

**APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)  
AL GRUPO ELECTROGENO CATERPILAR 3412C UTILIZADO EN TALADROS  
DE PERFORACIÓN**

**NATHALY AMEZQUITA BRICEÑO**

**OSCAR LEONARDO ORTIZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2017**

**APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)  
AL GRUPO ELECTROGENO CATERPILAR 3412C UTILIZADO EN TALADROS  
DE PERFORACIÓN**

**NATHALY AMEZQUITA BRICEÑO**

**OSCAR LEONARDO ORTIZ**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en gerencia de mantenimiento**

**Director**

**NORY BERMEO LEITON**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**BUCARAMANGA**

**2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero Nory Bermeo Leiton director del proyecto e Ingeniero Jimmy Rojas Asesor de Energía Petróleo & Gas de GECOLSA CATERPILAR por la confianza depositada, dedicación y enseñanza.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica por ser nuestros mentores en el proceso de formación como especialista en gerencia de mantenimiento.

## **DEDICATORIA**

*Dedicado en primer lugar a Dios por ser mi guía.  
A mi madre Lilia Salamanca de Ortiz por su esfuerzo, sacrificio, fuerza en  
momentos duros, Apoyo y consejos  
que nos hicieron salir adelante.  
A mi padre por su colaboración, compañía  
a lo largo de mi vida  
A mi hija quien estuvo a mi lado en los momentos difíciles y  
Ayudándome a continuar.  
A todos mis amigos, ingenieros, jefes que me apoyaron en tan grande reto.*

*Oscar Leonardo Ortiz Salamanca.*

## **DEDICATORIA**

*Dedicado en primer lugar a Dios por ser mí guía.*

*A mis padres por enseñarme que se puede conseguir cualquier meta y apoyarme en todo momento.*

*A Jaime por su gran amor, compañía e infinita paciencia.*

***Nathaly Amezquita Briceño***

## **CONTENIDO**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>23</b>
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	20
1.1.1 Objetivo General.	20
1.1.2 Objetivos Específicos.	20
2. GRUPO ELECTROGENO	21
2.1 GENERADOR O ALTERNADOR	21
2.1.1 Rotor	22
2.1.2 Estator	23
2.1.3 Excitador	24
2.1.4 Regulador de voltaje	24
2.1.5 Regulador de velocidad	25
2.2 MOTOR DIESEL DE CUATRO TIEMPOS	26
2.2.1 Sistema de admisión de aire	26
2.2.2 Sistema de escape	27
2.2.3 Sistema de combustible	28
2.2.4 El sistema de lubricación de un motor	29
2.2.5 Sistema de enfriamiento	30
2.2.6 Sistema eléctrico	31
3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.	33
3.1.1 Ventajas de RCM.	35
3.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA METODOLOGIA RCM.	36
3.3 LAS SIETE PREGUNTAS UTILIZADAS EN LA METODOLOGÍA RCM.	37
3.4 FUNCIONES DEL RCM.	38

3.4.1	Funciones primarias.	38
3.4.2	Funciones secundarias.	39
3.4.3	Parámetros de Funcionamiento	39
3.4.4	El contexto operacional	40
3.5	FALLAS FUNCIONALES.	41
3.5.1	Falla Total.	41
3.5.2	Falla Parcial.	41
3.6	ANÁLISIS Y MODOS DE FALLAS.	42
3.6.1	Categorías de modos de falla	42
3.6.2	Cantidad de Detalle	43
3.7	EFFECTOS DE LAS FALLAS.	44
3.8	CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS.	45
3.8.1	Funciones ocultas y evidentes	46
3.8.2	Fallas ocultas y dispositivos de seguridad	46
3.8.3	Prevención de la falla oculta	47
3.9	TAREAS PROACTIVAS	47
3.9.1	Factibilidad técnica y merecer la pena	48
3.9.2	Fallas potenciales	48
3.9.3	Tareas de reacondicionamiento cíclico	50
3.9.4	Tareas de sustitución cíclica	51
3.9.5	Selección de tareas proactivas	53
3.10	ACCIONES “A FALTA DE”	55
3.10.1	Búsqueda de falla y fallas múltiples	55
3.10.2	Aspectos técnicos de la búsqueda de falla	55
3.10.3	Conceptos Asociados al análisis de confiabilidad	56

3.10.4 Factibilidad técnica de búsqueda de falla	57
3.10.5 Ningún mantenimiento programado	58
3.10.6 Rediseño	58
4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM	59
4.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA Y DEFINICIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL.	59
4.1.1 Definición de fronteras	59
4.2 CONTEXTO OPERACIONAL	59
4.2.1 Generador	61
4.2.2 Motor de combustión interna	61
4.3 DEFINICION DE FUNCIONES	63
4.4 ANALISIS DE EFECTOS Y MODOS DE FALLA	65
4.5 ARBOL LOGICO DE DECISION	89
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	117
5.1 PLAN DE MANTENIMIENTO GRUPO ELECTROGENO 3412C	117
6. CONCLUSIONES	121
BIBLIOGRAFÍA.	123

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Representación gráfica del rotor de un generador síncrono.	23
Figura 2. Representación gráfica del estator de un generador síncrono.	23
Figura 3. Representación gráfica del excitador de un generador síncrono.	24
Figura 4. Funcionamiento del AVR en sistema de excitación sin escobillas. Turbomotores, AVR	25
Figura 5. Representación gráfica de un sistema de control velocidad en carga constante. Turbomotores, Gobernadores	25
Figura 6. Diagrama esquemático del flujo de aire.	27
Figura 7. Diagrama esquemático del sistema de combustible.	28
Figura 8. Diagrama esquemático del sistema de lubricación.	29
Figura 9. Diagrama esquemático del sistema de enfriamiento.	31
Figura 10. Diagrama esquemático del sistema de eléctrico.	32
Figura 11. Pasos del RCM	35
Figura 12. Parámetros de funcionamiento. Moubray, 1997.	40
Figura 13. Categorías de modos de falla. Moubray, 1997.	43
Figura 14. Curva e intervalo P-F. Moubray, 1997.	48
Figura 15. Intervalo P-F Neto. Moubray, 1997.	49
Figura 16. Diagrama del sistema diesel mecánico de un taladro.	60
Figura 17. Hoja de información RCM	65
Figura 18. Hoja de decisión.	89

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Especificaciones del motor 3412C	62
Tabla 2. Clasificación sistemas y funciones	63
Tabla 3. Hoja de información sistema de combustible	66
Tabla 4. Hoja de información sistema de lubricación	69
Tabla 5. Hoja de información sistema de refrigeración	72
Tabla 6. Hoja de información sistema de admisión	75
Tabla 7. Hoja de información sistema de escape	79
Tabla 8. Hoja de información sistema eléctrico	81
Tabla 9. Hoja de información sistema protecciones	83
Tabla 10. Hoja de información sistema de generación eléctrica	86
Tabla 11. Hoja de decisión sistema de combustible	90
Tabla 12. Hoja de decisión sistema de lubricación	96
Tabla 13. Hoja de decisión sistema de refrigeración	98
Tabla 14. Hoja de decisión sistema de admisión	100
Tabla 15. Hoja de decisión sistema de escape	104
Tabla 16. Hoja de decisión sistema eléctrico	105
Tabla 17. Hoja de decisión sistema protecciones	108
Tabla 18. Hoja de decisión sistema generación eléctrica	113

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Hoja de informacion del rcm	126
Anexo B. Diagrama de decision del rcm	127
Anexo C. Hoja de decision del rcm	128
Anexo D. Ficha tecnica grupo electrogeno 3412c	129
Anexo E. Protocolo de pruebas de grupos electrogenos	133
Anexo F. Diagrama de cableado del generador pmpe	134
Anexo G. Inspeccion del generador	135
Anexo H. Pruebas en el campo de excitación – flash	136
Anexo I. Métodos de secado en el generador	138
Anexo J. Prueba de aislamiento	141
Anexo K. Prueba de grupo electrogeno	145
Anexo L. Comprobar varistor	147
Anexo M. Probar devanado	149
Anexo N. Probar rectificador giratorio	151

## RESUMEN

**TÍTULO:** APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD AL GRUPO ELECTRÓGENO CATERPILAR 3412C UTILIZADO EN TALADROS DE PERFORACIÓN

**AUTORES:** NATHALY AMEZQUITA BRICEÑO, OSCAR LEONARDO ORTIZ SALAMANCA<sup>1</sup>.

**PALABRAS CLAVES:** RCM, MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD, GENERADOR, GRUPO ELECTROGENO, GENRADOR 3412C

### DESCRIPCIÓN:

RCM es una filosofía de gestión de mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, y que permite establecer las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, teniendo en cuenta los posibles efectos que originaran los modos de fallo de estos activos a la seguridad, al ambiente y a la operación, el resultado que se puede obtener de esta filosofía depende en gran parte del éxito que se logre de la interacción entre equipo, procesos y el ambiente organizacional. Este trabajo propone, aplicar la metodología Mantenimiento Centrado en confiabilidad, con el fin de mejorar la disponibilidad y la confiabilidad de un generador 3412C y garantizar la operación estable del sistema eléctrico de los taladros de perforación.

La metodología tiene tres etapas. Primero se definen los límites del sistema para incluir todos los subconjuntos, componentes y elementos que se considerarán parte del sistema analizado. Segundo, cada subsistema y subconjunto del sistema se examina en un Análisis de Modos y Efectos de Fallo (FMEA) para determinar los posibles modos de falla con sus fuentes y efectos asociados, Finalmente, utilizando la información identificada en el FMEA, se aplica la lógica de decisión de RCM para definir las tareas de mantenimiento más eficaces que deben realizarse y su frecuencia de ejecución para minimizar el tiempo de inactividad y optimizar el gasto laboral, permitiendo a la organización tomar decisiones más eficientes y con un menor grado de incertidumbre, en las actividades de asignación y distribución de recursos humanos, técnicos y económicos dentro del proceso de gestión del Mantenimiento.

---

<sup>1</sup> \*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Nory Bermeo Leiton, especialista en Gerencia de Mantenimiento

## ABSTRACT

**TITLE:** RELIABILITY-CENTRIFIED MAINTENANCE APPLICATION (RCM) TO CATERPILLAR 3412C ELECTRIC GENERATION USED IN DRILLS

**AUTHORS:** NATHALY AMEZQUITA BRICEÑO, OSCAR LEONARDO ORTIZ SALAMANCA<sup>2</sup>

**KEYWORDS:** RCM, RELIABILITY-CENTRIFIED MAINTENANCE, GENERATOR 3412C

### DESCRIPTION:

RCM is a maintenance management philosophy, in that a multidisciplinary work team is responsible for optimizing the operational reliability of a system operating under defined working conditions, and that allows to establish the most effective activities of maintenance according to the criticality of the assets belonging to that system, taking into account the possible effects that originated the failure modes of these active safety, environment and the operation, the result that can be obtained from this philosophy depends on the success of the interaction between team, processes and the organizational environment. This thesis proposes to apply the Maintenance - centric Maintenance methodology in order to improve the availability and reliability of a 3412C generator and to ensure the stable operation of the electrical system in the drills

The methodology has three stages. First, the boundary of the system under analysis is defined to include all sub-assemblies, components, and piece-parts that would be considered as part of the system under analysis. Second, each sub-system and sub-assembly of the defined system is then examined critically in a Failure, Mode and Effects Analysis to determine potential failure modes with their associated sources and effects. Finally, using the information identified in the FMEA, the RCM decision logic is applied to lead the analyst through to the most effective maintenance tasks to be performed and their frequency of performance to minimize down-time and optimize labour expenditure, allowing the organization to make more efficient decisions and with a lower degree of uncertainty, in the activities of allocation and distribution of human, technical and economic resources in the maintenance management process.

---

<sup>2 \*\*</sup> Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Nory Bermeo Leiton, especialista en Gerencia de Mantenimiento

## INTRODUCCIÓN

En un ambiente tan competitivo como en el que se desenvuelven hoy las empresas, el conocimiento de las últimas técnicas de gestión del mantenimiento siempre constituyen un camino adecuado para alcanzar una mejora en la eficiencia y en la productividad.

En el campo de perforación es frecuente encontrar la utilización de grupos electrógenos en los equipos de perforación rotaria, estos equipos son utilizados para perforar pozos de gran profundidad en el suelo, el uso de estos equipos es de gran importancia ya que son muy utilizados en campos petroleros con el fin de proveer energía mecánica para drenar yacimientos petrolíferos de manera económica y rápida, estos equipos operan con energía eléctrica, la cual en ciertos campos por su ubicación geográfica no cuentan con un sistema eléctrico, por tal razón se usan grupos electrógenos, estos equipos son conjunto entre un motor diésel y generador, el cual suministra energía al sistema eléctrico de los equipos de perforación.

La confiabilidad de los grupos electrógenos es indispensable ya que el paro o fallo del equipo causa un sin número de pérdidas de tiempo en mano de obra, disponibilidad y productividad donde los tiempos de entrega perjudica a los clientes, por tal razón se busca la implementación de una metodología capaz de incrementar la confiabilidad del equipo y garantizar las funciones del grupo electrógeno, minimizando las pérdidas y agilizando el proceso.

Para eso se decide implementar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) que en la industria ha funcionado y se acopla a las necesidades que se tienen en la industria del sector energético.

Con la implementación de este método se pretende evitar y corregir posibles fallas que se pueden presentar en el equipo, ya que al detallar las funciones se pueden implementar rutinas y procedimientos de mantenimiento preventivo que busquen mitigar las pérdidas tanto de tiempo como en producción causadas por fallas generadas; también se busca con la implementación de éste método evitar un mal procedimiento.

La implementación de este método se complementa con la información suministrada por el fabricante y siguiendo cada uno de los cuestionamientos y los pasos a seguir por el método atendiendo cada una de las recomendaciones y analizando los historiales del equipo, involucrando al personal de mantenimiento y operación, esto con el fin de garantizar que el método útil y efectivo.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desviaciones en los costos y tiempos presupuestados para la perforación de pozos petroleros en Colombia pueden llevar a pérdidas económicas en la ejecución de un proyecto de perforación reduciendo la productividad del sector; para una empresa dedicada a prestar servicio de perforación cualquier falla genera retrasos, sobrecostos y desviaciones.

Factores adicionales empeoran la situación como dificultades geográficas donde se encuentran yacimientos y requiere perforar agujeros para extraer petróleo, en la mayoría de casos no hay suministro por redes eléctricas y no cuentan con todos los repuestos necesarios para solventar cualquier reparación. Como repuesta a la carencia de redes eléctricas su utilizan otras formas de generación como los grupos electrógenos impulsador por diésel.

El enfoque es específicamente desde el departamento de mantenimiento en las pérdidas de tiempo y costo de reparación por fallas en los generadores eléctricos que proveen energía al sistema de circulación de lodos y equipo auxiliar de los equipos de perforación. El 7% de las fallas que generan parada del equipo en los últimos tres años en los taladros de un campo petrolero ubicado en el Magdalena Medio, son debido a problemas con el sistema de generación de energía, impactando en los costos de mantenimiento por paradas inesperadas y tiempos de reparación, esto lleva a considerar el desarrollo de una estrategia en la filosofía de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para el sistema comprendido por los generadores eléctricos (motor-generator) y su forma de distribución en los taladros.

## **1.1 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO**

### **1.1.1 Objetivo General.**

Proponer una estrategia de mantenimiento basada en la aplicación de la filosofía RCM para los generadores eléctricos Caterpillar 3412C utilizados en el sector hidrocarburos para suministrar energía a un taladro de perforación mecánico.

### **1.1.2 Objetivos Específicos.**

- Identificar sistemas, partes y componentes del sistema de generación, estableciendo las fronteras donde se aplicará la metodología.
- Identificar y realizar el análisis funcional de los diferentes componentes y sistemas del equipo a estudiar.
- Seleccionar los subsistemas de la generación eléctrica y realizar el análisis de los modos y efectos de falla.
- Realizar la selección de las tareas de mantenimiento utilizando la técnica de diagrama lógico de decisiones de RCM y determinar las frecuencias adecuadas para cada una de ellas.
- Desarrollar la estrategia de mantenimiento centrada en confiabilidad RCM para los generadores eléctricos Caterpillar 3412C que suministran energía a los taladros de perforación para reducir las consecuencias de posibles fallas en los equipos.

## 2. GRUPO ELECTROGENO

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna.

Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico.

Un grupo electrógeno está constituido básicamente por dos partes:

Partes de Potencia.

- Motor
- Generador o alternador

Partes de control

- Regulador automático de voltaje
- Regulador automático de velocidad

### 2.1 GENERADOR O ALTERNADOR

El Funcionamiento básico de un generador se da cuando se mueve a través de un campo magnético y produce voltaje, no existe diferencia si el campo magnético es fijo y el conductor es móvil o viceversa, la única condición válida para la generación de voltaje, es que exista movimiento relativo.

**Funcionamiento básico de un generador sincrónico y componentes principales:** Un generador sincrónico de corriente alterna consta de 4 componentes principales:

- Rotor
- Estator
- Excitador

- Regulador de voltaje

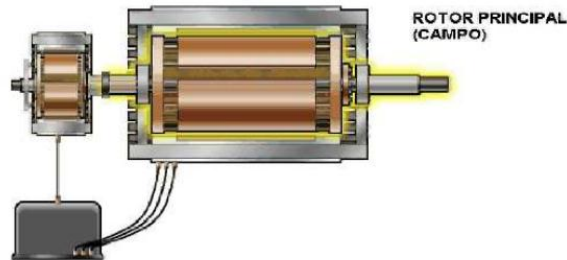
La generación eléctrica se produce cuando el excitador brinda corriente continua a los devanados del rotor, esta corriente al pasar por los conductores, crea líneas de flujo magnético, que a su vez produce voltaje en los devanados del estator cuando hay un movimiento relativo entre ambos es decir (rotor – estator), este movimiento lo realiza el motor, el motor hace girar el rotor del generador. Por último, el regulador de voltaje monitorea este voltaje y controla la corriente del excitador para mantener constante el voltaje generado.

### **2.1.1 Rotor**

Como su nombre lo indica, el rotor es el elemento que gira dentro de un generador, no importe si el elemento conductor gira y se mantiene fijo el campo magnético o viceversa, así que se puede dar el caso que el estator se encuentre girando y el rotor fijo, la dificultad de este sistema es tener una corriente trifásica en un estator que gira, por esta razón los generadores generalmente presentan un sistema de estator fijo y un rotor giratorio.

El rotor contiene polos con devanados enrollados en su alrededor que forman bobinas conocidas como bobinas o devanados de campo, cuya función es crear un campo magnético; dependiendo de las características del generador se diseñan estas bobinas que por lo general contienen cientos de vueltas. Este campo se irradia hacia afuera del motor y gira con el rotor, tiene mayor fuerza en los polos norte y sur donde se concentran las líneas de flujo magnético, la concentración del flujo magnético es proporcional al voltaje producido en los devanados es decir mientras mayor sea la concentración, mayor será el voltaje producido por los devanados.

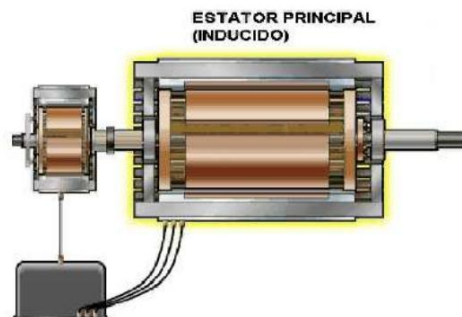
Figura 1 Representación gráfica del rotor de un generador sincrónico. Caterpillar  
(1 – 19)



### 2.1.2 Estator

Como su nombre lo indica, el estator permanece fijo en todos los generadores, consta de un núcleo de hierro y sus devanados, llamados devanados del estator o inducido, estos devanados se encuentran en ranuras a lo largo de la parte interna del estator, el campo magnético producido por el mismo, como resultado los devanados de campo producen voltaje en los devanados del estator. El diseño del núcleo del estator y la distribución de los devanados permiten al generador proporcionar el voltaje de salida apropiado. El número de fases y de voltaje del generador dependen de las características y diseños del mismo, para que un generador sea trifásico, el estator consta de tres bobinas espaciales 120 grados alrededor del mismo, lo cual produce tres voltajes con una diferencia de fase de 120 grados.

