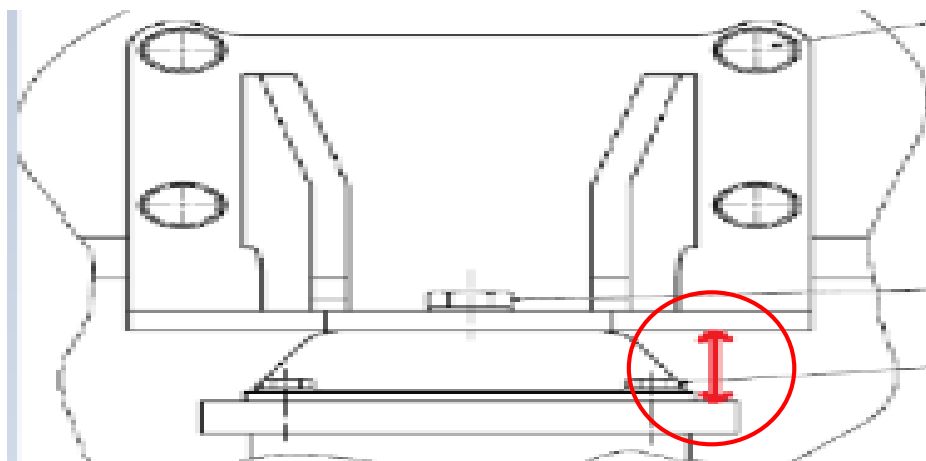


Figura 2.21 señalización de la forma de medir desde la base del calzo hasta el soporte del motor [Manual GDECU, 2009]

Se muestra a continuación la evidencia fotográfica del instrumento en el momento de la medición (8 calzos), se calcula el valor medio de altura de los calzos del motor/ generador y se saca el índice de inclinación.









Motor			
A1	A2	B1	B2
			
Generador			
A3	A4	B3	B4
			

Tabla 2.8 Evidencia fotográfica de las mediciones en cada calzo del motor generador

Al realizar este procedimiento cada valor queda reflejado en la tabla 2.9 donde los valores para este tipo de motor deben estar por encima de 47 mm, así que podemos apreciar que el calzo del punto A2 está muy por debajo indicando esto que existe inclinación y por ende también pudiera dar vibraciones, aunque en las pruebas anteriores no haya dado signos de esta anomalía.

Motor				Generador			
A1	A2	B1	B2	A3	A4	B3	B4
47.9	46.5	52.8	50.5	49.6	49.5	47.7	49.8

Tabla 2.9 valores en mm de cada punto de medición de los calzos

Por tanto, llegamos a la conclusión de que el motor esta con una leve inclinación para el generador teniendo este al cigüeñal del motor presionado hacia abajo con peligro de daños severos, en la tabla 2.10 se muestran estos valores.

Promedio calzos motor (mm)	49.43
Promedio calzos generador (mm)	49.15
Índice de inclinación (mm)	0.28
Desviación estandar 8 calzos	1.94
Diferencia entre Xmed-Xmin	2.79
Diferencia entre Xmed-Xmax	3.51
Xmax-Xmin	6.30

Tabla 2.10 valores de los índices de inclinación

Debido a este estudio se determina que el Calzo A2 está por debajo de la deflexión estática establecida, la desalineación no es considerable. Aunque se deben sustituir los calzos A2 y B1.

Paso 6

Primeramente, se realiza el desmontaje de este dispositivo del cigüeñal del motor. Cabe decir que el mismo mantiene el cigüeñal del motor libre de corrientes parasitas que puedan circular, debido al generador y también de los distintos puntos de aterramientos en los contenedores en general.

Se hace medición en conexión a tierra del dispositivo, y se comprueba el estado de rodamiento y escobillas, contacto de esta con el cigüeñal, así como el contacto del pin con la tapa del dispositivo.

Es necesario desarmar el dispositivo o grounding device (dispositivo de tierra) y mostrar sus partes quedando evidencia del mismo.



Figura 2.22 vista del dispositivo ya sin las escobillas y su tapa

Se desarmó el dispositivo, se revisó el estado del rodamiento, escobillas y colector estando todo en buenas condiciones técnicas como se muestra en las figuras 2.22 y 2.23.



Figura 2.23 Tapa y escobillas del dispositivo

Al final se evalúa su estado de bueno ya que cumple con las especificaciones establecidas de operación.



Figura 2.24 Dispositivo desarmado completamente, fijese la estrella de acople al cigüeñal

2.5 Carta de soluciones a fallos más significativos

Teniendo como referencia todos estos análisis realizados anteriormente, se definió realizar una carta de soluciones a los fallos más significativos ya que el manual del fabricante en sus instrucciones de servicio no contempla las fallas que por la operación y desgaste de piezas y recursos no debían estar en utilización.