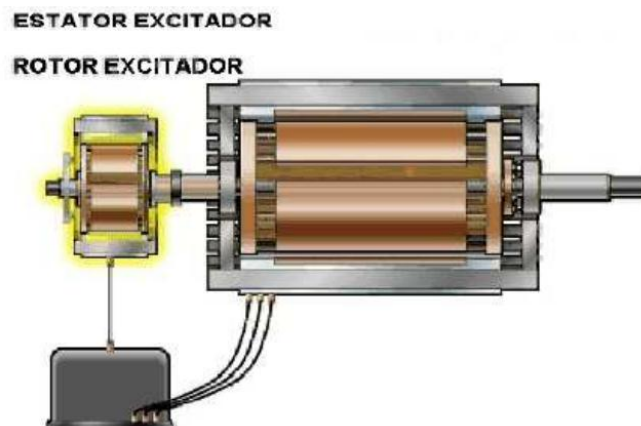
Figura 2. Representación gráfica del estator de un generador sincrónico.  
Caterpillar



### 2.1.3 Excitador

El campo es la parte de una maquina sincrónica y se alimenta por medio de un devanado excitado por corriente continua para producir el fluido magnético; esta estación puede ser proporcionada por un generador de corriente continua para ser proporcionada por un generador de corriente continua autoexcitado y acoplado en el rotor de la maquina sincrónica, a este generador se lo conoce como excitador. En máquinas de baja velocidad con grandes capacidades como es el caso de los generadores de plantas hidroeléctricas, el excitador puede no estar autoexcitado, en lugar de esto un excitador piloto que puede estar autoexcitado o tener un imán permanente activa al excitador principal.

Figura 3. Representación gráfica del excitador de un generador sincrónico.  
Caterpillar (1 – 19)



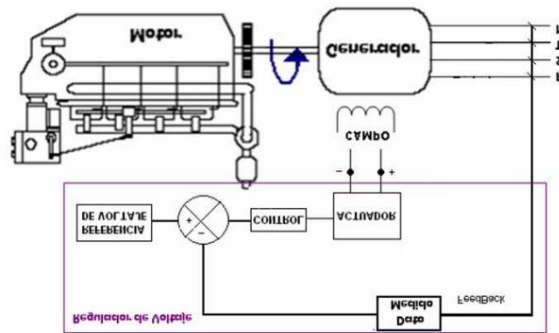
### 2.1.4 Regulador de voltaje

Los reguladores de voltaje (AVR) se utilizan para mantener al grupo electrógeno bajo condiciones óptimas de generación, esto se logra manteniendo el voltaje constante independiente de la carga conectada, actuando directamente sobre el sistema de excitación (excitatriz) aumentando o disminuyendo la cantidad de corriente continua de excitación en dicho campo. El regulador de voltaje está básicamente constituido por una alimentación estática de potencia con un circuito

rectificador controlado, un sistema modular de control y un sistema de arranque temporal siendo todos los elementos estacionarios.

Figura 4. Funcionamiento del AVR en sistema de excitación sin escobillas.

Turbomotores, AVR



### 2.1.5 Regulador de velocidad

El control de velocidad es necesario por que controla los recursos de potencia para convertirlos en fuerza útil. El control de velocidad está dado por un equipo que controla la entrada de energía para una unidad motriz a fin de obtener una determinada potencia, este equipo recibe la información de velocidad y carga de la unidad motriz y ajustando la entrada de energía para mantener un nivel deseado para una determinada aplicación; este equipo puede controlar múltiples parámetros y unidades motrices.

Figura 5. Representación gráfica de un sistema de control velocidad en carga constante. Turbomotores, Gobernadores



## **2.2 MOTOR DIESEL DE CUATRO TIEMPOS**

Se denomina motor de cuatro tiempos al motor de combustión interna diseñado por alemán Otto, para los motores de gasolina y aplicado en los motores diésel, que precisa cuatro carreras del pistón o embolo, por dos vueltas completas del cigüeñal, para completar el ciclo termodinámico de combustión. Estos cuatro tiempos son: Admisión, compresión, combustión o expansión y escape.

### **2.2.1 Sistema de admisión de aire**

El conjunto del sistema de admisión de aire es el encargado de suministrar el aire fresco necesario para una combustión eficiente, y barrer todos los gases quemados del interior de los cilindros. El sistema de admisión de aire consta principalmente de dos elementos: el soplador o blower y el turboalimentado.

En el sistema de admisión de aire, se fuerza una carga de aire desde el exterior a través de un turbo alimentador, que lo comprime y lo entrega a un depurador de aire, donde es tomado por los lóbulos del rotor del soplador o blower donde nuevamente es comprimido y llevado al lado de descarga de éste mismo. El Turbo alimentador está montado en la brida de salida de escape del múltiple de escape del motor. Después de haber arrancado el motor, los gases de escape que fluyen del motor y pasan por la caja de la turbina hacen girar la rueda y el eje de la turbina. La rueda del compresor, la cual está montada en el extremo opuesto del eje de la rueda de la turbina, gira con la rueda de la turbina. La rueda del compresor aspira el aire ambiente a la caja del compresor, comprime el aire y lo entrega al soplador del motor.

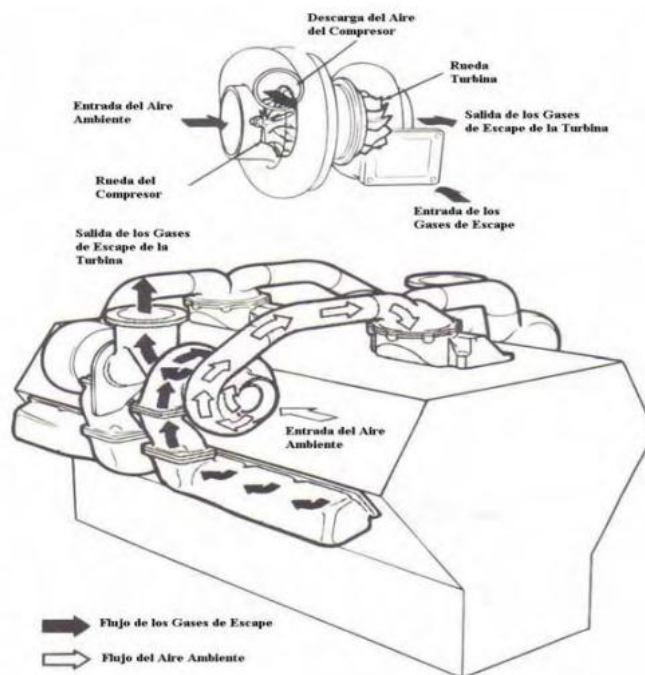
La carga continua de aire fresco del soplador entra a la cámara de aire del bloque de cilindros y barre pasando por los orificios de admisión de las camisas de los cilindros (lumbreras). El ángulo de las lumbreras crea un movimiento uniforme de remolino en el aire de admisión a medida que entra en los cilindros. Este movimiento persiste durante la carrera de compresión y facilita el barrido y la

combustión. Durante la operación el turbo alimentador obedece las demandas de carga del motor reaccionando al flujo de los gases de escape del motor. A medida que aumenta la potencia del motor, aumenta el flujo de gases de escape y la velocidad y el rendimiento del conjunto giratorio aumenta proporcionalmente, haciendo ingresar más aire al motor.

### 2.2.2 Sistema de escape

El sistema de escape de un motor es el encargado de conducir los gases quemados producto de la combustión desde el interior de los cilindros hasta el exterior. Los gases quemados son expulsados por el pistón en su carrera ascendente y salen a través de las válvulas de escape y de ahí al múltiple de escape. Cada cilindro tiene cuatro válvulas de escape, fig. A cada lado del motor se usan dos múltiples de escape. Un solo adaptador en forma de “Y” conecta los múltiples a la tubería de escape para cada banda del motor.

Figura 6. Diagrama esquemático del flujo de aire. Detroit diesel serie 149TI, 1977.

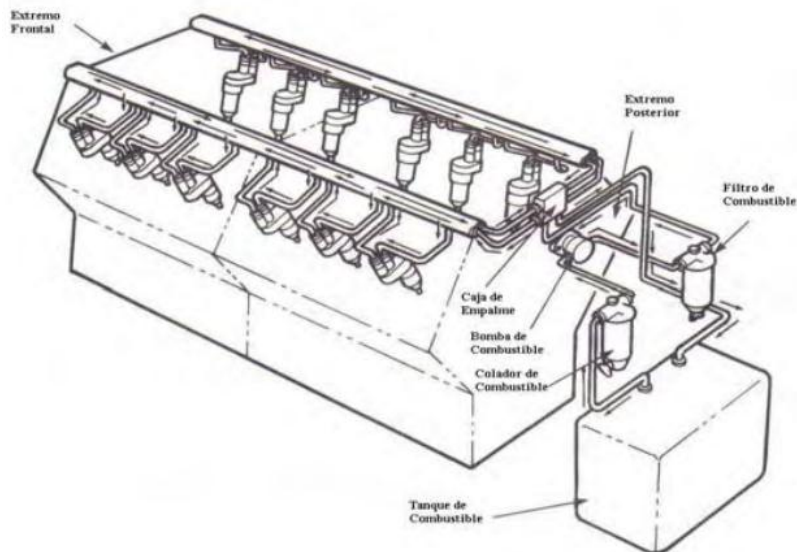


### 2.2.3 Sistema de combustible

Es el encargado de suministrar la cantidad adecuada de combustible en la cámara de combustión desde el depósito del mismo. Los elementos principales son: los inyectores, múltiples, bomba, filtros, caja de derivación y tubería necesaria. En el sistema de combustible se usa un filtro separador de combustible/agua, o filtro racor y un filtro para remover impurezas del combustible.

El combustible es aspirado del tanque de combustible a través de un filtro y entra a la bomba de combustible, por el lado de succión. Al salir de la bomba bajo presión, el combustible es forzado a través de los filtros. De los filtros, el combustible es dirigido a una caja de empalme, de donde es redirigido entonces a los múltiples de combustible de admisión de los inyectores de cada lado del motor. De los múltiples de combustible, éste llega al inyector, por medio de un tubo de entrada del combustible. El combustible excedente regresa por el lado de salida de los inyectores a través de los tubos de salida al múltiple de retorno del combustible. El combustible de retorno pasa entonces por la caja de empalme y regresa al tanque de combustible.

Figura 7. Diagrama esquemático del sistema de combustible. Detroit diesel serie 149TI, 1977.

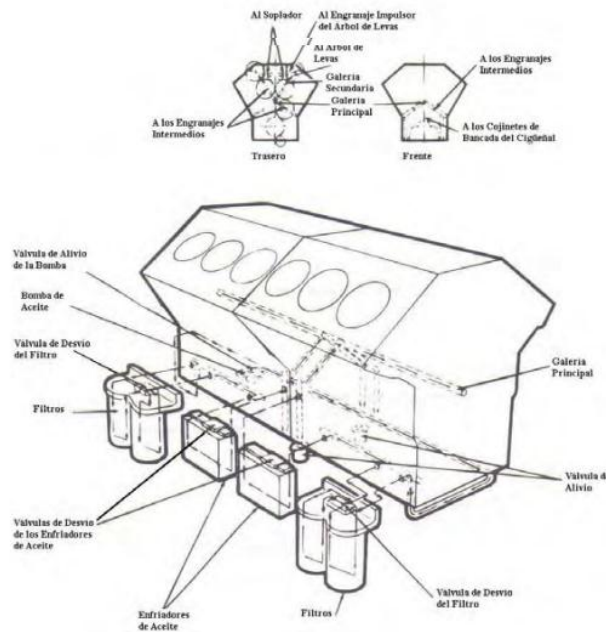


## 2.2.4 El sistema de lubricación de un motor

Lubrica y al mismo tiempo sirve de refrigerante de los elementos de un motor. El sistema de lubricación consiste de la bomba de aceite, el enfriador de aceite, filtros de aceite, válvulas de derivación en el enfriador de aceite y válvulas reguladoras de la presión en la bomba del aceite lubricante y en las canalizaciones principales del aceite del bloque de cilindros.

En el funcionamiento de éste sistema el aceite es aspirado desde el cárter a través del tamiz de admisión y dirigido a la bomba del aceite donde es sometido a presión. El aceite luego pasa a una galería corta en el bloque de cilindros y después a los filtros de aceite. Al mismo tiempo el aceite se dirige de la bomba a una válvula resorte de alivio de la presión montada en la bomba de aceite. Esta válvula descarga el exceso de aceite cuando la presión de la bomba excede los 100 psi. Del filtro de aceite, éste regresa al bloque de cilindros donde un pasaje lo lleva al enfriador de aceite. Luego este es redirigido a un pasaje perforado verticalmente en el bloque de cilindros a la galería principal de aceite.

Figura 8. Diagrama esquemático del sistema de lubricación. Detroit diesel serie 149TI, 1977.



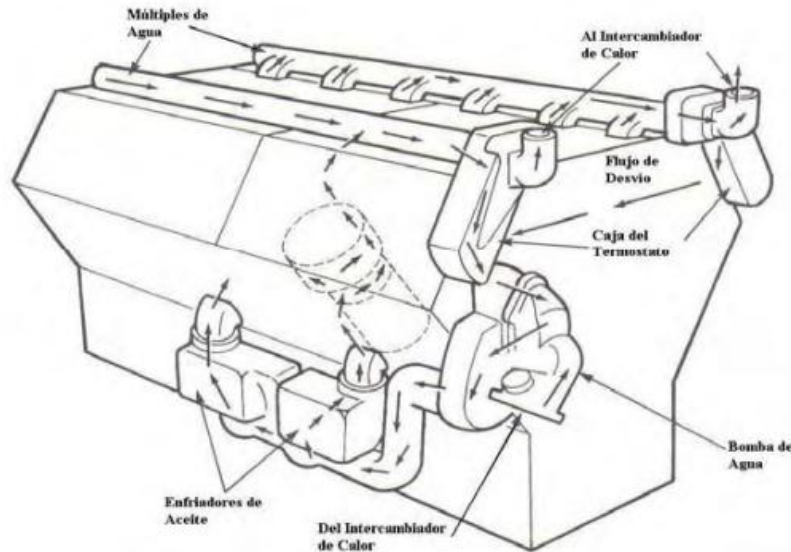
### **2.2.5 Sistema de enfriamiento**

Para la refrigeración del motor se utiliza agua industrial desde una toma en un embalse, con una temperatura promedio de 10°C (TermoTrane Integral Solutions, 2004). El agua refrigerante que circula dentro del motor utiliza un anticongelante, es impulsada mediante una bomba centrífuga y transfiere su energía calórica al agua industrial dentro de un intercambiador de calor. Los elementos principales de este sistema son: bomba de agua, termostatos, múltiples de agua e intercambiador de calor.

El refrigerante es sacado por medio de la bomba de agua fresca del intercambiador de calor y es forzado a través del enfriador del aceite del motor, el bloque de cilindros, las culatas, el múltiple de escape y los múltiples de agua a las cajas del termostato. Una conexión de desvío desde las cajas del termostato al lado de la entrada de la bomba de agua permite la circulación del refrigerante por el motor mientras que los termostatos están cerrados. Cuando se abren los termostatos, el refrigerante puede fluir por el intercambiador de calor y luego, después de haber sido refrigerado, a la bomba de agua fresca del motor para su recirculación. A temperaturas del agua aproximadamente de menos de 77°C, las válvulas del termostato permanecen cerradas, bloqueando el flujo del refrigerante por el intercambiador de calor. El refrigerante luego se desvía y no pasa por el intercambiador de calor y fluye regresando por la bomba del agua al enfriador de aceite, el bloque de cilindros, las culatas y otra vez por las cajas de los termostatos. A medida que la temperatura del refrigerante sube a más de 77°C, las válvulas de los termostatos comienzan a abrirse, permitiendo que algo de refrigerante pase hacia abajo por el intercambiador de calor donde se enfría el refrigerante y luego es circulado por la bomba de agua al motor. A medida que la temperatura sigue subiendo, esto permite que más refrigerante pase por el termostato. Cuando la temperatura llega a aproximadamente a los 85°C, las válvulas de los termostatos están completamente abiertas, dejando que la mayor

parte del refrigerante circule por el intercambiador de calor, y de este modo regulen la temperatura del refrigerante.

Figura 9. Diagrama esquemático del sistema de enfriamiento. Detroit diesel serie 149TI, 1977.

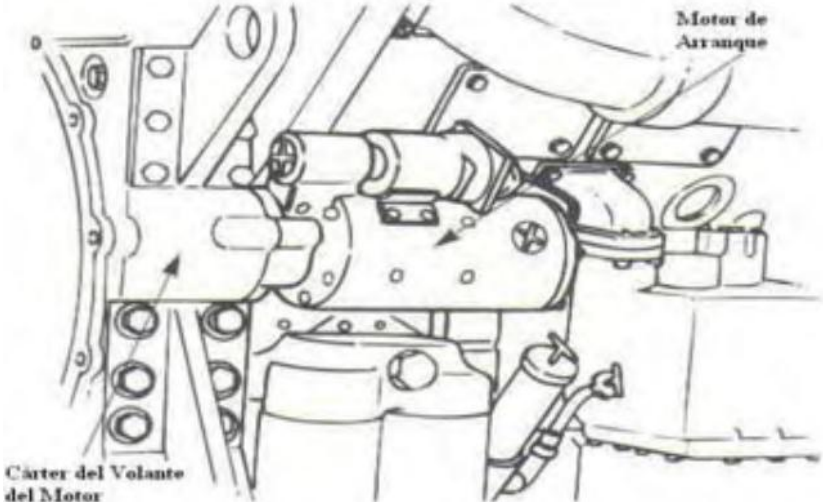


### 2.2.6 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico de un motor consiste principalmente de un motor de arranque, un alternador de carga de baterías y baterías. La batería de plomo y ácido es un dispositivo electroquímico para la conversión de energía química en eléctrica. Las funciones de la batería son: es la fuente de electricidad para arrancar el motor; sirve para estabilizar el voltaje del sistema eléctrico y puede por tiempo limitado, suplir corriente cuando los requerimientos eléctricos excedan la capacidad del generador. Hay dos motores de arranque, montados en el cárter del volante. Al cerrarse el circuito de partida, un piñón impulsor en el eje del inducido de cada motor de arranque engrana con los dientes de la corona del volante del motor para girar el cigüeñal. Cuando el motor arranca, es necesario desengranar los piñones impulsores; con ayuda de un embrague; y así evitar la velocidad excesiva del inducido y el daño a los motores de arranque. El alternador está incluido en el

sistema eléctrico como fuente de corriente eléctrica para mantener la carga de la batería y suplir corriente suficiente para los demás requerimientos eléctricos, que no excedan la capacidad determinada del generador.

Figura 10. Diagrama esquemático del sistema de eléctrico. Detroit diesel serie 149TI, 1977.



### **3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.**

Es una metodología fue desarrollada en un principio por la industria de la aviación comercial de los Estados Unidos, en cooperación con entidades gubernamentales como la NASA<sup>3</sup> y privadas como la Boeing (constructor de aviones). Desde 1974, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, ha usado el RCM, como la filosofía de mantenimiento de sus sistemas militares aéreos. El éxito del RCM en el sector de la aviación, ha permitido que otros sectores tales como el de generación de energía (plantas nucleares y centrales termoeléctricas), petroleros, químicos, gas, refinación y la industria de manufactura, se interesen en implantar esta filosofía de gestión del mantenimiento, adecuándola a sus necesidades de operaciones. Un aspecto favorable de la filosofía del RCM, es que la misma promueve el uso de las nuevas tecnologías desarrolladas para el campo del mantenimiento. La aplicación adecuada de las nuevas técnicas de mantenimiento bajo el enfoque del RCM, permiten de forma eficiente, optimizar los procesos de producción y disminuir al máximo los posibles riesgos sobre la seguridad personal y el ambiente, que traen consigo los fallos de los activos en un contexto operacional específico.

La gestión del mantenimiento actual en un proceso de producción, no se puede limitar sólo a la simple disminución de los fallos a partir de acciones de mantenimiento seleccionadas sobre la base de un registro histórico de fallos, este concepto ya no tiene vigencia, por lo cual, el rol del mantenimiento en la actualidad puede describirse de la siguiente forma (Woodhouse, 1996): “Capacidad para preservar la función de los equipos, definiendo y aplicando estrategias efectivas de mantenimiento tales como: sustitución, reparación, restauración y renovación, con

---

<sup>3</sup> National Aeronautics and Space Administration (NASA). Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. Washington, D.C., 1996.

el fin de minimizar los riesgos que generan los distintos eventos de fallos dentro del contexto operacional y ayudar a maximizar la rentabilidad del negocio”.

Lo que da a entender Woodhouse con la anterior definición, es que los objetivos básicos de los sistemas de gestión del mantenimiento son:

- Garantizar valores aceptables de riesgo, reduciendo la probabilidad de presencia de fallos – fiabilidad, y/o minimizando las consecuencias de los fallos.
- Recuperar la operatividad de los equipos, una vez que se ha producido el fallo (mantenibilidad).

Dentro del proceso de gestión del mantenimiento, surge un factor de alto impacto, relacionado con lograr una distribución de forma efectiva y racional de los recursos asignados al área de mantenimiento y en especial a los activos que generan un alto impacto dentro de la compañía, es por esto que se tienen que tomar decisiones que permitan orientar los recursos financieros, humanos y tecnológicos, con el fin de poder desarrollar los planes de mantenimiento que ayuden a disminuir los altos costos de mantenimiento y los altos costos de las sustituciones sistemática de piezas y a su vez que ayuden a incrementar el tiempo promedio entre fallas y a disminuir los tiempos promedios de reparación de los activos que son considerados de alta criticidad dentro de la compañía, por tal motivo, la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM - (Reliability Centered Maintenance), puede ayudar a la optimización de los recursos del área de mantenimiento, aprovechando al máximo el recurso humano y tecnológico existente para la realización de las actividades de mantenimiento y a su vez establecer los requerimientos reales de mantenimiento de los distintos activos críticos y de alto impacto en su contexto operacional.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), es un metodología que busca reducir el costo de mantenimiento analizando las funciones del sistema y el modo como estas funciones pueden fallar, para, entonces aplicar un criterio de priorización basado en factores ambientales, económicos, operacionales y de

seguridad a fin de identificar las tareas de mantenimiento aplicables y efectivas que ayuden a aumentar la fiabilidad de los equipos, es decir, disminuir el tiempo de parada de planta por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción, los objetivos secundarios pero igualmente importante son aumenta la disponibilidad.

Esta metodología nace a finales de la década de 1960 y principios de 1970, como resultado de un esfuerzo mancomunado del gobierno de los Estados Unidos como de su industria aeronáutica, que buscaban diseñar las actividades de mantenimiento apropiadas con unas frecuencias optimas de intervención de los equipos, en la actualidad la norma SAEJA1011 especifica los requerimientos mínimos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado proceso RCM.

Figura 11. Pasos del RCM



### 3.1.1 Ventajas de RCM.

La aplicación del proceso de RCM presenta importantes ventajas; las más importantes son las siguientes:

- Mayor seguridad e integridad ambiental. El proceso de RCM actúa para prevenir o eliminar riesgos ambientales y de seguridad.
- Mejor funcionamiento operacional. El proceso de RCM actúa para mejorar la cantidad de producción, la calidad del producto y el servicio al cliente.
- Mayor costo-eficiencia del mantenimiento. El proceso de RCM analiza cada uno de los eventos que causa la indisponibilidad de un sistema, de esta manera se evalúan las actividades que aseguren resultados sobre el mantenimiento de los equipos.
- Mayor vida útil de componentes costosos.
- Mejor trabajo en equipo y mayor motivación del personal. El proceso de RCM establece un solo lenguaje entre el área de producción y mantenimiento, estableciendo una mejor comunicación entre ambas partes.
- Adicionalmente, el personal involucrado con el proceso se motiva debido a que adquiere un sentido de pertenencia del proceso.

### **3.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA METODOLOGIA RCM.**

Como resultado de la gran acogida que ha desarrollado esta metodología debido a sus excelentes resultados, se han generado infinidad de documentos y literatura sobre la estrategia del RCM que discrepan del proceso original definido por Nowlan y HEAP, por el contrario otros documentos han mantenido las claves y conceptos mínimos necesarios estipulados en el proceso original, por esta razón se evidencio la necesidad de una norma que estableciera los criterios mínimos que se requieren para que el proceso pueda ser llamado RCM y es de esta necesidad que fue desarrollada la norma SAE JA1011 en la cual se describen los criterios mínimos necesario para que el proceso pueda ser llamado RCM y al mismo tiempo es escrita la norma SAE JA1012 la cual establece una guía o un estándar necesario para la implementación RCM.

La norma SAE JA1011 basa sus conceptos y criterios en tres escritos:

- Libro de Mantenimiento centrado en confiabilidad de Nowlan and Heap's de 1978.
- US Naval Aviation's MILSTD 2173AS.
- RCM John Moubray.

¿Qué es RCM? Jhon Moubray define RCM como un método empleado para determinar las necesidades de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional, dándose a entender que mantenimiento es la combinación de todas las técnicas administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un elemento, destinado a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollarse una función requerida.

### **3.3 LAS SIETE PREGUNTAS UTILIZADAS EN LA METODOLOGÍA RCM.<sup>4</sup>**

Tanto en el libro de RCM de John Moubray, como para la norma SAE JA1011 la metodología del RCM está basada en un procedimiento en el cual se realizan las 7 preguntas, que permiten identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional.

1. ¿Cuáles son las funciones estándares de ejecución asociados con el activo en su actual entorno operacional?
2. ¿En qué forma fallo el equipo, con respecto a la función que cumple en el contexto operacional?
3. ¿Qué causo cada falla funcional?
4. ¿Qué ocurre cuando sucede un fallo?
5. ¿Cómo impacta la falla?

---

<sup>4</sup> MOUBRAY, J. (2001). Introduction to Reliability-centered maintenance. In Reliability-centered maintenance.

6. ¿Qué puede hacerse para reducir o prevenir cada fallo?

7. ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea de prevención adecuada?

Es necesario realizar una meticulosa planeación de los pasos a seguir en el proceso de implementación de un RCM para no tener desviaciones durante su ejecución, a continuación, se realizará el flujo grama de actividades básicas a ejecutar durante la implementación del RCM.

### **3.4 FUNCIONES DEL RCM.**

El análisis de RCM inicia con la redacción de todas las funciones esperadas o el propósito de un equipo. Existen dos tipos de funciones deben ser tenidas en cuenta cuando se utiliza la metodología RCM.

Se debe tener en cuenta ciertos pasos para la definición de las funciones, para lo cual es importante seguir los siguientes pasos:

- Tener la claridad de para qué fue instalado el equipo.
- Qué tiene que realizar el o los equipos para realizar su función.
- Utilizar la regla "Verbo + Sujeto + Características de la función.
- No se deben listar las partes o piezas de los equipos.

#### **3.4.1 Funciones primarias.**

Son las funciones principales por las cuales el bien o equipo fue adquirido, éstas son generalmente fáciles de reconocer y casi siempre el nombre de la mayoría de los bienes industriales está basado en sus funciones primarias.

### **3.4.2 Funciones secundarias.**

Las industrias cuando adquieren sus bienes esperan que dichos elementos sean útiles para la función establecida, pero que también que puedan ser utilizadas para funciones adicionales; éstas funciones se les conoce como funciones secundarias, las cuales a su vez también tienen 6 categorías que buscan abarcar la mayor cantidad posible de funciones secundarias, las cuales son:

1. Integridad medio ambiental.
2. Control/contención/confort.
3. Estética.
4. Protección.
5. Economía/eficiencia.
6. Funciones superfluas.

También se conocen otro tipo de funciones llamadas Ocultas o No evidentes, las cuales no son tan evidentes pero que pueden presentarse en el momento en que se presentan fallas.

### **3.4.3 Parámetros de Funcionamiento**

El objetivo del mantenimiento es asegurarse de que los activos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, lo que puede definirse como parámetro mínimo de funcionamiento. Esto significa que el funcionamiento puede ser definido de las siguientes dos formas:

- Funcionamiento deseado: lo que el usuario quiere que haga
- Capacidad inicial : lo que puede hacer

Figura 12. Parámetros de funcionamiento. Moubray, 1997.



Cuando cualquier activo es puesto en funcionamiento, debe ser capaz de rendir más que el parámetro mínimo de funcionamiento deseado por el usuario.

Los parámetros de funcionamiento los podemos subdividir en diferentes categorías:

- Parámetros de funcionamiento múltiple: muchas descripciones de funciones incorporan generalmente varios parámetros de funcionamiento.
- Parámetros de funcionamiento cuantitativos: Deben ser cuantificados cuando fuese posible, ya que éstos pueden medirse (Ej.: temperatura, presión, velocidad, etc.).
- Parámetros de funcionamiento absolutos: Una descripción que no indica ningún parámetro de funcionamiento, por lo general implica que se trata de un absoluto (Ej.: contener un fluido).

#### 3.4.4 El contexto operacional

Indica las condiciones de operación del activo, y afecta a todo el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de funciones. Algunos de los factores importantes que deben ser considerados son:

- Aplicación
- Turnos de trabajo.
- Sobrecargas.
- Condición física del lugar.

### **3.5 FALLAS FUNCIONALES.**

Cuando ya se ha definido las funciones de cada equipo, el siguiente paso es identificar las posibles fallas de cada elemento cuando se encuentran funcionando; esto se conoce como una falla funcional, la cual es la pérdida total o parcial de una o más funciones del equipo.

Las fallas se pueden presentar por un mal diseño o por un error de cálculo, por defectos de fábrica, por el mal uso de los equipos, desgaste natural por el uso y por último por fenómenos naturales como terremotos, incendios e inundaciones.

#### **3.5.1 Falla Total.**

Este tipo de falla es la más fácil de reconocer, puesto que se presenta cuando un equipo queda completamente parado y no es capaz de cumplir su función principal.

#### **3.5.2 Falla Parcial.**

Una falla parcial se detecta ya que el equipo es capaz de desarrollar una función con un desempeño mucho menor al deseado. Este tipo de fallas son las más difíciles de solucionar y pueden ocasionar afectaciones adicionales, como daño en la producción o por el contrario si no es atendida inmediatamente puede ocasionar una falla total.

### **3.6 ANÁLISIS Y MODOS DE FALLAS.**

Se conoce como modo de falla cuando se provoca la pérdida de función total o parcial de la función de un equipo, cada falla a su vez puede presentar más de un modo de falla.

Para identificar los efectos que ocasionan los modos de falla es necesario recopilar toda la información necesaria que permita realizar una evaluación para identificar y describir los efectos que se puedan presentar en cada modo de falla.

Para realizar esta evaluación es importante describir las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo se evidencia que un modo de falla ha ocurrido?
2. ¿Cómo podría afectar la ocurrencia de cada modo de fallo a la seguridad humana o al ambiente?
3. ¿Cómo afectaría la ocurrencia de cada modo de falla a la producción y a las operaciones?

Al identificar los modos de falla de los equipos es importante listar la causa raíz de la falla, esto con el fin de realizar la lista de las posibles soluciones.

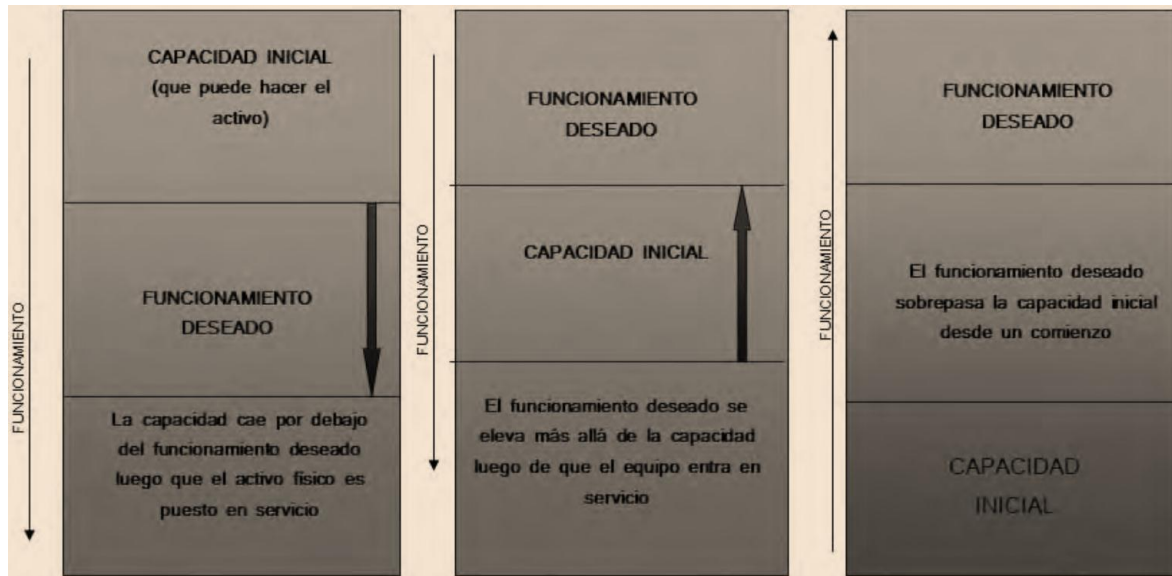
Dentro de la metodología del RCM se clasifican los modos de falla de la siguiente forma:

- Modo de fallo con consecuencias ocultas.
- Modo de fallo con consecuencias sobre el medio ambiente y seguridad humana.
- Modo de falla con consecuencias no operacionales

#### **3.6.1 Categorías de modos de falla**

Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera:

Figura 13. Categorías de modos de falla. Moubray, 1997.



- **Capacidad bajo el funcionamiento deseado:** Deterioro (fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación, etc.), fallas de lubricación (falta y falla del lubricante), polvo o suciedad, desarme (falla en: soldaduras, uniones, remaches, bulones, conexiones, etc.), errores humanos (reducción de capacidad).
- **Capacidad por sobre el funcionamiento deseado:** El funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo no puede responder, el aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta el punto en que el activo se torna tan poco confiable que deja de ser útil.
- **Capacidad Inicial fuera del rango desde el inicio:** A veces surgen situaciones en las que el funcionamiento deseado está fuera del rango de capacidad inicial desde el comienzo.

### 3.6.2 Cantidad de Detalle

El nivel de detalle afecta profundamente la validez del análisis de modos de falla y la cantidad de tiempo que requiere hacerlo. La escasez de detalles y/o modos de

falla puede llevar a un análisis superficial y hasta peligroso. Por el contrario demasiados modos de falla o demasiado detalle hacen que todo el proceso RCM lleve mucho más tiempo que el necesario.

Esto significa que es esencial tratar de lograr un equilibrio correcto.

### **3.7 EFECTOS DE LAS FALLAS.**

Cada modo de falla debe estar acompañado por una lista los efectos de falla asociados, es decir, realizar una descripción de qué podría suceder al equipo cuando la falla se presenta. Cuando se describen los efectos de la falla se deben incluir todos los aspectos como tiempos, pérdidas en la producción, esto con el fin de evaluar la importancia de la falla en caso de producirse.

La descripción de los efectos debe contar con toda la evidencia posible, definir si el modo de falla presenta amenazas ya sea para la seguridad de los usuarios y/o equipos o para el medio ambiente y debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia de que se ha producido una falla: Debe permitir a los operarios si la falla será evidente para ellos en el desempeño de sus tareas normales. También debe indicar si va precedida por: ruidos, fuego, humo, fugas de fluidos, si se detiene el equipo, etc. Si se tratase de dispositivos de seguridad, debe detallarse que sucedería si fallase el dispositivo protegido mientras el dispositivo de seguridad se encuentra en estado de falla.
- En que forma la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente: Debe señalarse la manera en que pueda lesionarse o morir alguna persona o infringir alguna normativa o reglamento relativo al medio ambiente como consecuencia de una falla.
- Las maneras en que afecta a la producción o a las operaciones: Debe indicarse cómo y cuánto afecta, ya sea por parada de máquina o varias de ellas, interrupción líneas de proceso, etc.

- Los daños físicos causados por la falla: Cuantificar los daños.
- Que debe hacerse para reparar la falla: Cuales son las medidas correctivas a tomar para repararla.

### **3.8 CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS.**

Teniendo ya identificados los modos de falla con cada uno de los efectos, es necesario realizar la descripción de las posibles consecuencias de dichas fallas, las cuales se deben evaluar en el siguiente orden:

- Seguridad
- Medio Ambiente
- Operaciones
- No operacionales

Un ejemplo de como la falla de un equipo puede afectar a los usuarios es el siguiente:

- Poniendo en riesgo la seguridad de las personas
- Afectando al medio ambiente
- Incrementando los costos o reduciendo el beneficio económico de la empresa
- Ninguna de las anteriores - Consecuencias no operacionales

Si una falla presenta consecuencias significativas en cualquiera de las categorías descritas, es necesario prevenirlas, ya sea realizando los mantenimientos básicos como lubricación, limpieza y reemplazo de piezas.

- Consecuencias del Fallo Oculto: Un modo de falla tiene consecuencias por fallas ocultas si la pérdida de función causada por este modo de fallo actuando por sí solo en circunstancias normales es evidente a los operarios.

- Consecuencias para la Seguridad o el Medio Ambiente: Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente si causa una pérdida de función y produce daños que pudieran lesionar o matar a alguien; o infringir cualquier normativa o reglamento ambiental conocido.
- Consecuencias operacionales: Un modo de falla tiene consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional afectando: el volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente o incrementar el costo operacional.
- Consecuencias no operacionales: No ejercen un efecto adverso directo sobre la seguridad, el medio ambiente o la capacidad operacional, sólo tiene consecuencias en los costos directos de reparación.

### **3.8.1 Funciones ocultas y evidentes**

Una función evidente es aquella cuya falla finalmente e inevitablemente será evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales. No obstante, algunas fallas ocurren de tal forma que nadie sabe que el elemento se ha averiado a menos que se produzca alguna otra falla. Esto significa que una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí sola.

### **3.8.2 Fallas ocultas y dispositivos de seguridad**

Los dispositivos de seguridad o de protección funcionan de una de cinco maneras:

- Alertar ante condiciones anormales de funcionamiento.
- Parar el equipo en caso de falla.
- Eliminar o aliviar las condiciones anormales originadas por una falla y de que otra manera podrían causar daños más serios.

- Asumir control de una función que ha fallado.
- Prevenir que surjan situaciones peligrosas.

### **3.8.3 Prevención de la falla oculta**

Para prevenir una falla múltiple, debemos asegurar que la función oculta no se encuentre en estado de falla y si cuando falla la función protegida. Hay que dar la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable, entonces: "Para fallas ocultas, merece la pena realizar una tarea proactiva si asegura la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable" (Moubray, 1997).

Si no es posible encontrar una manera adecuada de prevenir una falla oculta, todavía es posible reducir el riesgo de una falla múltiple revisando la función oculta periódicamente para saber si sigue funcionando. Si ésta revisión es llevada a cabo a intervalos adecuados y si la función es restaurada en cuanto se descubre que está defectuosa, todavía es posible asegurar altos niveles de disponibilidad.

## **3.9 TAREAS PROACTIVAS**

Son tareas comenzadas antes de que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla. Engloban lo que comúnmente se denomina mantenimiento preventivo y predictivo, aunque el RCM utiliza los términos de reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición.

### 3.9.1 Factibilidad técnica y merecer la pena

Cuando preguntamos si una tarea proactiva es técnicamente factible, estamos simplemente preguntando si a la tarea le es posible prevenir o anticipar la falla en cuestión. Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas del modo de falla y de la tarea.

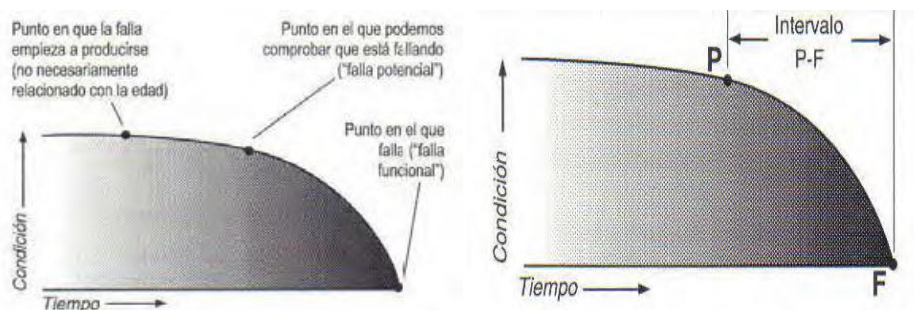
Cualquier tarea proactiva sólo merece la pena ser realizada si resuelve adecuadamente las consecuencias de la falla que se pretende evitar. Esto ciertamente supone que es posible anticipar o prevenir la falla. Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas de la tarea, y de la falla que pretende evitar.

### 3.9.2 Fallas potenciales

La figura 14 ilustra lo que sucede en los estados finales de la falla. Se llama curva P-F, porque muestra como comienza la falla, como se deteriora al punto en que puede ser detectada (P) y luego, si no es detectada y corregida, continúa deteriorándose, generalmente muy rápido, hasta que llega al punto de falla funcional (F).

El punto en el proceso de la falla en el que es posible detectar si la falla está ocurriendo o si está a punto de ocurrir se conoce como falla potencial. En otras palabras una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o en el proceso de ocurrir.

Figura 14. Curva e intervalo P-F. Moubray, 1997.

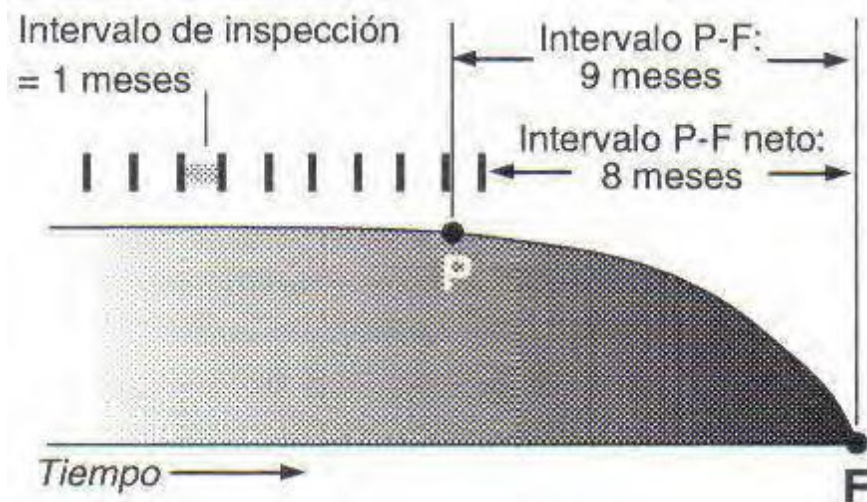


**El intervalo P-F:** Además de la falla potencial en sí misma, necesitamos considerar la cantidad de tiempo que transcurre entre el punto en el que ocurre una falla potencial y el punto en el que se deteriora llegando a la falla funcional. Como lo muestra la figura 14 este rango se conoce como el intervalo P-F. El intervalo P-F nos permite decir con qué frecuencia deben realizarse las tareas a condición.