Sistema	Subsistema	Parte dañada	Diagnóstico Preliminar o manifestación de la falla	Método de solución
Motor	Mecanismos del motor	Frente de distribución	no arranca el motor, salidero de aceite por el amortiguador de vibraciones	Revisión bomba de alta presión de combustible, del estado de los engranes al árbol de levas, cambio de la BAP de combustible si fuera necesario al detectar que el fusible mecánico esta ido.
Motor	Sistema de aire de carga y gases de escape	Turbo compresor	Abundante humo blanco y fuertes chispas por el escape.	Reposición del turbocompresor, revisión de los manguitos de goma, revisión de los filtros de aire.
Motor	Mecanismos del motor	Cilindro, pistón, aros y biela	Abundante humo blanco, y ruido en el motor.	aplicar bien el procedimiento de calibración, realizar revisión del sistema de inyección que permita tener una buena combustión.

Tabla 2.11 Propuesta de carta de soluciones a fallos.

Sistema	Subsistema	Parte dañada	Diagnóstico Preliminar o manifestación de la falla	Método de solución
Motor	Sistema de aceite lubricante	Bomba adosada aceite	Alarma 1490, baja presión de aceite.	Realizar instrucción de desbloqueo de alarma 1490 establecida por la UNE, revisar el sensor de presión de aceite en caso necesario cambiar, revisar válvula de sobrepresión de la bomba de aceite del Carter, revisar que los filtros tras un mantenimiento realizado estén bien instalados.
Motor	Sistema de aceite lubricante	Intercambiador aceite-agua	Alta Temperatura de Aceite	Lavado de los intercambiadores, revisar operación de los electro ventiladores del sistema de enfriamiento, realizar análisis de la composición del lote del aceite que se utilizó en el mantenimiento,
Motor	Sistema de aire de carga y gases de escape	Enfriador de aire de carga	Alta temperatura del aire de carga y alta temperatura del intercooler.	Limpieza del intercooler, limpieza del radiador primario, revisión de los electro ventiladores.
Motor	Sistema de aceite lubricante	Filtro centrífugo	Botó aceite por la tapa del gollete por sobrepresión en el cárter.	limpieza del sistema de purgas de los gases del cárter, cambio de los filtros si fuere necesario, realizar modificación del sistema de purgas.
Motor	Mecanismos del motor	Colector de corrientes parásitas	disipador de corrientes parásitas averiado	realizar revisiones periódicas cada 350 horas de trabajo, estado de las escobillas y del rodamiento, en caso necesario engrase y cambio del rodamiento cada 3000 horas de operación.
Motor	Sistema de aire de carga y gases de escape	Tuberías, mangueras, bridas y presillas	Compensador del tubo de escape perforado.	Cambio del compensador, lograr que en el volumen de trabajo de los mantenimientos cada 3000 horas sea revisado, lograr que el escape al ser cambiado sea instalado con calidad, este bien alineado y su peso descansa en el contenedor del grupo y no en el compensador.
Motor	Mecanismos del motor	Correa y polea	Correa y poleador del alternador defectuosa.	el poleador es un engrane directo al bloque de distribución del motor, el mismo debe realizársele revisiones cada 1000 horas de trabajo, desacoplando del lugar y evaluar estado de los rodamientos e engranes, ante cualquier inconformidad cambiar los rodamientos.

Tabla 2.11 Propuesta de carta de soluciones a fallos. (Continuación)