Si queremos detectar la falla potencial antes de que se convierta en falla funcional, el intervalo entre las revisiones debe ser menor al intervalo P-F. En la práctica generalmente basta con seleccionar una frecuencia de tarea igual a la mitad del intervalo P-F. Esto lleva al concepto de intervalo P-F neto.

**Intervalo P-F neto:** El intervalo P-F es el mínimo intervalo que es probable que transcurra entre el descubrimiento de una falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional. Esto se ilustra en la figura 15, la que muestra una falla con un intervalo P-F de nueve meses, lo que indica que si el elemento es inspeccionado mensualmente, el intervalo P-F es de 8 meses.

Figura 15. Intervalo P-F Neto. Moubray, 1997.



Ahora las tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales, que permitan actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional.

### **3.9.3 Tareas de reacondicionamiento cíclico**

El reacondicionamiento cíclico consiste en actuar periódicamente para reacondicionar a su condición original una pieza o componente existente.

Una definición específica sería: “El reacondicionamiento cíclico consiste en reconstruir un componente o hacer una gran reparación a un conjunto ensamble completo antes de, o en el límite de edad específico, independientemente de su condición en ese momento” (Moubray, Pág. 44, 1997).

- **Frecuencia de reacondicionamiento cíclico**

La frecuencia de una tarea de reacondicionamiento cíclico está gobernada por la edad en la que la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla. Las tareas de reacondicionamiento cíclico son satisfactoriamente determinadas sobre la base de antecedentes históricos confiables.

- **Factibilidad técnica del reacondicionamiento cíclico**

Las tareas de reacondicionamiento cíclico son técnicamente factibles si:

- Hay una edad identificable en la que la pieza muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.
- Que la mayoría de las piezas sobrevivan a ésta edad.
- Se restaura la resistencia original de la pieza a la falla.

- **Efectividad del reacondicionamiento cíclico**

Aunque sea técnicamente factible, puede que no merezca la pena el reacondicionamiento cíclico porque puede que otras tareas sean aún más efectivas. Algunas de las razones por las que no vale la pena realizar reacondicionamiento cíclico son:

1. Una reducción en el número de fallas no es suficiente si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, porque queremos eliminar totalmente estas fallas.
2. Si las consecuencias son económicas, necesitamos estar seguros de que a lo largo de un período de tiempo, el costo de realizar la tarea de reacondicionamiento cíclico es menor al costo de permitir que ocurra la falla.

#### **3.9.4 Tareas de sustitución cíclica**

Las tareas de sustitución cíclica consisten en descartar un elemento o componente antes de, o en el límite de edad específico, independiente de su condición en el momento. La filosofía de estas tareas es reemplazar la parte usada por una nueva, la que restaurará a su condición original.

- **Frecuencia de la sustitución cíclica**

Al igual que las tareas de reacondicionamiento cíclico, la frecuencia de una tarea de sustitución cíclica está gobernada por la edad a la que la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.

- **Factibilidad técnica de la sustitución cíclica**

Las tareas de sustitución cíclicas son técnicamente factibles bajo las siguientes circunstancias:

- Hay una edad identificable en la que la pieza muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.

- La mayoría de los elementos sobreviven a esta edad 3.6.5 Tareas a condición

Las tareas a condición son conocidas como mantenimiento predictivo, ya que se evalúa el estado del componente y se decide cuál acción tomar.

- **Factibilidad técnica de tareas a condición**

Las tareas a condición son técnicamente factibles si:

- Es posible definir una condición clara de falla potencial.
- El intervalo P-F es razonablemente consistente.
- Resulta práctico monitorear el elemento a intervalos menores al intervalo P-F.
- El intervalo P-F neto es lo suficientemente largo como para ser de alguna utilidad, o lo suficientemente largo como para actuar a fin de reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional

- **Categorías de técnicas a condición**

Las cuatro categorías principales de técnicas a condición son las siguientes:

- Técnicas de monitoreo de condición: implica el uso de algún equipo especializado para monitorear el estado de otros equipos y sus fallas potenciales. Algunas de ellas son clasificadas como de efectos: dinámicos, de partículas, químicas, físicas, de temperatura, eléctricas, etc.
- Técnicas basadas en variaciones en la calidad del producto.
- Técnicas de monitoreo de los efectos primarios: que implican el uso inteligente de indicadores existentes y equipo de monitoreo de procesos.
- Técnicas de inspección basadas en los sentidos humanos.

- **Realización tareas a condición**

Las tareas a condición deben satisfacer los siguientes criterios para que justifique su ejecución:

- Si una falla es oculta, no tiene consecuencias directas: Entonces una tarea a condición cuya intención es prevenir una falla oculta, debe reducir el riesgo de una falla múltiple a un nivel aceptablemente bajo. En la práctica, debido a que la función es oculta, muchas de las fallas potenciales que normalmente afectan a las evidentes también serán ocultas.
- Si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente: sólo merece la pena realizar una tarea a condición si fiablemente da suficiente advertencia de la falla como para que se pueda actuar a tiempo para evitar las consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.
- Si la falla no afecta a la seguridad, la tarea debe ser eficaz en cuanto a los costos: O sea a lo largo de un período de tiempo el costo de realizar la tarea a condición debe ser menor al costo de no hacerla.

### **3.9.5 Selección de tareas proactivas**

Muchas veces es difícil decidir si una tarea proactiva es técnicamente factible. Las características de la falla rigen esta decisión, y generalmente son lo suficientemente claras como para que la decisión sea simplemente cuestión de sí o no, ahora decidir si merece la pena ser realizadas suele requerir más deliberación. El orden básico de preferencia para seleccionar tareas proactivas es el siguiente.

- **Tareas a condición**

Las tareas a condición son consideradas primero en el proceso de selección de tareas, por las siguientes razones:

- Generalmente son realizadas sin desplazar el activo físico de su ubicación y normalmente mientras funciona: Rara vez interfieren en el proceso de producción y son fáciles de organizar.

- Identifican condiciones específicas de falla potencial: de modo que se puede definir claramente la acción correctiva antes de que comience el trabajo, lo que reduce la cantidad de trabajos de reparación, y hace posible realizarlos más rápidamente.
- El identificar el punto de falla potencial en los equipos: les permite cumplir con casi toda su vida útil.

- **Tareas de reacondicionamiento cíclico**

Si no puede encontrarse una tarea a condición apropiada para una falla en particular, la opción siguiente es una tarea de reacondicionamiento cíclico. Ésta también debe ser técnicamente factible, por lo que las fallas deben estar concentradas alrededor de una edad promedio. Si lo están, el reacondicionamiento cíclico antes de esta edad puede reducir la incidencia de fallas funcionales. Algunas de las ventajas del reacondicionamiento cíclico son:

- Solamente pueden realizarse deteniendo el activo y enviándolo al taller: por lo que estas tareas de alguna manera afectan a la producción.
- El límite de edad se aplica a todos los elementos: entonces muchos elementos o componentes que podrían haber sobrevivido más tiempo serán removidos.
- Las tareas de reacondicionamiento involucran trabajos de taller: por lo que generan una carga mucho mayor que las tareas a condición.

- **Tareas de sustitución cíclica**

La sustitución cíclica normalmente es la menos eficaz en cuanto a costos de las tres tareas proactivas. Sin embargo cuando es técnicamente factible, posee algunas características deseables. Puede ocurrir que la sustitución de un elemento sea capaz de prevenir ciertas fallas que no estaban consideradas o se pasaron por alto críticas.

- **Combinación de tareas**

Para algunos modos de falla con consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, no se puede encontrar una tarea que por sí sola reduzca el riesgo de falla a un nivel tolerablemente bajo, ni tampoco un rediseño adecuado. En estos casos a veces es posible encontrar una combinación de tareas, generalmente de dos categorías de tareas diferentes, lo que reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable. Cada tarea es llevada a cabo con frecuencia propia.

### **3.10 ACCIONES “A FALTA DE”**

Este punto trata de que se debe hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada. Esto comienza con una revisión de las tareas de búsqueda de falla y luego considera el rediseño.

#### **3.10.1 Búsqueda de falla y fallas múltiples**

Las tareas de búsquedas de falla consisten en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si ha fallado.

Una falla múltiple ocurre cuando falla una función protegida mientras un dispositivo de protección se encuentra en estado de falla. La probabilidad de una falla múltiple puede ser reducida aumentando la disponibilidad del dispositivo de seguridad.

#### **3.10.2 Aspectos técnicos de la búsqueda de falla**

El objetivo de la búsqueda de falla es darnos la tranquilidad de que un dispositivo de seguridad proveerá la protección requerida si fuese necesario, o sea estamos chequeando que todavía funcione. Algunos de los puntos principales que se le hacen a este tema son:

- **Chequear el sistema de protección completo**

Una tarea de búsqueda de falla debe asegurar de detectar todos los modos de falla que tienen posibilidad de causar la falla del dispositivo de seguridad. Lo ideal

sería hacerlo simulando las condiciones a las que el circuito debería responder, y chequear si el elemento que actúa da la respuesta correcta.

- **No perturbarlo**

Desarmar cualquier cosa trae consigo la posibilidad de que se vuelva a armar de manera incorrecta, si es que es posible hacer esto.

### **3.10.3 Conceptos Asociados al análisis de confiabilidad**

El diseño de un programa eficiente de mantenimiento implica la comprensión de los fenómenos de falla de los equipos. Dado que las fallas en los equipos son eventos aleatorios, utilizaremos conceptos y modelos estadísticos que nos permitan controlar y mejorar la confiabilidad.

Las tareas de mantenimiento predictivo y preventivo están basados sólo en el intervalo P-F. Para establecer los intervalos de búsqueda de falla, deben tomarse en cuenta la disponibilidad y confiabilidad.

- **Tiempo medio entre fallas (MTBF) o confiabilidad**

Este indicador permite medir la frecuencia entre fallas promedio transformándose en una medida de la confiabilidad de los equipos o dispositivos.

$$MTBF = \frac{\#Equipos \times Tiempo\ operativo}{\#De\ fallas} \quad [1]$$

- **Disponibilidad (DISP)**

La disponibilidad de un equipo o activo se define como el porcentaje de tiempo en que está operativo, o disponible a funcionar en cualquier instante. Las unidades de medida pueden ser horas, días, etc.

$$DISP = \frac{Tiempo\ de\ operacion - Tiempo\ de\ parada}{Tiempo\ de\ operacion} \quad [2]$$

- **Intervalos de búsqueda de falla (FFI)**

En inglés Failure Finding Interval y está dado por la expresión:

$$FFI = 2 \times (100\% - \text{Disp}\%) \times \text{MTBF} \quad [3]$$

#### **3.10.4 Factibilidad técnica de búsqueda de falla**

Para que una tarea de búsqueda de falla sea técnicamente factible, debe ser posible realizarla sin aumentar el riesgo de la falla múltiple, y debe ser práctico realizar la tarea en el intervalo requerido. La búsqueda de falla es técnicamente factible si:

- Es posible realizar la tarea.
- La tarea no incrementa el riesgo de una falla múltiple.
- Es práctico realizar la tarea al intervalo requerido.

El objetivo de una tarea de búsqueda de falla es reducir la probabilidad de la falla múltiple asociada con la función oculta a un nivel tolerable. Solo merece la pena realizarla si logra este objetivo.

Si se ve que una tarea de búsqueda de falla no es técnicamente factible o no merece la pena realizarla, hemos agotado todas las posibilidades que pueden permitirnos obtener la prestación deseada del activo. Esto nos condiciona a las consecuencias de la falla múltiple como sigue:

- Si no puede encontrarse una tarea de búsqueda de falla apropiada y la falla múltiple podría afectar la seguridad o el medio ambiente: algo debe cambiarse para que la situación sea segura. Entonces el rediseño es obligatorio.
- Si no puede encontrarse una tarea de búsqueda de falla y la falla múltiple no afecta la seguridad ni el medio ambiente: entonces es aceptable.

### **3.10.5 Ningún mantenimiento programado**

Sólo es válido si:

- No puede encontrarse una tarea cíclica apropiada para una función oculta, y la falla múltiple asociada no tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.
- No puede encontrarse una tarea proactiva que sea eficaz en cuanto a costos para fallas que tienen consecuencias operacionales o no operacionales.

### **3.10.6 Rediseño**

Se refiere a cualquier cambio en la especificación de cualquier componente de un equipo. Esto significa cualquier acción que implique un cambio en un plano o una lista de piezas. Incluye una modificación en la especificación de un componente, el agregado de un elemento nuevo, la sustitución de una máquina entera por una diferente, o el cambio de lugar de una máquina.

## 4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM<sup>5</sup>

### 4.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA Y DEFINICIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL.

Siguiendo los lineamientos establecidos en el plan de proyecto, tomaremos el proceso de generación de energía eléctrica de los taladros específicamente al grupo electrógeno Caterpillar 3412C que alimenta los sistemas auxiliares del taladro.

#### 4.1.1 Definición de fronteras

---

#### FRONTERAS DEL SISTEMA

DESDE:

Entrada de combustible fuel oil diesel

Entrada de aire por el filtro

Carga de batería

HASTA: Salida de los bornes del generador eléctrico



---

### 4.2 CONTEXTO OPERACIONAL

---

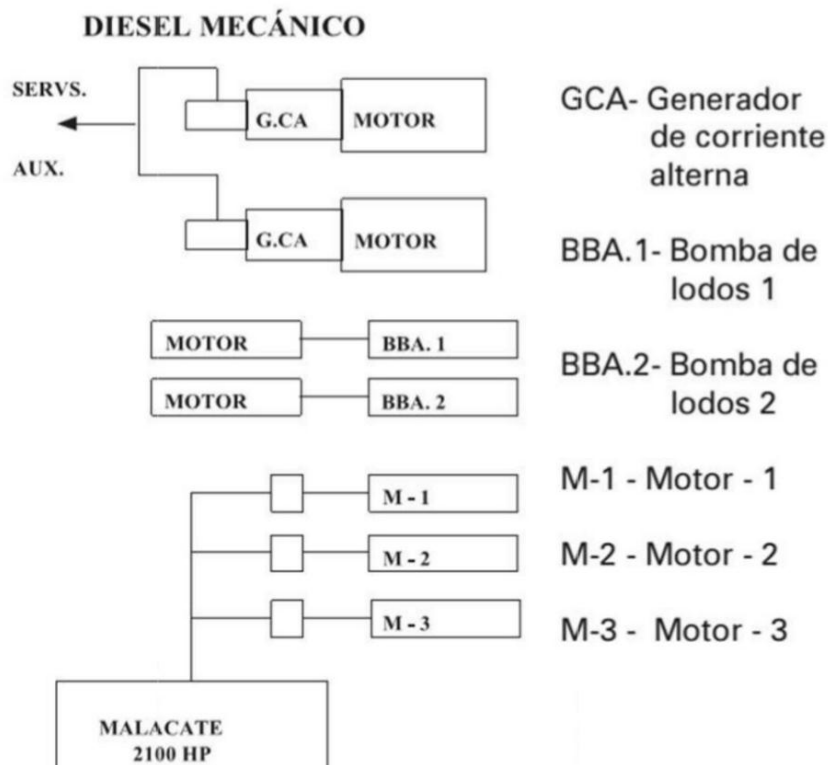
<sup>5</sup> Reliability. (2007). Reliability centered maintenance project manager's guide.

El sistema sobre el cual se va a ejecutar el RCM es el de generación eléctrica 3412C que comprende Motor- generador y a su vez el sistema de protecciones, compuesto por subsistemas en que se divide el equipo.

En un taladro mecánico, la energía de rotación de los motores diesel se transfiere directamente a los malacates, bombas de lodo y mesa rotaria (o top drive). A través de un sistema de cadenas o correas, convertidores de torque y embragues.

Adicionalmente, un grupo independiente de generadores (3412C) producen electricidad para alimentar el sistema de iluminación, así como motores de corriente alterna utilizados por los equipos del sistema de control de lodo: zarandas vibratorias, agitadores, bombas centrifugas.

Figura 16. Diagrama del sistema diesel mecánico de un taladro.



### **4.2.1 Generador**

El generador sin escobillas SR4B se utiliza con las siguientes cargas: cargas mezcladas de motores y luces, equipo controlado por SCR, centros de computadoras, instalaciones de comunicaciones y aplicaciones de perforación petrolífera. La eliminación de las escobillas en el circuito de campo reduce el mantenimiento. La eliminación de las escobillas en el circuito de campo aumenta la fiabilidad. La eliminación de las escobillas proporciona un grado más alto de protección en ambientes potencialmente peligrosos.

Los conjuntos de grupo electrógeno se pueden utilizar para la generación de potencia principal o para la generación de potencia auxiliar. Los conjuntos de grupo electrógeno se pueden utilizar en aplicaciones terrestres o marinas.

Los generadores SR4B se utilizan en excitación trifásica de onda completa y regulación. Los generadores tienen un diseño de cuatro polos o de seis polos con una configuración de cuatro, seis, diez o doce conductores. Los generadores pueden producir corriente eléctrica en aplicaciones de 50 Hz o de 60 Hz.

### **4.2.2 Motor de combustión interna**

El motor 3412C para Grupo Electrónico es un motor de 12 cilindros. Este motor de inyección directa tiene un ciclo de cuatro tiempos. Cada culata tiene dos válvulas de admisión y dos de escape. Los balancines y las válvulas están accionados por el árbol de levas. La función la realizan varillas de empuje y levantaválvulas mecánicos.

Un regulador hidromecánico o un control electrónico controla la entrega de la bomba de inyección de combustible. El operador mantiene las rpm del motor. La bomba de inyección de combustible dosifica y bombea el combustible. El combustible gasificado a alta presión se bombea a los inyectores de combustible.

El avance mecánico de la sincronización proporciona la mejor sincronización de la inyección de combustible en la gama completa de velocidades del motor.

El aire de admisión es filtrado por el filtro de aire. El aire es comprimido por el turbocompresor antes de entrar a los cilindros. El turbocompresor es impulsado por el escape del motor. El motor estándar es turbocomprimido, y está disponible con posenfriamiento.

El sistema de enfriamiento consta de los siguientes componentes:

- Una bomba centrífuga impulsada por engranajes
- Un termostato de agua que regula la temperatura del refrigerante del motor
- Enfriador de aceite
- Un radiador que incorpora un sistema de derivación

El aceite de lubricación del motor es enfriado y filtrado. El aceite lubricante es proporcionado por una bomba de engranajes. Si la viscosidad del aceite es alta, o si se han obstruido el enfriador de aceite y los elementos de filtro, las válvulas de derivación permiten el libre flujo de aceite lubricante al motor.

La eficiencia y el rendimiento del motor dependen del cumplimiento de las recomendaciones apropiadas de operación y mantenimiento. Use el combustible, el aceite lubricante y el refrigerante recomendados. Se debe prestar especial atención al mantenimiento del filtro de aire, sistemas de combustible, lubricación y de enfriamiento.

Tabla 1. Especificaciones del motor 3412C

---

Cilindros y configuración	Bloque en "V" de 12 cilindros
Perforación	137 mm (5,4 pulg)

---

Carrera	152,4 mm (6 pulg)
Aspiración	Turbocompresor (T), turbocompresor doble (TT), turbocompresor doble y posenfriamiento (TTA), Turbocompresor y posenfriamiento en serie (STA)
Cilindrada	27 L (1648 pies cúbicos)
Orden de encendido	1-4-9-8-5-2-11-10-3-6-7-12
Rotación (extremo del volante)	Hacia la izquierda
Juego de las válvulas (admisión)	0,38 mm (0,015 pulg)
Juego de las válvulas (escape)	0,76 mm (0,03 pulg)

### 4.3 DEFINICION DE FUNCIONES

Generador: Mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica.

Motor: desarrollar un movimiento por el generador, el cual transforma el movimiento en electricidad usando electromagnetismo.

Tabla 2. Clasificación sistemas y funciones

Sistemas	Función
	Entregar un suministro de combustible limpio y

---

Sistema de combustible	<p>continuo desde el tanque a los inyectores a una presión entre 60 y 80 psi.</p> <p>Entregar la cantidad correcta de combustible a su debido tiempo en la cámara de combustión del motor</p>
Sistema de lubricación	<p>Transferir el aceite lubricante desde el cárter hacia los filtros, enfriador de aceite y galería principal del lubricante en el bloque de cilindros a una presión entre 52 y 70 psi.</p> <p>Lubricar elementos del motor</p> <p>Ayudar con la refrigeración del motor</p>
Sistema de enfriamiento	<p>Mantener una temperatura adecuada de funcionamiento del motor y del líquido refrigerante entre 81 y 95°C.</p> <p>Bombear el líquido refrigerante por los enfriadores de aceite, el bloque de cilindros, las culatas y el intercambiador de calor.</p>
Sistema de entrada de aire	<p>Suministrar una masa de aire limpia y comprimida al interior de los cilindros.</p> <p>Aumentar la eficiencia del motor.</p>
Sistema de escape	<p>Evacuar los gases quemados producto de la combustión</p>
Sistema eléctrico	<p>Proveer la fuente de energía para arrancar el motor y suplir los requerimientos eléctricos de éste.</p>

---



Tabla 3. Hoja de información sistema de combustible

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
A1	Entregar un suministro de combustible limpio y continuo desde el tanque a los inyectores a una presión entre 60 y 80 psi.	A1A	No hay suficiente suministro de combustible para el funcionamiento del motor	A1A01	Suministro desocupado por fuga de combustible en tanque roto.	Baja eficiencia, el motor no arranca, funcionamiento irregular.	
				A1A02	Filtro saturado u obstruido, líneas de combustible tapadas por material particulado	Pérdida de potencia, funcionamiento irregular. Posibilidad de detención. El filtro de combustible obstruido no deja pasar el combustible provocando una bajada de presión del combustible en el circuito y con ello problemas en la combustión.	
				A1A03	Conexiones sueltas entre la bomba de combustible, línea de aspiración y el tanque.	Pérdida de potencia, funcionamiento irregular. Posibilidad de detención. Posibilidad de derrame de combustible.	
				A1A04	Falla en la bomba de transferencia desgaste de los engranajes	Perdida de potencia, mala combustión, parada del motor.	

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
				A1A05	Engranajes o cuerpo de la bomba desgastados (corrosión, erosión y cavitación).	Bajo suministro de combustible, funcionamiento irregular del motor. Se requiere cambio de la bomba	
				A1A06	Descarga de la bomba obstruida.	Daño en los rodamientos de la bomba, fugas de combustible, pérdida del suministro de combustible.	
				A1A07	Material particulado en la bomba, cavitación	Daño acelerado en la bomba de combustible	
				A1A08	Impurezas en la bomba, deformaciones por calor, rotura del impeler.	Daño en la bomba, pérdida total de potencia.	
		A1B	El combustible no está en condiciones para la combustión	A1B01	Fuga por los sellos de la bomba de transferencia	Contaminación del combustible con aceite del sistema de lubricación, pérdida de potencia, funcionamiento irregular. Exceso de humo. Dilución del aceite que acelera el desgaste de las partes móviles del motor.	
A2	Entregar la cantidad correcta de combustible a su	A2A	Suministro deficiente de combustible en la recama de	A2A01	Exceso o distribución irregular del combustible	Humo negro o gris, combustión incompleta, funcionamiento irregular y aumento del consumo de combustible	

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO Motor de combustión interna			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE Sistema de combustible					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
	debido tiempo en la cámara de combustión del motor		combustión.	A2A02	Boquilla u orificios del inyector obstruidos	Humo negro, mezcla pobre, pérdida de potencia del motor, funcionamiento irregular y aumento del consumo de combustible	
				A2A03	Orificios del inyector agrandados.	Exceso de combustible dentro de la cámara. Combustible sin quemar dentro de la cámara. Humo negro, mezcla pobre, pérdida de potencia del motor, funcionamiento irregular y aumento del consumo de combustible	
				A2A04	Acumulación de suciedad en el inyector.	Baja inyección de combustible dentro de la cámara. Atomización deficiente. Presión baja de apertura de la válvula. Humo negro, mezcla pobre, pérdida de potencia del motor, funcionamiento irregular, aumento del consumo de combustible y golpeteo en el motor	
				A2A05	Bomba de inyección no sincronizada.	Mezcla pobre, pérdida de potencia del motor, problemas en los inyectores, consumo excesivo de combustible	

Tabla 4. Hoja de información sistema de lubricación

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
B1	Transferir el aceite lubricante desde el cárter hacia los filtros, enfriador de aceite y galería principal del lubricante en el bloque de cilindros a una presión entre 52 y 70 psi.	B1A	Incapaz de transferir el aceite lubricante a una presión mayor a 52 psi.	B1A01	Los tamices de admisión están parcialmente obstruidos.	Baja presión de aceite. Circulación pobre. Sobrecalentamiento. Se debe remover y limpiar el cárter y el tamiz de admisión del aceite y filtros del aceite	
				B1A02	Pérdida de la succión del tamiz	No hay aspiración de aceite, sobrecalentamiento, mala lubricación daño en partes móviles	
				B1A03	Bomba de aceite desgastada o dañada	Pobre circulación de aceite y baja presión.	
				B1A04	Fuga de aceite por desgaste de los sellos.	Pérdida de lubricación de elementos móviles del motor. Sobrecalentamiento del motor.	
				B1A05	Válvulas de alivio, reguladora de presión o de desvío del enfriador defectuosas.	Pérdida en la presión del aceite.	

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
				B1A06	Desgaste crítico de los cojinetes de bancada lubricados a presión	El desgaste de estos cojinetes hace que el aceite que circula por ellos no salga con la presión necesaria al motor produciendo rozamiento y desgaste de las piezas del motor.	
				B1A07	Desgaste crítico de los cojinetes de bancada lubricados a presión	El desgaste de estos cojinetes hace que el aceite que circula por ellos no salga con la presión necesaria al motor produciendo rozamiento y desgaste de las piezas del motor.	
B2	Lubricar elementos del motor	B2A	No hay película de aceite lubricante, en las partes móviles que eviten el contacto metal-metal.	B2A01	Filtro obstruido o saturado	Lubricación deficiente, rozamiento y desgaste en las piezas del motor.	
				B2A02	Aceite diluido por contaminación con combustible	Sobrecalentamiento del motor y desgaste excesivo.	
				B2A03	Mala selección del lubricante	Sobrecalentamiento del motor y desgaste excesivo.	
				B2A04	Fuga de aceite en la tubería	Pérdida de lubricación de elementos	

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
					o cárter	móviles del motor. Sobrecalentamiento del motor.	
				B2A05	Bajo nivel de aceite	Sobrecalentamiento, lubricación deficiente, desgaste y daño en motor	
B3	Ayudar con la refrigeración del motor	B3A	El motor alcanza temperaturas elevadas	B3A01	Exceso de aceite en el tanque por error de montaje	Sobrecalentamiento por alto nivel de aceite, aumento del consumo de lubricante, paso de aceite a la cámara de combustión	
				B3A02	Pérdida de la eficiencia del sistema de refrigeración, con el calentamiento excesivo del aceite	El calentamiento del aceite hace que pierda sus propiedades por lo que no circula por el motor con la presión correcta produciendo rozamiento y desgaste de las piezas del motor.	
				B3A03	Enfriador de aceite obstruido.	Pérdida de propiedades del lubricante, desgaste y daño en el motor.	

Tabla 5. Hoja de información sistema de refrigeración

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR		FECHA	HOJA
		Motor de combustión interna						
		SUBSISTEMA/COMPONENTE						DE
		Sistema de refrigeración						
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
C1	Mantener una temperatura adecuada de funcionamiento del motor y del líquido refrigerante entre 81 y 95°C.	C1A	Motor trabaja a temperatura menor de los 81 °C.	C1A01	Termostato no cierra.	Un termostato en mal estado no regula bien la circulación de refrigerante pudiendo hacer que el motor se mantenga frío demasiado tiempo, causando problemas en la combustión.		
		C1B	Motor trabaja a temperatura mayor de los 95 °C.	C1B01	Transferencia de calor insuficiente, debido a formación de escamas en el circuito de refrigeración.	Sobrecalentamiento del motor y puede ocasionar deterioro de mangueras, pérdida de potencia.		
				C1B02	Falta de refrigerante por fugas en radiador roto	Pérdidas de refrigerante y consumo excesivo, sobrecalentamiento del motor.		
				C1B03	Ventilador defectuoso	Sobrecalentamiento del motor		
				C1B04	Fuga de refrigerante por mangueras rotas o dobladas	Sobrecalentamiento, pérdida de propiedades del lubricante, desgaste.		

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR		FECHA	HOJA
		Motor de combustión interna						
		SUBSISTEMA/COMPONENTE						DE
		Sistema de refrigeración						
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
				C1B05	Transferencia de calor insuficiente por radiador sucio	Alta temperatura, sobrecalentamiento		
				C1B06	Desajuste de correas del ventilador	Correas del motor sueltas no conducen movimiento al ventilador y genera sobrecalentamiento del motor		
				C1B07	Fuga de refrigerante por daño en el pos enfriador	Contaminación de aceite, sobrecalentamiento y perdida de presión de aceite y eleva la presión del sistema de refrigeración.		
				C1B08	Refrigerante deteriorado por tiempo de uso	Alta temperatura, sobrecalentamiento		
C2	Bompear el líquido refrigerante por los enfriadores de aceite, el bloque de cilindros, las culatas y el intercambiador	C2A	Enfriamiento del motor no es de buena calidad, no bombea refrigerante suficiente.	C2A01	Impulsor de la bomba de agua suelto o dañado.	Poca circulación de refrigerante por las partes del motor. Sobrecalentamiento del motor. El recalentamiento puede provocar fisuras en la culata de cilindro, atascamiento del pistón u otros posibles daños en el motor.		

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR		FECHA	HOJA
		Motor de combustión interna						
		SUBSISTEMA/COMPONENTE						DE
		Sistema de refrigeración						
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
	de calor.			C2A02	Fuga de refrigerante por los sellos de la bomba	Poca circulación de refrigerante por las partes del motor. Sobre calentamiento del motor. El recalentamiento puede provocar fisuras en la culata de cilindro, atascamiento del pistón u otros posibles daños en el motor. Posible contaminación al mezclarse con otro fluidos		

Tabla 6. Hoja de información sistema de admisión

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
D1	Suministrar una masa de aire limpia y comprimida al interior de los cilindros.	D1A	No llega aire suficiente para la combustión	D1A01	Filtro saturado	Pérdida de potencia, mala combustión	
				D1A02	Filtro de aire obstruido por deformación	Si el elemento del filtro de aire se obstruye, el aire puede rajar el material del elemento del filtro. Pérdida de potencia, mala combustión y desgaste acelerado de los componentes del motor.	
				D1A03	Muelle de válvula roto o vencido	El muelle de la válvula roto o vencido hace que las válvulas no se abran y cierren correctamente, causando que el aire no entre bien y con ellos problemas de combustión.	
		D1B	No hay suministro de aire	D1B01	Lóbulos del soplador trabados por agente extraño.	Poca masa de aire al interior de los cilindros, baja potencia debido a mezcla pobre.	
				D1B02	Falta de lubricación de los cojinetes	Soplador funciona forzado y no proporciona la masa de aire debida. Pérdida de potencia.	

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
				D1B03	Incorrecta instalación del filtro	Paso de aire con material particulado que genera desgaste de los pistones y las camisas de los cilindros	
		D1C	Presencia de material particulado en la cámara de combustión	D1C01	Filtro roto	La entrada de polvo produce daños en los componentes del motor y los desgasta de forma prematura	
D2	Aumentar la eficiencia del motor.	D2A	Motor no es eficiente.	D2A101	Insuficiencia de Lubricación por: aceite fuera de la especificación u obstrucción en las tuberías o canales de lubricación de la carcasa central del turbo.	Desgaste en elementos como: bujes radiales y de apoyo; cuello del eje, alojamientos de los bujes radiales en la carcasa central. Desgaste en las superficies del sello del plato del compresor y collarín. Se puede producir desbalanceo. Exceso de humo y pérdida de potencia.	
				D2A102	Aceite contaminado por: carbonización por alta temperatura, partículas provenientes del desgaste de otros componentes del	Ralladuras y desgaste en: bujes radiales, cuellos del eje, bujes de apoyo y collarín, desbalanceo y/o ruptura de componentes del turbo. Exceso de humo y una pérdida de potencia.	

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
					motor o residuos de combustión incompleta.		
				D2A103	Aumento anormal del consumo de combustible	Problemas en el turbocompresor provocan una mezcla descompensada con falta de aire de sobrealimentación que provoca una mala combustión y un aumento del consumo de combustible.	
				D2A104	Material ajeno alojado en las ruedas del compresor o de turbina.	Los daños a la rueda del compresor del turbocompresor pueden causar daños adicionales a los pistones, a las válvulas y a la culata de cilindros.	
				D2A105	Acumulación de suciedad en el compresor.	Pérdida de potencia, mala combustión, aumento del humo negro y a la pérdida general de eficiencia del motor.	
				D2A106	Taponamiento de los conductos, por el depósito de partículas carbonosas,	Pérdida de potencia, mala combustión, aumento del humo negro y a la pérdida general de eficiencia del motor.	

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
					producto de una mala combustión		
				D2A107	Sistema de admisión de aire obstruido no llega suficiente a la cámara de combustión	Pérdida de potencia del motor, combustión incompleta por falta de aire.	
				D2A108	Válvula pegajosa, por depósitos de carbón en asientos o cabeza de válvula.	Las válvulas no asientan bien se produce una pérdida de compresión. Esto lleva a una pérdida de potencia, reduce la eficiencia del motor. Esta eficiencia reducida puede ocasionar un consumo excesivo de combustible y un acortamiento en la duración de los componentes del motor	
				D2A109	Fallo en conjunto segmentos-camisa	Un fallo en el conjunto segmentos-camisa evita la estanqueidad del cilindro provocando que la compresión no se realice correctamente y causando problemas en la combustión.	

Tabla 7. Hoja de información sistema de escape

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO Motor de combustión interna			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE Sistema de escape					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
E1	Evacuar los gases quemados producto de la combustión	E1A	No evacua los gases correctamente	E1A01	Válvula doblada.	Posibles daños en la guía e inserto de la válvula, la culata de cilindro o el pistón. Las válvulas no asientan bien se produce una pérdida de compresión. Esto conlleva a una pérdida de potencia	
				E1A02	Todas las válvulas dobladas	Pérdida considerable de potencia, ya que las válvulas no asientan, consumo excesivo de combustible y un acortamiento en la duración de los componentes del motor.	
				E1A03	Defectos en la tubería de escape	Alta presión de cárter. Pérdida de potencia.	
				E1A04	Silenciador obstruido por deformación	La dificultad para expulsar los gases de escape del motor causa problemas en la combustión dando lugar a una marcha irregular del motor. Crea una contra presión y reducirá la potencia del motor.	
				E1A05	Fuga de gases por deterioro o desgaste del múltiple de escape	El deterioro de las partes del sistema de escape provoca ruidos y humos al salir los gases de escape por lugares inadecuados.	

				E1A06	Obstrucción de la salida	Sobrecalentamiento motor por obstrucción en la salida de los gases
--	--	--	--	-------	--------------------------	--

Tabla 8. Hoja de información sistema eléctrico

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO Motor de combustión interna			FACILITADOR	FECHA	HOJA	
		SUBSISTEMA/COMPONENTE Sistema eléctrico					DE	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
F1	Proveer la fuente de energía para arrancar el motor y suplir los requerimientos eléctricos de éste.	F1A	No hay energía eléctrica suficiente para arrancar el motor	F1A01	Banco de Baterías descargado.	Motor no arranca.		
				F1A02	Batería no carga	Motor no arranca.		
				F1A03	Conexiones eléctricas dañadas o sueltas.	Motor no arranca.		
				F1A04	Bornes en mal estado.	Motor no arranca.		
		F1B	Incapaz de mantener la carga de la batería.	F1B01	Regulador de carga del alternador quemado.	Batería no cargará, el sistema de protección se encuentra inoperativo debido a la falta de electricidad.		
				F1B02	Correa del alternador rota	La batería no cargará, eventualmente no encenderá el motor		
		F1C	El motor no arranca	F1C01	Bendix del motor de arranque pegado.	Motor no arranca.		

				F1C02	Dientes del piñón del motor de arranque fracturados.	Dependiendo del grado de fractura es posible que no alcancen a engranar correctamente los dientes y el volante no alcance la inercia necesaria para que parta el motor.
				F1C03	Depósitos de carbón entre las delgas del motor de arranque.	Pérdida de fuerza del motor de arranque. No gira a la velocidad necesaria para arrancar el motor.
				F1C04	Inducido del motor de arranque quemado.	Motor de arranque no gira.

Tabla 9. Hoja de información sistema protecciones

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
G1	Registrar las caídas de presión y activar el mecanismo de detención del motor cuando la presión del aceite lubricante descienda a los 20 psi.	G1A	No registra caídas de presión, ni para el motor	G1A01	Conexiones eléctricas flojas del sensor.	Lubricación pobre de los elementos móviles, aumento de temperatura y desgaste o rotura prematuro.	
				G1A02	Sensor en falla o descalibrado	Lubricación pobre de los elementos móviles, aumento de temperatura y desgaste o rotura prematuro.	
G2	Activar una alarma cuando la temperatura del líquido refrigerante suba a los 105°C y activar el mecanismo de detención del motor cuando la temperatura del líquido refrigerante alcance los 110°C.	G2A	No activa la alarma, ni el mecanismo de detención del motor.	G2A01	Conexiones eléctricas flojas del sensor.	Sobrecalentamiento del motor y las camisas de los cilindros, pudiendo provocar daños directos sobre culatas y cilindros.	
				G2A02	Sensor en falla o descalibrado	Sobrecalentamiento del motor y las camisas, pudiendo provocar daños directos sobre culatas y cilindros.	
G3	Activar una alarma y activar el mecanismo de detención del	G3A	No activa la alarma, ni el mecanismo de detención	G3A01	Conexiones eléctricas flojas del sensor.	Desincronización de las partes móviles y graves daños internos al motor.	

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
	motor cuando éste sobrepase la velocidad permitida.		del motor.	G3A02	Sensor en falla o descalibrado	Desincronización de las partes móviles y graves daños internos al motor.	
G4	Activar una alarma y el mecanismo de detención del motor cuando la presión del cárter exceda los 2,4"H2O	G4A	No activa la alarma, ni el mecanismo de detención del motor.	G4A01	Conexiones eléctricas flojas del sensor.	Alto consumo de aceite, aceite pasa a la cámara de combustión. Pérdida de potencia, humo negro.	
				G4A02	Sensor en falla o descalibrado	Alto consumo de aceite, aceite pasa a la cámara de combustión. Pérdida de potencia, humo negro.	
G5	Activar una alarma cuando la temperatura de los gases de escape alcance los 550°C.	G5A	Incapaz de activar la alarma.	G5A01	Termocuplas dañadas o en falla.	Al aumentar la temperatura de los gases de escape, éstos pueden dañar los alabes del conjunto turboalimentador, lo que se traduciría en una pérdida de potencia por malfuncionamiento del turboalimentador.	
G6	Activar una alarma cuando la presión de combustible en el múltiple de combustible baje a 50 psi.	G6A	Incapaz de activar la alarma.	G6A01	Conexiones eléctricas dañadas o sueltas.	Funcionamiento irregular del motor, vibración excesiva, pérdida de potencia. Apaga el motor	
				G6A02	Sensor en dañado o descalibrado.	Funcionamiento irregular del motor, puede haber vibración excesiva, pérdida de potencia.	

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO Motor de combustión interna			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE Sistema de protecciones					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
G6	Detener el motor cuando la velocidad pase los 2420 rpm	G6A	No detiene el motor.	G6A01	Conexiones eléctricas dañadas o sueltas.	Funcionamiento irregular del motor, vibración excesiva, pérdida de potencia. Apaga el motor	
				G6A02	Sensor en dañado o descalibrado.	Una condición de sobre velocidad hace que se abra un relé y el relé des energizará el solenoide de cierre. Esto detendrá el flujo de combustible al motor. Además, esto apagará el motor. Funcionamiento irregular del motor, puede haber vibración excesiva, el motor puede resultar seriamente dañado.	
G7	Detener el motor de forma manual cuando se suscite una condición anormal.	G7A	No detiene el motor.	G7A01	Válvulas en la cámara de interrupción de aire atascadas.	No detiene el motor. Si se suscita una condición anormal de malfuncionamiento, el motor puede resultar seriamente dañado.	