Sistema	Subsistema	Parte dañada	Diagnóstico Preliminar o manifestación de la falla	Método de solución
Motor	Sistema de aire de carga y gases de escape	Filtro de aire	Echó humo negro, al parecer filtro de aire defectuoso.	Cambio del filtro de aire, revisar posibles salideros de escape, hermeticidad del contenedor.
Motor	Sistema de aire de carga y gases de escape	Tuberías, mangueras, bridas y presillas	Escape de aire por el múltiple de escape.	Cambio del múltiple, lograr que en el volumen de trabajo de los mantenimientos cada 3000 horas sea revisado, lograr que el múltiple al ser cambiado sea instalado con calidad, este bien alineado.
Motor	Mecanismos del motor	Block	Salida de refrigerante por culata	desarme de la culata, realizar limpieza de la parte dañada en el block, taladrar profundizando, lijar y aplicar pegamento a base de epóxico para metales, volver a lijar y cerrar(cambiar junta de culata) lograr que el aire del sistema de refrigerante sea purgado con eficiencia ante cavitaciones por presentar aire en el mismo)
Motor	Mecanismos del motor	Árbol de levas	Golpe en el motor	Realizar revisión y apriete del soporte del árbol de levas, cambio si fuere necesario.
Motor	Mecanismos del motor	Cigüeñal, rodamientos y amortiguador de vibraciones	Rodamiento del tensor de la correa del motor al ventilador defectuosa	Cambio del rodamiento, modificar el tiempo de engrase del mismo, realizar a
Motor	Sistema de aceite lubricante	Tuberías, mangueras y presillas	Salidero por descarga del turbo compresor	cambio del turbocompresor, realizar estudio de cómo recuperar este componente en el país.
Motor	Mecanismos del motor	Mecanismo. de accionamiento de válvulas y culata	Soporte de varilla empujadora del cilindro partida, salidero de aceite por junta de tapa de balancines, apriete de los balancines de válvulas.	buen aplicación de la instrucción de calibración, buena selección del material para juntas, realizar apriete con los torques adecuados.
Motor	Sistema de aceite lubricante	Tuberías, mangueras y presillas	Tuberías de aceite partida.	realizar revisiones periódicas buscando estanqueidad de este sistema, controlar que en los volúmenes de los mantenimientos se realicen controles a todas las tuberías.

Tabla 2.11 Propuesta de carta de soluciones a fallos. (Continuación)

CONCLUSIONES

Todos los elementos, piezas o agregados tienen un ciclo de vida útil, si concluido este ciclo no se sustituyen por nuevos, hay una pérdida en la confiabilidad del Grupo Electrónico Diésel y la pérdida de la función de estos elementos, piezas o agregados generan afectaciones colaterales al mismo, al medio ambiente y al hombre que pueden ser más costosas que la sustitución del elemento.

La recuperación de piezas de repuesto es una vía importante para la sustitución de importaciones, pero no puede ser realizada por métodos no identificados y aprobados en la documentación técnica, y quedan excluidas de la política de piezas de repuesto a utilizar.

Existe un grupo de piezas de repuesto de los equipos que son reparables de acuerdo a la tecnología, si las mismas no han superado los límites de desgastes especificados por los fabricantes.

La reparación o recuperación de estas piezas está basada en la sustitución de sus partes por otras nuevas, en otros casos las partes se reacondicionan. Los talleres donde se reparen o recuperen estas piezas o agregados, deberán tener definidos las normas, instrucciones o procedimientos para realizar su ejecución.

RECOMENDACIONES

Como posibles mejoras de los procesos productivos de estos tipos de grupos electrógenos que permitirían optimizar los balances energéticos hemos considerado lo siguiente:

- Continuar los estudios para lograr mejorar significativamente los procesos de operación y mantenimiento que tanta importancia tienen en la vida útil de la tecnología.
- Que haya más vinculación entre la UHo y la UEB Geysel Holguín para que existan medios para que los estudiantes y trabajadores en conjunto incidan en la solución directa de cualquiera de las problemáticas tratadas en este estudio.
- Que exista una vinculación con algunas empresas del territorio, para que proyectos de cualquier índole en función de aplicar las mejoras a fallas detectadas sean llevadas a la realidad. (Fabrica 26 de Julio, Fabrica de combinadas Cañeras KTP, Fábrica de Motores TAUBA, Empresa Mecánica del Níquel, otros)
- Realizar capacitaciones a todos los técnicos y especialistas de las Áreas de O&M de la UEB Holguín.

BIBLIOGRAFIA

1. Technical publication, Motor Diésel 16 V 4000 G81. Instrucciones de Servicio Motor Diésel, M015462/00S. Alemania 2005.
2. Technical publication, Motor Diésel 16 V 4000 G81. Descripción del funcionamiento, M013012/02S. Alemania 2005.
3. Technical publication, Motor Diésel 16 V 4000 G81. Prescripciones de las Materias de Servicio, A001061/29S. Alemania 2005.
4. Material de Estudio, 2006.
5. Material UEB. Funciones de la Unidad Empresarial de Base de Generación Distribuida. Consultado a los Especialistas de Recursos Humanos de la Empresa. s/f.
6. Zaldívar Salazar, Mario Clemente, y otros. Las máquinas agrícolas en el escenario del proceso de innovación tecnológica. Editorial Tecnológica de Costa Rica 2009.
7. Manual de GDECU (Generación Distribuida de Electricidad Cubana,) Editado Ing. Silvio Dorta Herrera, Ing. Julio Cesar Ruíz Gallardo, mayo de 2009.
8. Manual de gestión GEYSEL, mantenimiento a grupos electrógenos diésel. Editado Ing. Ernesto Prado González, Ing. Iohann Rafull Suárez, marzo de 2010.