Tabla 10. Hoja de información sistema de generación eléctrica

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO Generador			FACILITADOR		FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE Generación eléctrica						DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
H1	Mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica.	H1A	No genera voltaje a la salida del generador	H1A01	Problemas en el motor de combustión interna	Ver RCM del motor		
				H1A02	Conexiones sueltas o flojas.	Generación de puntos calientes, mal contacto, cortocircuito, no genera voltaje o no mantiene el voltaje correcto.		
				H1A03	Cortocircuito o aterrizado en el sistema de rectificación de generador	No genera voltaje a la salida del generador		
				H1A04	Circuito abierto en el sistema de rectificación de generador	No genera voltaje a la salida del generador		
				H1A05	Bobina de excitación y fuerza dañadas.	No genera voltaje a la salida del generador		
				H1A06	Generador aterrizado	No genera voltaje a la salida del generador		
				H1A07	Tarjeta reguladora de voltaje	No genera voltaje a la salida del generador		

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO Generador			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE Generación eléctrica					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
					dañada		
				H1A08	Daño en los cojinetes del generador	<p>Vibraciones, desgaste, daño en los rodamientos, daños en la excitatriz o devanado del motor.</p> <p>Una temperatura de cojinete que esté a 50 °C (122 °F) por encima de la temperatura ambiente puede requerir un cambio en la operación. Si la temperatura del cojinete está a 50 °C (122 °F) por encima de la temperatura ambiente, se debe parar la unidad a fin de impedir daños.</p>	
		H2A	El generador no mantiene un voltaje constante a la salida del generador	H2A01	El campo del generador está abierto	No genera voltaje a la salida del generador	
				H2A02	Falla en el regulador de voltaje	Voltaje inestable con o sin carga	
						Voltaje alto con o sin carga	
						Voltaje bajo sin carga	
						Voltaje bajo con carga	

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO Generador			FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA/COMPONENTE Generación eléctrica					DE
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
						Excesiva caída de voltaje/velocidad al conectar carga	
		H3A	El generador no opera a la capacidad nominal	H3A01	Fatiga del aislamiento por sobretensión y caídas de tensión	Reducción de la resistividad eléctrica de los aislantes que a su vez da lugar a un aumento de las corrientes de fuga.	
				H3A02	Desequilibrio eléctrico	Si la corriente de una fase excede el amperaje indicado en la placa de identificación, ocurrirá un desequilibrio eléctrico. Un desequilibrio eléctrico puede causar una sobrecarga eléctrica y un calentamiento excesivo.	

#### 4.5 ARBOL LOGICO DE DECISION

Una vez rellena la Hoja de Trabajo de Información R.C.M. se le aplica el Diagrama de Decisión R.C.M. (Anexo 3) a cada modo de fallo.

Por último, las respuestas obtenidas de aplicar el Diagrama de Decisión R.C.M. se registran en la Hoja de Trabajo de Decisión R.C.M. (Anexo 2).

Para relacionar la Hoja de Trabajo de Información con la de Decisión se utiliza un código alfanumérico compuesto por tres letras y tres números. El primer número y letra indica la función (está en la Hoja de Información al lado de cada función), la segunda letra indica el fallo funcional y los siguientes números indican el modo de fallo. Luego este código se introduce en la Hoja de Decisión en la columna Referencia de información para indicar a qué modo de fallo corresponde cada tarea.

Figura 18. Hoja de decisión.

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA	
			SUBSISTEMA/COMPONENTE							SUB-SISTEMA No.					DE	
Referencia de información			Evaluacion de las consecuencia				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por	
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				

Tabla 11. Hoja de decisión sistema de combustible

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA
			SUBSISTEMA/COMPONENTE							SUB-SISTEMA No.					DE
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
A1	A1A	A1A01	S	N	N	S	S						Revise nivel de combustible, debe estar lleno por encima del nivel del tubo de aspiración del combustible.  Drenar agua y sedimentos	Diariamente	Ayudante mecánico
A1	A1A	A1A02	S	N	N	S	S						Verificar los filtros, cambiarlos si están en malas condiciones y verificar el caudal de combustible si continua la obstrucción cambie las líneas de combustible. Drenar Trampa de combustible Cambio de filtro de combustible Cambio trampa de combustible	Diariamente: drenar trampa de combustible  Cada 250 hr cambio de filtro de combustible  Cada 500 hr	Mecánico

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA			
			SUBSISTEMA/COMPONENTE							SUB-SISTEMA No.					DE			
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por		
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4				H5	S4
							N1	N2	N3									
																Cambio de la trampa de combustible		
A1	A1A	A1A03	S	N	N	S	S									Verificar fugas, revisar conexiones de combustible, abrazaderas.	Semanal	Ayudante mecánico
A1	A1A	A1A04	S	N	N	S	N	N	N							Ningún mantenimiento programado Se requiere cambio de la bomba		
A1	A1A	A1A05	S	N	N	S	N	N	N							Ningún mantenimiento programado  Se requiere cambio de la bomba		
A1	A1A	A1A06	S	N	N	S	N	N	N							Ningún mantenimiento programado,		
A1	A1A	A1A07	S	N	N	S	N	N	N							Ningún mantenimiento programado		
A1	A1A	A1A08	S	N	N	S	N	N	N							Ningún mantenimiento programado.  Determine la condición del impeler de la bomba de combustible y reemplace las piezas que estén		

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR			FECHA		HOJA			
			SUBSISTEMA/COMPONENTE							SUB-SISTEMA No.								DE			
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas propuestas			Frecuencia inicial		A realizar por		
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4							H5	S4
							N1	N2	N3												
																			defectuosas.		
A1	A1B	A1B01	S	N	S	S	N	N	N										Ningún mantenimiento preventivo programado, Revisión de la bomba de transferencia cuando el análisis de aceite indique aceite diluido.	Análisis de aceite cada 250 hr	CBM

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR			FECHA		HOJA		
			SUBSISTEMA/COMPONENTE							SUB-SISTEMA No.								DE		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas propuestas			Frecuencia inicial		A realizar por	
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4							H5
			N1	N2	N3															
A2	A2A	A2A01	S	N	S	S	N	N	N								<p>Cambios de filtros de combustible, primario y secundario. Verifique calidad del combustible</p> <p>Las boquillas de inyección de combustible se deben limpiar, inspeccionar, probar y reemplazar, de ser necesario.</p> <p>Sincronizar los inyectores y hacer la afinación debida del regulador. Reemplazar los inyectores defectuosos si esta condición persiste.</p>	Cada 250 hr	Cada 5000 hr	Mecánico
A2	A2A	A2A02	S	N	S	S	S										<p>Cambios de filtros de combustible, primario y secundario. Verifique calidad del combustible</p> <p>Las boquillas de inyección de</p>	Cada 250 hr		Mecánico

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA			
			SUBSISTEMA/COMPONENTE							SUB-SISTEMA No.					DE			
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por			
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3				H4	H5	S4
																combustible se deben limpiar, inspeccionar, probar y reemplazar, de ser necesario.	Cada 5000 hr	
A2	A2A	A2A03	S	N	S	S	S									Cambios de filtros de combustible, primario y secundario. Verifique calidad del combustible  Las boquillas de inyección de combustible se deben limpiar, inspeccionar, probar y reemplazar, de ser necesario.	Cada 250 hr  Cada 5000 hr	Mecánico

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA		
			SUBSISTEMA/COMPONENTE							SUB-SISTEMA No.					DE		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por		
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3				H4	H5
							N1	N2	N3								
A2	A2A	A2A04	S	N	S	S	S								<p>Cambios de filtros de combustible, primario y secundario. Verifique calidad del combustible</p> <p>Las boquillas de inyección de combustible se deben limpiar, inspeccionar, probar y reemplazar, de ser necesario.</p>	<p>Cada 250 hr</p> <p>Cada 5000 hr</p>	Mecánico
A2	A2A	A2A05	S	N	S	S	N	N	N						Ningún mantenimiento programado		

Tabla 12. Hoja de decisión sistema de lubricación

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA
			Motor de combustión							SUB-SISTEMA No.					DE
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
B1	B1A	B1A01	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado Remueva y limpie el cárter y el tamiz de admisión del aceite.		
B1	B1A	B1A02	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado. Oriente o alargue tubería del tamiz de succión del aceite lubricante.		
B1	B1A	B1A03	S	N	N	S	S						Revise condición bomba de aceite lubricante	Anual	Mecánico
B1	B1A	B1A04	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado.		
B1	B1A	B1A05	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado.		
B1	B1A	B1A06	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado.		
B1	B1A	B1A07	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado.		

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA	
			Motor de combustión							SUB-SISTEMA No.					DE	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3							
B2	B2A	B2A01	S	N	N	S	S							Cambiar aceite y filtro	Cada 250 hr	Mecánico
B2	B2A	B2A02	S	N	S	S	S							Cambiar aceite y filtro Análisis de aceite en cada cambio.	Cada 250 hr	Mecánico y CBM
B2	B2A	B2A03	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado. Verificar lubricante recomendado		
B2	B2A	B2A04	S	N	N	S	S							Inspección del motor	Diariamente	
B2	B2A	B2A05	S	N	N	S	S							Revisar el nivel de aceite	Diariamente	Mecánico
B3	B3A	B3A01	S	N	N	S	S							Verificar montaje del motor, (alineación) soportes del motor para ver si están deteriorados y si los pernos están bien apretados	Cada 3000 hr	
B3	B3A	B3A02	S	N	N	S	S							Inspección del motor (toma muestra):  Cambiar aceite y filtro. Análisis de aceite en cada cambio.	Diariamente  Cada 250 hr	Mecánico  CBM
B3	B3A	B3A03	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado		

Tabla 13. Hoja de decisión sistema de refrigeración

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO						SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA	
			Motor de combustión						SUB-SISTEMA No.					DE	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
C1	C1A	C1A01	S	N	N	S	S						Cambiar termostato	Cada 3000 hr	Electricista
C1	C1B	C1B01	S	N	N	S	S						Limpiar radiador	Cada 250 hr	Mecánico
C1	C1B	C1B02	S	N	N	S	S						Inspección diaria nivel de refrigerante	Diariamente	Mecánico
C1	C1B	C1B03	S	N	N	S	S						Lubricar el cojinete del ventilador	Cada 250 hr	Mecánico
C1	C1B	C1B04	S	N	N	S	S						Verificar fugas, revisar conexiones, abrazaderas.	Semanal	Mecánico
C1	C1B	C1B05	S	N	N	S	S						Limpiar radiador	Cada 250 hr	Mecánico
C1	C1B	C1B06	S	N	N	S	S						Tensionar correas y cambiar si encuentra grietas o desgaste.	Cada 250 hr o 3 meses	Mecánico
C1	C1B	C1B07	S	N	N	S	S						Análisis de aceite Limpiar y probar núcleo del pos enfriador	Cada 250 hr	Mecánico

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO					SISTEMA No.			FACILITADOR			FECHA		HOJA	
			Motor de combustión					SUB-SISTEMA No.								DE	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas		Frecuencia inicial		A realizar por
							S1	S2	S3								
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3								
C1	C1B	C1B08	S	N	N	S	S							Cambio de refrigerante	Cada 3000 hr Cada 12000 hr 6 años (ELC)	Mecánico	
C2	C2A	C2A01	S	N	N	S	S							Apretar el impulsor y reemplazar si está deteriorada.  Inspección de la bomba de agua en busca de desgastes, fisuras, perforaciones, y probar su funcionamiento.	Cada 5000 hr	Mecánico	
C2	C2A	C2A02	S	N	N	S	S							Muestra de refrigerante del sistema de enfriamiento  Inspección de la bomba	250 hr Cada 5000 hr	Mecánico	

Tabla 14. Hoja de decisión sistema de admisión

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA
			SUBSISTEMA/COMPONENTE							SUB-SISTEMA No.					DE
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
D1	D1A	D1A01	S	N	N	S	S						Inspección y limpieza del filtro (limpieza hasta seis veces) El elemento de filtro de aire se debe reemplazar por lo menos una vez al año	Semanal  1 año	Ayudante mecánico
D1	D1A	D1A02	S	N	N	S	S						Inspección y limpieza del filtro (limpieza hasta seis veces) El elemento de filtro de aire se debe reemplazar por lo menos una vez al año	Semanal  1 año	
D1	D1A	D1A03	S	N	N	S	N	N	N				Cambio de muelles de las válvulas		
D1	D1B	D1B01	S	N	N	S	N	N	N				Revisar y desarmar el soplador. Si se ha producido ralladura en los lóbulos, éstos deben ser reemplazados.		

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO					SISTEMA No.			FACILITADOR			FECHA	HOJA	
			Motor de combustión					SUB-SISTEMA No.							DE	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por	
							S1	S2	S3							F
							N1	N2	N3							
D1	D1B	D1B02	S	N	N	S	S							Lubricar la conexión de engrase que está en el cojinete del motor del ventilador con grasa para cojinete de bolas de alta velocidad o un producto equivalente.  Inspeccione para ver si hay desgaste o daños. Si el eje está flojo, se debe efectuar una inspección de los componentes internos.	Cada 250 hr	
D1	D1B	D1B03	S	N	N	S	S							Inspección y limpieza del filtro limpieza hasta seis veces) El elemento de filtro de aire se debe reemplazar por lo menos una vez al año	Semanal  1 año	
D1	D1C	D1C01	S	N	N	S	S							Inspección y limpieza del filtro limpieza hasta seis veces) El elemento de filtro de aire se debe reemplazar por lo menos una vez al año	Semanal  1 año	

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA	
			Motor de combustión							SUB-SISTEMA No.					DE	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por	
			S	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3							
D2	D2A	D2A101	S	N	N	S	S							Inspeccione visualmente las tuberías del turbo para ver si hay presencia de aceite.	Cada 3000 hr	
D2	D2A	D2A102	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado Reparar turbocompresor		
D2	D2A	D2A103	S	N	N	S	S							Inspeccionar turbocompresor	Cada 3000 hr	
D2	D2A	D2A104	S	N	N	S	S							Inspección y una limpieza periódicas de la caja del compresor del turbocompresor (lado de admisión)	Cada 3000 hr	
D2	D2A	D2A105	S	N	N	S	S							Inspección y una limpieza periódicas de la caja del compresor del turbocompresor (lado de admisión)	Cada 3000 hr	
D2	D2A	D2A106	S	N	N	S	S							Inspeccionar turbocompresor	Cada 3000 hr	
D2	D2A	D2A107	S	N	N	S	S							Inspección y limpieza del filtro limpieza hasta seis veces) El elemento de filtro de aire se debe reemplazar por lo menos una vez al año	Semanal  1 año	
D2	D2A	D2A108	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado		

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO				SISTEMA No.			FACILITADOR			FECHA		HOJA
			SUBSISTEMA/COMPONENTE				SUB-SISTEMA No.								DE
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas "a falta de"			Frecuencia inicial		A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
D2	D2A	D2A109	S	N	N	S	N	N	N				Cambiar elementos dañados		

Tabla 15. Hoja de decisión sistema de escape

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO						SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA	
			SUBSISTEMA/COMPONENTE						SUB-SISTEMA No.					DE	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
E1	E1A	E1A01	S	N	N	S	S						Revisión estado de válvulas de escape.	Anual	
E1	E1A	E1A02	S	N	N	S	S						Revisión estado de válvulas de escape.	Anual	
E1	E1A	E1A03	S	N	N	S	S						Revisar tubería de escape y cambiar o reparar según corresponda.	Mensual	
E1	E1A	E1A04	S	N	N	S	N	N	N				Cambiar silenciador		
E1	E1A	E1A05	S	N	N	S	S						Revisar tubería de escape. Inspección visual.	Mensual	
E1	E1A	E1A06	S	N	N	S	S						Revisar tubería de escape. Inspección visual.	Mensual	

Tabla 16. Hoja de decisión sistema eléctrico

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA
			Motor de combustión							SUB-SISTEMA No.					DE
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
F1	F1A	F1A01	S	N	N	S	S						Revisar el nivel de electrolito de baterías	Cada 250o hr	Electricista
F1	F1A	F1A02	S	N	N	S	S						Revisar el nivel de electrolito de baterías	Cada 250o hr	Electricista
F1	F1A	F1A03	S	N	N	S	S						Periódicamente, compruebe que el motor de arranque funcione de manera apropiada. Compruebe las conexiones eléctricas y límpielas.	Cada 5000 hr	Electricista
F1	F1A	F1A04	S	N	N	S	S						Periódicamente, compruebe que el motor de arranque funcione de manera apropiada. Compruebe las conexiones eléctricas y límpielas.	Cada 5000 hr	Electricista
F1	F1B	F1B01	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado. Cambiar regulador de carga		

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA
			SUBSISTEMA/COMPONENTE							SUB-SISTEMA No.					DE
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
F1	F1B	F1B02	S	N	N	S	S						Tensionar correas y cambiar si encuentran grietas o desgaste. Una correa bien ajustada se comparará de 13 a 19 mm (0,50 a 0,75 pulg).	Cada 250 hr o 3 meses	Ayudante mecánico
F1	F1C	F1C01	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado. Cambiar o reparar el motor de arranque		
F1	F1C	F1C02	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado. Cambiar o reparar el motor de arranque		
F1	F1C	F1C03	S	N	N	S	S						Periódicamente, compruebe que el motor de arranque funcione de manera apropiada. Compruebe las conexiones eléctricas y límpielas.	Cada 5000 hr	Mecánico
F1	F1C	F1C04	S	N	N	S	S						Periódicamente, compruebe que el motor de arranque funcione de manera apropiada. Compruebe las conexiones eléctricas y límpielas.	Cada 5000 hr	Mecánico



Tabla 17. Hoja de decisión sistema protecciones

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO						SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA	
			Motor de combustión						SUB-SISTEMA No.					DE	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
G1	G1A	G1A01	S	N	N	S	S						Revise visualmente el estado de todos los medidores, los sensores y el cableado. Fíjese si hay cables y componentes que estén flojos, rotos o dañados. Los cables o componentes dañados se deben reparar o reemplazar de inmediato.	Cada 1000 hr	Electricista
G1	G1A	G1A02	S	N	N	S	S						Una revisión de la calibración de los dispositivos de protección del motor asegurará que las alarmas y los dispositivos de parada se activen en los puntos de calibración. Asegúrese de que los dispositivos de protección del motor funcionen correctamente.	Cada 1000 hr	Electricista
G2	G2A	G2A01	S	N	N	S	S						Revise visualmente el estado de todos los	Cada 1000 hr	Electricista

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO						SISTEMA No.			FACILITADOR			FECHA	HOJA	
			Motor de combustión													DE	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas			Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3								
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3								
														medidores, los sensores y el cableado. Fíjese si hay cables y componentes que estén flojos, rotos o dañados. Los cables o componentes dañados se deben reparar o reemplazar de inmediato.			
G2	G2A	G2A02	S	N	N	S	S							Una revisión de la calibración de los dispositivos de protección del motor asegurará que las alarmas y los dispositivos de parada se activen en los puntos de calibración. Asegúrese de que los dispositivos de protección del motor funcionen correctamente.	Cada 1000 hr	Electricista	
G3	G3A	G3A01	S	N	N	S	S							Revise visualmente el estado de todos los medidores, los sensores y el cableado. Fíjese si hay cables y componentes que estén flojos, rotos o dañados. Los cables o componentes dañados se deben reparar o reemplazar de inmediato.	Cada 1000 hr	Electricista	

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO					SISTEMA No.			FACILITADOR			FECHA	HOJA		
			Motor de combustión					SUB-SISTEMA No.							DE		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas			Frecuencia inicial	A realizar por
			S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4						
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3								
G3	G3A	G3A02	S	N	N	S	S							Una revisión de la calibración de los dispositivos de protección del motor asegurará que las alarmas y los dispositivos de parada se activen en los puntos de calibración. Asegúrese de que los dispositivos de protección del motor funcionen correctamente.	Cada 1000 hr	Electricista	
G4	G4A	G4A01	S	N	N	S	S							Revise visualmente el estado de todos los medidores, los sensores y el cableado. Fíjese si hay cables y componentes que estén flojos, rotos o dañados. Los cables o componentes dañados se deben reparar o reemplazar de inmediato.	Cada 1000 hr	Electricista	
G4	G4A	G4A02	S	N	N	S	S							Una revisión de la calibración de los dispositivos de protección del motor asegurará que las alarmas y los dispositivos de parada se activen en los puntos de calibración. Asegúrese de que los	Cada 1000 hr	Electricista	

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO						SISTEMA No.			FACILITADOR			FECHA	HOJA
			Motor de combustión													DE
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3							
														dispositivos de protección del motor funcionen correctamente.		
G5	G5A	G5A01	S	N	N	S	S							Revise visualmente el estado de todos los medidores, los sensores y el cableado. Fíjese si hay cables y componentes que estén flojos, rotos o dañados. Los cables o componentes dañados se deben reparar o reemplazar de inmediato.	Cada 1000 hr	Electricista
G6	G6A	G6A01	S	N	N	S	S							Revise visualmente el estado de todos los medidores, los sensores y el cableado. Fíjese si hay cables y componentes que estén flojos, rotos o dañados. Los cables o componentes dañados se deben reparar o reemplazar de inmediato.	Cada 1000 hr	Electricista
G6	G6A	G6A02	S	N	N	S	S							Una revisión de la calibración de los dispositivos de protección del motor asegurará que las alarmas y los dispositivos de parada se activen en los puntos de	Cada 1000 hr	Electricista

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO						SISTEMA No.			FACILITADOR			FECHA	HOJA		
			Motor de combustión													DE		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas			Frecuencia inicial	A realizar por	
							S1	S2	S3									F
							N1	N2	N3									
																calibración. Asegúrese de que los dispositivos de protección del motor funcionen correctamente.		
G6	G6A	G6A01	S	N	N	S	S									Revise visualmente el estado de todos los medidores, los sensores y el cableado. Fíjese si hay cables y componentes que estén flojos, rotos o dañados. Los cables o componentes dañados se deben reparar o reemplazar de inmediato.	Cada 1000 hr	Electricista
G6	G6A	G6A02	S	N	N	S	S									Una revisión de la calibración de los dispositivos de protección del motor asegurará que las alarmas y los dispositivos de parada se activen en los puntos de calibración. Asegúrese de que los dispositivos de protección del motor funcionen correctamente.	Cada 1000 hr	Electricista
G7	G7A	G7A01	S	N	N	S	S									Inspeccionar y ajustar válvulas del motor	Cada 3000 hr	Mecánico

Tabla 18. Hoja de decisión sistema generación eléctrica

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR	FECHA	HOJA
			Generador							SUB-SISTEMA					DE
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
H1	H1A	H1A01	S	N	N	S	S						Mantenimiento de acuerdo a RCM del motor de combustión interna		
H1	H1A	H1A02	S	N	N	S	S						Examine los siguientes dispositivos para ver si hay algún montaje flojo o si hay daños físicos: Transformadores, Fusibles, Condensadores, Antichispa.  Revisar el conductor del grupo electrógeno	Semanal  Cada 2000 hr	Electricista
H1	H1A	H1A03	S	N	N	S	S						Compruebe el inducido del excitador. Asegúrese de que el rectificador giratorio esté bien apretado.  Cambiar Rectificador giratorio	Anual  Cuando lo requiera cambiar	Electricista

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR			FECHA		HOJA
			Generador							SUB-SISTEMA								DE
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas			Frecuencia inicial		A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4						
							O1	O2	O3									
			N1	N2	N3													
H1	H1A	H1A04	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado. Revise los cortos y conexiones a tierra. Sustituya o repare					
H1	H1A	H1A05	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado. Revise los cortos y conexiones a tierra. Sustituya o repare					
H1	H1A	H1A06	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado. Revise los cortos y conexiones a tierra. Sustituya o repare					
H1	H1A	H1A07	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado. Cambiar tarjeta reguladora					
H1	H1A	H1A08	S	N	N	S	S						Medir y registrar la temperatura de Cojinete del Generador Medir vibraciones del grupo electrógeno			Semanal Cada 2000 hr o 6 meses	Mecánico	

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR			FECHA		HOJA
			SUSISTEMA/COMPONENTE							SUB-SISTEMA								DE
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas			Frecuencia inicial		A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4						
															Lubricar cojinete	Cada 10000 hr		
H2	H2A	H2A01	S	N	N	S	N	N	N						Ningún mantenimiento programado. Prueba de continuidad reparar en fabrica si están abiertas las bobinas			
H2	H2A	H2A02	S	S	N	S	S								Prueba de excitación por fuente ajena Verificación inicial: Compruebe si hay terminales sueltos, corroídos. Compruebe la conexión correcta entre el regulador de tensión y el generador. Verificar conexiones del controlador. Verificar conexiones del potenciómetro de ajuste de voltaje Verificar el regulador, los armónicos y RPM del motor	Semanal	Electricista	
H3	H3A	H3A01	S	S	N	S	S								Prueba medición de aislamiento	Cada 100 hr o	Electricist	

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO							SISTEMA No.			FACILITADOR			FECHA		HOJA
			Generador							SUB-SISTEMA								DE
Referencia de información			Evaluación de las consecuencia				H1	H2	H3				Tareas "a falta de"			Tareas propuestas		
							S1	S2	S3	O1	O2	O3						
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3									
																3 meses	a	
H3	H3A	H3A02	S	N	N	S	S							Comprobar carga del generador vigile el factor de potencia y la carga del generador.	Cuando sea necesario		Electricista	

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 PLAN DE MANTENIMIENTO GRUPO ELECTROGENO 3412C

El nuevo plan de mantenimiento está pensado para tener una mayor disponibilidad de los equipos críticos de la planta, es decir intenta mejorar la confiabilidad de la instalación.

A continuación exponemos las tareas de mantenimiento obtenidas a partir de la tabla de decisión del RCM:

El plan de mantenimiento desarrollado a continuación, clasifica las tareas por periodos de tiempo.

#### **Cuando sea necesario:**

##### **Motor:**

- Reemplazar la batería
- Limpiar el motor
- Cebiar el sistema de combustible
- Revisar el rectificador de rotación

##### **Generador:**

- Probar el grupo electrógeno ( Ver Anexo K)
- Probar el rectificador giratorio (Ver anexo N)
- Comprobar el varistor (Ver anexo L)
- Probar el devanado (Ver anexo M)
- 

#### **Diariamente:**

- Revisar el nivel de refrigerante del sistema de enfriamiento
- Inspeccionar el indicador de servicio del filtro de aire, limpiar de ser necesario
- Revisar el nivel de aceite del motor
- Drenar el filtro primario de combustible (trampa de agua)

- Revisar la carga del generador
- Revisar el calentador del agua de las camisas
- Revisar el factor de potencia
- Comprobar voltaje y frecuencia
- Inspección general del equipo
- Verificar que no haya fugas de agua caliente aceite y/o combustible.

### **Cada semana**

Realizar las actividades diarias y las siguientes:

- Revisar Conexiones eléctricas
- Inspeccionar el Generador (Ver anexo G).
- Medir y registrar la temperatura del cojinete del generador
- Revisar el conductor del generador (cable trenzado plano)
- Inspeccionar el panel de instrumentos
- Medir y registrar la temperatura del devanado del estator
- Inspección alrededor de la máquina
- Verificar el nivel de electrolito en las baterías, así como remover el sulfato en sus terminales.

### **Cada 100 horas de servicio o 3 meses**

- Probar el aislamiento (Ver anexo J)

### **Cada 250 horas de servicio**

- Tomar muestra de refrigerante del sistema de enfriamiento
- Inspeccionar y limpiar tomas magnéticas
- Inspeccionar, ajustar y/o reemplazar Correas del alternador y del ventilador
- Revisar el nivel de electrolito de las baterías
- Limpiar respiradero del cárter del motor
- Tomar muestra de aceite del motor
- Cambiar aceite del motor y filtro
- Lubricar cojinete del mando del ventilador
- Cambiar filtro secundario del sistema de combustible
- Drenar tanque de combustible.

- Inspeccionar y cambiar de ser necesario mangueras y abrazaderas
- Limpiar el radiador

#### **Cada 500 horas de servicio o cada año**

- Reemplazar el elemento de filtro primario del sistema de combustible (separador de agua)

#### **Cada 1.000 horas de servicio**

- Revisar dispositivos de protección del motor

#### **Cada 2000 horas de servicio o 6 meses**

- Secar el generador (Ver anexo I)
- Medir vibración del grupo electrógeno
- Tomar Muestra de refrigerante del sistema de enfriamiento

#### **Cada Año**

- Probar el rectificador giratorio (Ver anexo N)
- Limpiar y probar núcleo del posefriador
- Lubricar cojinete del generador
- Secar Generador (Ver anexo I)
- Medir vibración del grupo electrógeno
- Prueba de aislamiento (Ver anexo J)
- Comprobar conductores del estator

#### **Cada 3.000 horas de servicio**

- Cambiar refrigerante del sistema de enfriamiento (DEAC)
- Reemplazar termostato del agua del sistema de enfriamiento
- Inspeccionar el amortiguador de vibraciones del cigüeñal

- Inspeccionar montaje del motor
- Inspeccionar turbocompresor
- Inspeccionar/ajustar Juego de válvulas del motor

**Cada 5000 horas de servicio**

- Inspeccionar el alternador
- Probar e Intercambiar Boquillas de inyección de combustible
- Limpiar/Inspeccionar tomas magnéticas
- Inspeccionar el motor de arranque
- Inspeccionar la bomba de agua

**Cada 12.000 horas de servicio o 6 años**

Cambiar Refrigerante del sistema de enfriamiento (ELC) larga vida.

## 6. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas a lo largo de la aplicación del método R.C.M. al generador son las siguientes:

- La información de análisis de fallas no estaba debidamente documentada solo se tenía conocimiento de los tiempos de parada mas no de las causas de los fallos en los generadores, por esta razón se desarrolló la metodología desde cero tomando en cuenta las condiciones operacionales, la experiencia del personal y recomendaciones del fabricante.
- El equipo se dividió en subsistemas para un mayor detalle en la descripción de la función, en la falla funcional, en el modo de falla y en la consecuencia de la falla.
- Con base en la contextualización y aplicación del RCM, se identificaron los modos de falla posibles y críticos, como también el impacto y consecuencias que producen, para así lograr establecer las actividades de mantenimiento y su frecuencia, que nos permiten predecir o prevenir que ocurran fallas inesperadas en la operación.
- El análisis de modos y efectos de falla del RCM permite tener una información precisa de las causas de las fallas y su importancia, en el caso del sistema de energía auxiliar de los taladros da mayor claridad con el diagrama lógico de decisiones del RCM definir las tarea de mantenimiento específicas para contrarrestarlos. Bajo esta metodología, se definió la estrategia propuesta conformada por tareas preventivas, predictivas y correctivas.

- El proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) realizado constituye una herramienta fundamental para desarrollar una estrategia eficaz de mantenimiento y así alcanzar los objetivos de confiabilidad y disponibilidad de los equipos garantizando que cuando se programe el mantenimiento de generadores realicen las tareas de mantenimiento realmente necesarias, optimizando los recursos del área de mantenimiento.
- Al realizar un análisis RCM a un equipo permite al personal de mantención tener un mejor conocimiento del funcionamiento y posibles problemas que puede tener y de esta forma tomar decisiones más rápidas y asertivas en cuanto a las posibles fallas y su respectiva tarea proactiva a realizar.
- Las tareas de mantenimiento deben orientarse a eliminar y reducir los modos de falla y de no ser posible, hacer manejable las consecuencias, más que la falla en sí misma.
- El RCM se puede aplicar a cualquier equipo o conjunto de ellos. Lo fundamental es preparar una persona experta o facilitador en RCM y alimentarlo con el personal técnico, que es el que tiene los conocimientos de los activos, en cuanto a funcionamiento, operación, fallas, mantenciones, etc.

## BIBLIOGRAFÍA.

DEANE, L.A. Reliability Centered Maintenance for Diesel Engines. Unpublished B.Sc. Project Report. The University of the West Indies, 1996.

DIXEY, M. Putting Reliability at the Centre of Maintenance. Professional Engineering, Vol. 6(6), June 1993. pp. 23-25.

IGBA, J., ALEMZADEH, K., ANYANWU-EBO, I., GIBBONS, P., & FRIIS, J. (2013). A systems a Reliability-Centred Maintenance (RCM) of wind turbines. In Procedia Computer Science (Vol. 16, pág. 814–823).

JONES, R. (1995). Risk-Based Management: A Reliability- Centered Approach, Gulf Publishing Company, First Edition, Houston, Texas.

MOUBRAY, J. (2001). Introduction to Reliability-centered maintenance. In Reliability-centered maintenance.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. New York, 1997.

MOUBRAY, John. Reliability-centered maintenance RCM II., Second Edition. New York-E.E.U.U., Industrial press Inc.,1997. 421 p.

MOUBRAY, J. Reliability Centered Maintenance. London: Butterworth-Heinemann, 1991.

ORTIZ, Daniel. Mantenimiento centrado en confiabilidad – RCM. Bogotá, 2016. 120 p. Memorias Universidad Industrial de Santander.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. Washington, D.C., 1996.

PARRA, C. (1997). Metodología de Implantación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en la Refinería de Amuay, Universidad de los Andes, Postgrado en Ingeniería de Mantenimiento, Venezuela.

Reliability. (2007). Reliability centered maintenance project manager's guide.

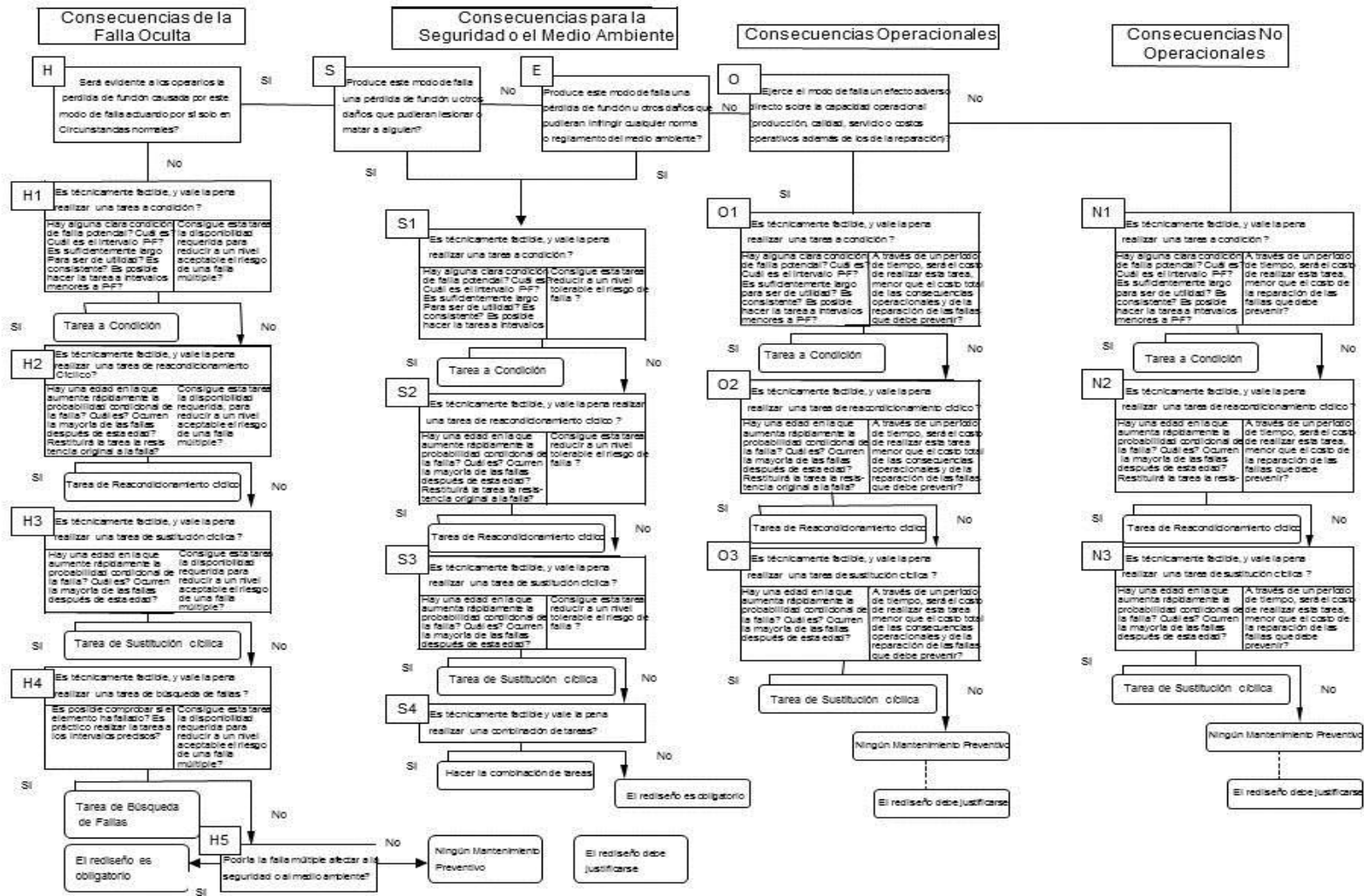
WOODHOUSE, J. (1996). Managing Industrial Risk, Chapman Hill Inc, London, pág 200 - 223.

ZWINGELSTEIN, Gilles C., Reliability Centered Maintenance, Annual Reliability and Maintainability Symposium, AR&MS, 1998.

## **ANEXOS**



## ANEXO B. DIAGRAMA DE DECISION DEL RCM





## ANEXO D. FICHA TECNICA GRUPO ELECTROGENO 3412C

### DIESEL GENERATOR SET



Image shown may not reflect actual package.

### PRIME

**725 e kW 906 kVA  
60 Hz 1800 rpm 480 Volts**

Caterpillar is leading the power generation marketplace with Power Solutions engineered to deliver unmatched flexibility, expandability, reliability, and cost-effectiveness.

### FEATURES

#### FUEL/EMISSIONS STRATEGY

- Low Fuel consumption

#### UL 2200 / CSA - Optional

- UL 2200 listed packages
  - CSA Certified
- Certain restrictions may apply.  
Consult with your Cat® Dealer.

#### FULL RANGE OF ATTACHMENTS

- Wide range of bolt-on system expansion attachments, factory designed and tested
- Flexible packaging options for easy and cost effective installation

#### SINGLE-SOURCE SUPPLIER

- Fully prototype tested with certified torsional vibration analysis available

#### WORLDWIDE PRODUCT SUPPORT

- Cat dealers provide extensive post sale support including maintenance and repair agreements
- Cat dealers have over 1,800 dealer branch stores operating in 200 countries
- The Cat® S·O·S™ program cost effectively detects internal engine component condition, even the presence of unwanted fluids and combustion by-products

#### CAT® 3412C TA DIESEL ENGINE

- Reliable, rugged, durable design
- Field-proven in thousands of applications worldwide
- Four-stroke-cycle diesel engine combines consistent performance and excellent fuel economy with minimum weight

#### CAT GENERATOR

- Designed to match the performance and output characteristics of Cat diesel engines
- Single point access to accessory connections
- UL 1446 recognized Class H insulation

#### CAT EMCP 4 CONTROL PANELS

- Simple user friendly interface and navigation
- Scalable system to meet a wide range of customer needs
- Integrated Control System and Communications Gateway

# PRIME 725 ekW 906 kVA

60 Hz 1800 rpm 480 Volts



## FACTORY INSTALLED STANDARD & OPTIONAL EQUIPMENT

System	Standard	Optional
Air Inlet	• Air cleaner	
Cooling	• Package mounted radiator	
Exhaust	• Exhaust flange outlet	<input type="checkbox"/> Exhaust mufflers (except Tier 4)
Fuel	• Primary fuel filter with integral water separator • Secondary fuel filters • Fuel priming pump	
Generator	• Matched to the performance and output characteristics of Cat engines • Load adjustment module provides engine relief upon load impact and improves load acceptance and recovery time • IP23 protection	<input type="checkbox"/> Oversize and premium generators <input type="checkbox"/> Permanent magnet excitation (PMG) <input type="checkbox"/> Internal excited (IE) <input type="checkbox"/> Anti-condensation space heaters
Power Termination	• Bus bar	<input type="checkbox"/> Circuit breakers, UL listed <input type="checkbox"/> Circuit breakers, IEC compliant
Control Panel	• EMCP 4 Genset Controller	<input type="checkbox"/> EMCP 4.2 <input type="checkbox"/> EMCP 4.3 <input type="checkbox"/> EMCP 4.4 <input type="checkbox"/> Generator temperature monitoring and protection <input type="checkbox"/> Load share module <input type="checkbox"/> Digital I/O module <input type="checkbox"/> Remote monitoring software
Mounting		<input type="checkbox"/> Rubber vibration isolators
Starting/Charging		<input type="checkbox"/> Battery chargers <input type="checkbox"/> Oversize batteries <input type="checkbox"/> Jacket water heater <input type="checkbox"/> Heavy duty starting system <input type="checkbox"/> Charging alternator <input type="checkbox"/> Air starting motor with control and silencer (3500 & C175 models only)
General	• Paint - Caterpillar Yellow except rails and radiators gloss black	The following options are based on regional and product configuration: <input type="checkbox"/> Seismic Certification per Applicable Building Codes: IBC 2000, IBC 2003, IBC 2006, IBC 2009, CBC 2007 <input type="checkbox"/> EU Certificate of Conformance (CE) <input type="checkbox"/> UL 2200 package <input type="checkbox"/> CSA Certification <input type="checkbox"/> EEC Declaration of Conformity <input type="checkbox"/> Enclosures- sound attenuated, weather protective <input type="checkbox"/> Automatic transfer switches (ATS) <input type="checkbox"/> Integral & sub-base fuel tanks <input type="checkbox"/> Integral & sub-base UL listed dual wall fuel tanks

## PRIME 725 ekW 906 kVA

60 Hz 1800 rpm 480 Volts



### SPECIFICATIONS

#### CAT GENERATOR

Frame size.....	597
Excitation.....	Self Excitation
Pitch.....	0.8000
Number of poles.....	4
Number of bearings.....	Single bearing
Number of Leads.....	012
Insulation.....	UL 1446 Recognized Class H with tropicalization and antiabrasion - Consult your Caterpillar dealer for available voltages
IP Rating.....	Drip Proof IP22
Alignment.....	Pilot Shaft
Overspeed capability.....	150
Wave form Deviation (Line to Line).....	Less than 5% deviation
Voltage regulation.....	Less than +/- 1/2% (steady state) Less than +/- 1% (no load to full load)

#### CAT DIESEL ENGINE

3412C TA, V-12, 4-Stroke Water-cooled Diesel	
Bore.....	137.20 mm (5.4 in)
Stroke.....	152.40 mm (6.0 in)
Displacement.....	27.02 L (1648.86 in <sup>3</sup> )
Compression Ratio.....	13.0:1
Aspiration.....	TA
Fuel System.....	Pump and Lines
Governor Type.....	PEEC - Cat Electronic

#### CAT EMCP 4 SERIES CONTROLS

EMCP 4 controls including:

- Run / Auto / Stop Control
- Speed and Voltage Adjust
- Engine Cycle Crank
- 24-volt DC operation
- Environmental sealed front face
- Text alarm/event descriptions

Digital indication for:

- RPM
- DC volts
- Operating hours
- Oil pressure (psi, kPa or bar)
- Coolant temperature
- Volts (L-L & L-N), frequency (Hz)
- Amps (per phase & average)
- kW, kVA, kVAR, kW-hr, %kW, PF

Warning/shutdown with common LED indication of:

- Low oil pressure
- High coolant temperature
- Overspeed
- Emergency stop
- Failure to start (overcrank)
- Low coolant temperature
- Low coolant level

Programmable protective relaying functions:

- Generator phase sequence
- Over/Under voltage (27/59)
- Over/Under Frequency (81 o/u)
- Reverse Power (kW) (32)
- Reverse reactive power (kVAr) (32RV)
- Overcurrent (50/51)

Communications:

- Six digital inputs (4.2 only)
- Four relay outputs (Form A)
- Two relay outputs (Form C)
- Two digital outputs
- Customer data link (Modbus RTU)
- Accessory module data link
- Serial annunciator module data link
- Emergency stop pushbutton

Compatible with the following:

- Digital I/O module
- Local Annunciator
- Remote CAN annunciator
- Remote serial annunciator

# PRIME 725 ekW 906 kVA

60 Hz 1800 rpm 480 Volts



## TECHNICAL DATA

Open Generator Set - - 1800 rpm/60 Hz/480 Volts	DM0633	
<b>Package Performance</b>		
Genset Power rating with fan	725 ekW	
Genset Power rating @ 0.8 pf	906.25 kVA	
<b>Fuel Consumption</b>		
100% load with fan	198.8 L/hr	52.5 Gal/hr
75% load with fan	150.6 L/hr	39.8 Gal/hr
50% load with fan	106.5 L/hr	28.1 Gal/hr
<b>Cooling System<sup>1</sup></b>		
Air flow restriction (system)	0.12 kPa	0.48 in. water
Air flow (max @ rated speed for radiator arrangement)	1464 m <sup>3</sup> /min	51701 cfm
Engine coolant capacity	59.0 L	15.6 gal
Radiator coolant capacity	90.0 L	23.8 gal
Engine Coolant capacity with radiator/exp. tank	149.0 L	39.4 gal
<b>Exhaust System</b>		
Combustion air inlet flow rate	63.0 m <sup>3</sup> /min	2224.8 cfm
Exhaust stack gas temperature	511.8 °C	953.2 °F
Exhaust gas flow rate	175.2 m <sup>3</sup> /min	6187.1 cfm
Exhaust flange size (internal diameter)	203.2 mm	8.0 in
Exhaust system backpressure (maximum allowable)	6.7 kPa	26.9 in. water
<b>Heat rejection</b>		
Heat rejection to coolant (total)	457 kW	25990 Btu/min
Heat rejection to exhaust (total)	764 kW	43449 Btu/min
Heat rejection to atmosphere from engine	108 kW	6142 Btu/min
Heat rejection to atmosphere from generator	32.6 kW	1854.0 Btu/min
<b>Alternator<sup>2</sup></b>		
Motor starting capability @ 30% voltage dip	2131 skVA	
Frame	597	
Temperature Rise	105 °C	189 °F
<b>Lube System</b>		
Sump refill with filter	68.0 L	18.0 gal
<b>Emissions<sup>3</sup></b>		
NOx g/hp-hr	5.96 g/hp-hr	
CO g/hp-hr	.67 g/hp-hr	
HC g/hp-hr	.13 g/hp-hr	
PM g/hp-hr	.102 g/hp-hr	

<sup>1</sup> For ambient and altitude capabilities consult your Cat dealer. Air flow restriction (system) is added to existing restriction from factory.

<sup>2</sup> UL 2200 Listed packages may have oversized generators with a different temperature rise and motor starting characteristics. Generator temperature rise is based on a 40°C ambient per NEMA MG1-32.

<sup>3</sup> Emissions data measurement procedures are consistent with those described in EPA CFR 40 Part 89, Subpart D & E and ISO8178-1 for measuring HC, CO, PM, NOx. Data shown is based on steady state operating conditions of 77°F, 28.42 in HG and number 2 diesel fuel with 35° API and LHV of 18,390 btu/lb. The nominal emissions data shown is subject to instrumentation, measurement, facility and engine to engine variations. Emissions data is based on 100% load and thus cannot be used to compare to EPA regulations which use values based on a weighted cycle.

## ANEXO E. PROTOCOLO DE PRUEBAS DE GRUPOS ELECTROGENOS

	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS DE PLANTAS ELECTRICAS EN BANCO DE CARGA</b>	CSRF06V5 Vigencia:2006-07-18 Pág.1 de 1
--	---	--

FECHA DE EVALUACIÓN:  /  /   
 (DD) (MM) (AA)

Orden de trabajo	Cliente	Tipo de Reparación	Tipo de Contrato	KW Placa	Duración Prueba	Horometro
<b>MOTOR</b>			<b>GENERADOR</b>			
Modelo:	Serie:	Arreglo:	Modelo:	Serie:	Arreglo:	

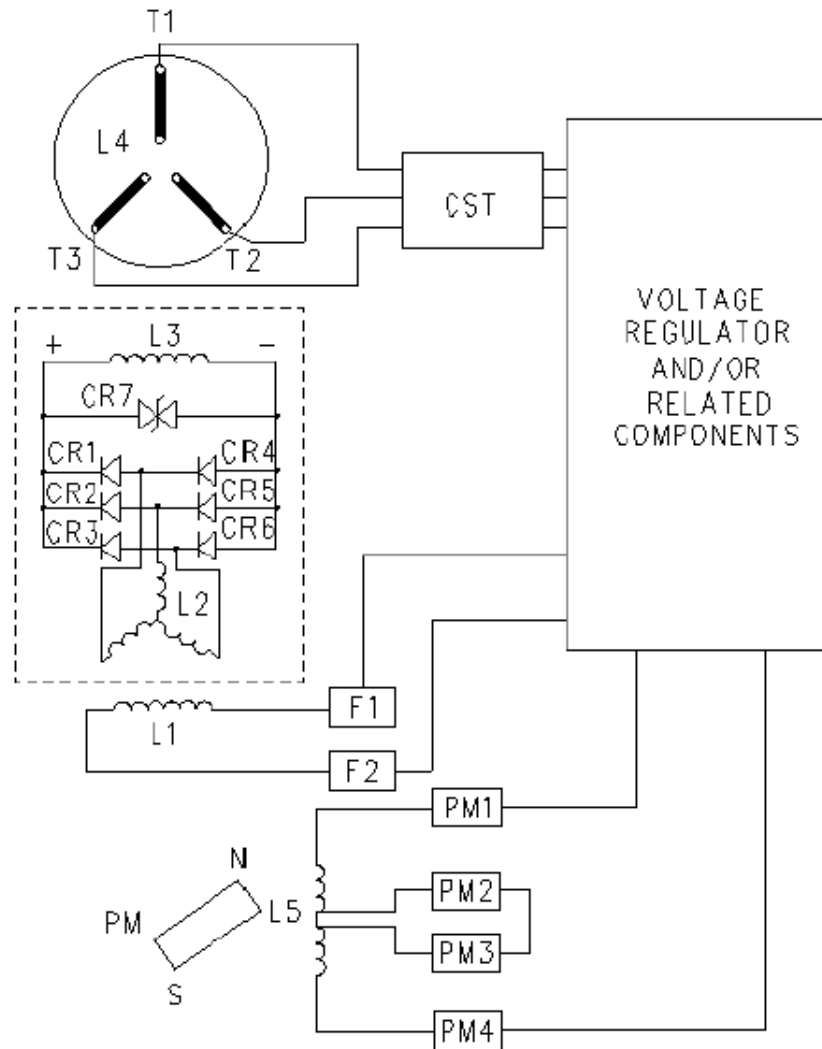
SECUENCIA DE PRUEBA											
GARGA APLICADA (KW)	CARGA %	TIEMPO DE CARGA	GENERADOR				MOTOR				
			VOLTAJE	FRECUENCIA	AMPERAJE	VOLTAJE BATERIA	RPM	PSI ACEITE	TEMP. AGUA	TEMP. AMBIENTE	TEMP. ESCAPE
0											
181											
362											
543											
725											

TEMPERATURAS												
CARGA(%)	CIL1	IL2	CIL3	CIL4	CIL5	CIL6	CIL7	CIL8	CIL9	CIL10	CIL11	CIL12
%												
25%												
50%												
75%												
98%												

CARGA (%)	RODAMIENTO	CIL 14	CIL 15	CIL 16	OBSERVACIONES: _____ _____ _____ _____ _____
0					
25					
50					
75					
98					

Supervisor de Taller: \_\_\_\_\_

## ANEXO F. DIAGRAMA DE CABLEADO DEL GENERADOR PMPE



- (CR1 a CR6) Rectificadores
- (CR7) Varistor
- (L1) Campo de excitación (estator)
- (L2) Armadura del excitador (rotor)
- (L3) Campo principal (rotor)
- (L4) Armadura principal (estator)
- (L5) Armadura excitadora piloto
- (PM) Imán permanente
- (RFA) Conjunto de campo giratorio
- (CST) Transformador suministrado por el cliente
- (T1, T2, T3) Terminales del generador y / o conductores del generador

## ANEXO G. INSPECCION DEL GENERADOR

La prueba de funcionamiento del grupo electrógeno es una prueba simplificada que se puede realizar para determinar si el generador funciona. La prueba de funcionamiento del grupo electrógeno se debe realizar en un grupo electrógeno que esté bajo carga.

La prueba de funcionamiento del grupo electrógeno determina si las siguientes condiciones ocurren:

- Se está generando un voltaje de fase.
- Los voltajes de fase están equilibrados.
- Los voltajes de fase cambian con relación a la velocidad del motor.

La prueba de funcionamiento del grupo electrógeno consta de los siguientes pasos:

1. Pare el generador. Conecte el devanado de alto voltaje del transformador de voltaje a los terminales del generador (T1) y (T2). Conecte el voltímetro al devanado de bajo voltaje. Si se dispone de dos transformadores, conecte el devanado de alto voltaje del segundo transformador a los terminales del generador (T1) y (T3). Conecte juntos los terminales secundarios que corresponden al terminal del generador (T2) de ambos transformadores.
2. Desconecte los cables "F1+" y "F2-" del regulador de voltaje. Desconecte el generador de la carga.
3. Conecte una batería de automóvil de 12 VCC a los cables "F1+" y "F2-".
4. pase el grupo electrógeno a la mitad de la velocidad nominal.
5. Mida el voltaje de corriente alterna entre los terminales de bajo voltaje del transformador que corresponden a los siguientes terminales del generador: "T1" y "T2", "T2" y "T3" y "T3" y "T1". Anote los voltajes.
6. Vigile el voltaje entre dos de las ubicaciones indicadas en el paso 5. Disminuya la velocidad del grupo electrógeno en un 10%. Aumente la velocidad del grupo electrógeno en un 10%.
7. Los voltajes que se midieron en el paso 5 deben ser casi iguales. Estos voltajes deben medir un mínimo de 85 VCA.
8. Cuando se disminuye la velocidad del grupo electrógeno en un 10%, los voltajes que se midieron en el paso 6 deben disminuir en un 10%. Cuando se aumenta la velocidad del grupo electrógeno en un 10%, los voltajes que se midieron en el paso 6 deben aumentar en un 10%

## ANEXO H. PRUEBAS EN EL CAMPO DE EXCITACIÓN – FLASH

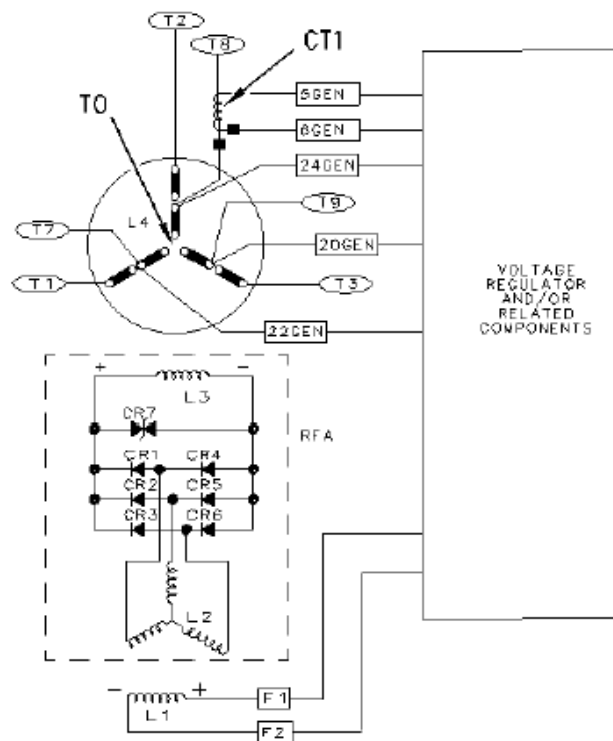


Diagrama de cableado del generador auto excitado

(CR1-C6) Diodos

(CR7) Varistor

(L1) Campo de excitación (estator)

(L2) Armadura del excitador (rotor)

(L3) Campo principal (rotor)

(L4) Armadura principal (estator)

(RFA) Conjunto de campo giratorio

(CT1) Transformador opcional del voltaje de la tensión

(T0, T1, T2, T3, T7, T8, T9) Terminales del generador

Los generadores autoexcitados pueden perder el magnetismo residual que normalmente existe en el campo excitador (L1) y el generador campo principal (L3). El magnetismo residual es necesario para iniciar el proceso de generación. El magnetismo puede ser restaurado intermitente del campo excitador (L1) con corriente continua. Se puede utilizar una batería de 6 VCC para alimentar la corriente continua.

No apague los generadores de excitación de piloto de imán permanente (PMPE).

Pueden producirse daños en el grupo electrógeno.

Hay dos métodos de destellar el campo:

Parpadeo estático (motor parado)

Parpadeo dinámico (motor en funcionamiento)

Parpadeo estático (motor parado):

1. Detenga el motor.
2. En el regulador de voltaje, desconecte el cable F1 GEN del terminal F1 y desconecte el cable F2 GEN de terminal F2.
3. Conecte el cable positivo de la fuente de 6 voltios al cable F1 GEN.
4. Coloque momentáneamente el cable negativo de la fuente de 6 voltios en el cable F2 GEN (dos o tres veces).

Nota: No sujete el cable negativo al cable F2 GEN durante más de uno o dos segundos. Conecte todos los cables que antes estaban desconectados.

## ANEXO I. MÉTODOS DE SECADO EN EL GENERADOR

Si los valores de la resistencia del material aislante son menores que los valores recomendados, se debe seleccionar uno de los siguientes procedimientos de secado. Esta decisión se debe basar en los siguientes factores:

- El tamaño de la unidad
- La ubicación de la unidad
- El equipo que está disponible
- La experiencia del personal

Quite el regulador de voltaje. Cubra todas las aberturas de admisión. Cubra todos los orificios de descarga. Proporcione una abertura en la parte superior de la máquina. Esta abertura permitirá que la humedad se evapore. Preferentemente, esta abertura debe estar ubicada en el extremo del ventilador. Vigile las temperaturas del bobinado. **NO APLIQUE CALOR DEMASIADO RÁPIDAMENTE.** La temperatura del bobinado debe subir gradualmente a un régimen de 10 °C (50 °F) por hora hasta 85 °C (185 °F). Mida la resistencia del material aislante en intervalos de 1 hora. Típicamente, la resistencia del material aislante bajará lentamente mientras la temperatura está subiendo. Luego, la resistencia del material aislante empezará a aumentar a un régimen lento hasta que alcance un nivel constante.

Los siguientes métodos se pueden usar para secar un generador:

- Método del aire de circulación automática
- Método del horno
- Método de corriente controlada

## Método de aire de circulación automática

Haga funcionar el motor y desconecte la carga del generador. El funcionamiento del motor ayudará a la circulación del aire. Opere los calentadores de espacio del generador.

## Método de horno

Coloque el generador completo dentro de un horno secador de aire forzado durante 4 horas a 65 °C (149 °F).

## Método de corriente controlada

Tabla 1

Herramientas necesarias		
Número de pieza	Descripción	Cant.
225-8266	Grupo de amperímetro	1
	Fuente de potencia externa	1
	Reóstato	1

Se puede usar calor para secar los devanados del generador. Para producir este calor, se permite fluir una corriente controlada a través del generador. No se generan altos voltajes durante el siguiente procedimiento. Por lo tanto, no se dañará el material aislante.

1. Obtenga una fuente de corriente externa.
2. Consulte el diagrama anterior. Desconecte "F1+" del regulador de voltaje. Desconecte "F2-" del regulador de voltaje. Desconecte la carga del generador. Conecte los conductores de salida del generador "T0", "T1",

"T2" y "T3". Instale el amperímetro de mordaza en el conductor de salida del generador "T1".

3. Nota: Cuando la corriente de línea se mide en unidades de múltiples conductores, mida la corriente en cada conductor por fase. Se pueden sumar entonces las corrientes.
4. Consulte el diagrama anterior. Conecte el reóstato. Ajuste el reóstato al valor máximo de resistencia. Conecte la fuente de corriente externa a los cables "F1+" y "F2-".
5. Arranque el grupo electrógeno. Haga funcionar el grupo electrógeno a la velocidad en vacío.
6. Vigile la corriente de fase. Aumente gradualmente las rpm del motor. Aumente las rpm del motor hasta que se satisfaga una de las condiciones siguientes:
  7. Se obtiene la corriente de fase nominal.
  8. Se obtiene la velocidad máxima del grupo electrógeno.
  9. Si todavía se necesita más corriente de fase, gire lentamente el reóstato hasta que se alcance la corriente de fase nominal.
10. Cada hora, pare el procedimiento de secado. Compruebe la resistencia del aislamiento. Repita los pasos anteriores hasta que la resistencia del aislamiento sea aceptable.

## **ANEXO J. PRUEBA DE AISLAMIENTO**

### **Pruebas periódicas recomendadas de aislamiento**

Periódicamente, use un megohmímetro para verificar la resistencia del aislamiento del devanado del estator principal del generador. El medio ambiente en que se encuentra el generador determina la frecuencia de esta prueba. Las lecturas anteriores del megohmímetro determinarán también la frecuencia de esta prueba.

Compruebe los devanados del estator principal con un megohmímetro en las siguientes situaciones:

El grupo electrógeno se arranca por primera vez.

El grupo electrógeno se saca de almacenamiento.

El grupo electrógeno está operando en un ambiente húmedo. Compruebe cada tres meses.

El grupo electrógeno no está protegido contra los elementos en un área cerrada. Compruebe cada tres meses.

El grupo electrógeno está instalado en un área cerrada. Esta zona debe tener poca humedad y tener temperaturas uniformes. Compruebe cada seis meses.

El grupo electrógeno no se ha operado bajo carga durante tres meses. Compruebe semanalmente el grupo electrógeno. Use calentadores de ambiente alrededor del grupo electrógeno si el generador está expuesto a un ambiente de agua de mar o si la humedad está por encima de 75%. Use también calentadores de ambiente si un resultado de la prueba estuvo por debajo de 3 megaohmios.

Se deben usar calentadores de ambiente siempre que el grupo electrógeno no esté bajo carga. Se deben usar también calentadores de ambiente siempre que haya sal o alta humedad presente. Usar un calentador de ambiente en estas condiciones es la única forma de mantener las lecturas del megohmímetro por encima de un megohmio. Use calentadores de ambiente solamente cuando el generador no esté funcionando.

### **Procedimiento recomendado de prueba periódica del aislamiento**

1. Ponga el generador fuera de servicio.
2. Inspeccione visualmente para ver si hay humedad en el generador. Si hay humedad, no utilice el megohmímetro. Seque primero la unidad. Vea la Instrucción Especial, SEHS9124, "Limpieza y secado de grupos electrógenos".
3. Inspeccione la instalación. Determine el equipo que se va a comprobar con el Megohmímetro 9U-6003.
4. Descargue la capacitancia de los devanados.
5. Desconecte "T0" de tierra.
6. Desconecte los cables detectores del regulador: "20", "22" y "24" .
7. Desconecte los cables del transformador de voltaje del tablero de control (T1, T2 y T3).
8. Desconecte cualquier cable detector del equipo de conmutación. Desconecte cualquier cable detector de otros dispositivos.
9. Conecte el conductor rojo del megohmímetro a tierra.
10. Conecte el conductor negro del megohmímetro a "T0".
11. Para unidades de 600 voltios o menos, fije el voltaje a 500 voltios. Para unidades de más de 600 voltios, fije el voltaje a 1.000 voltios.
12. Use el Método de resistencia a 30/60 segundos:
  - a) Aplique voltaje.
  - b) Observe las lecturas a los 30 segundos. Observe las lecturas a los 60 segundos.

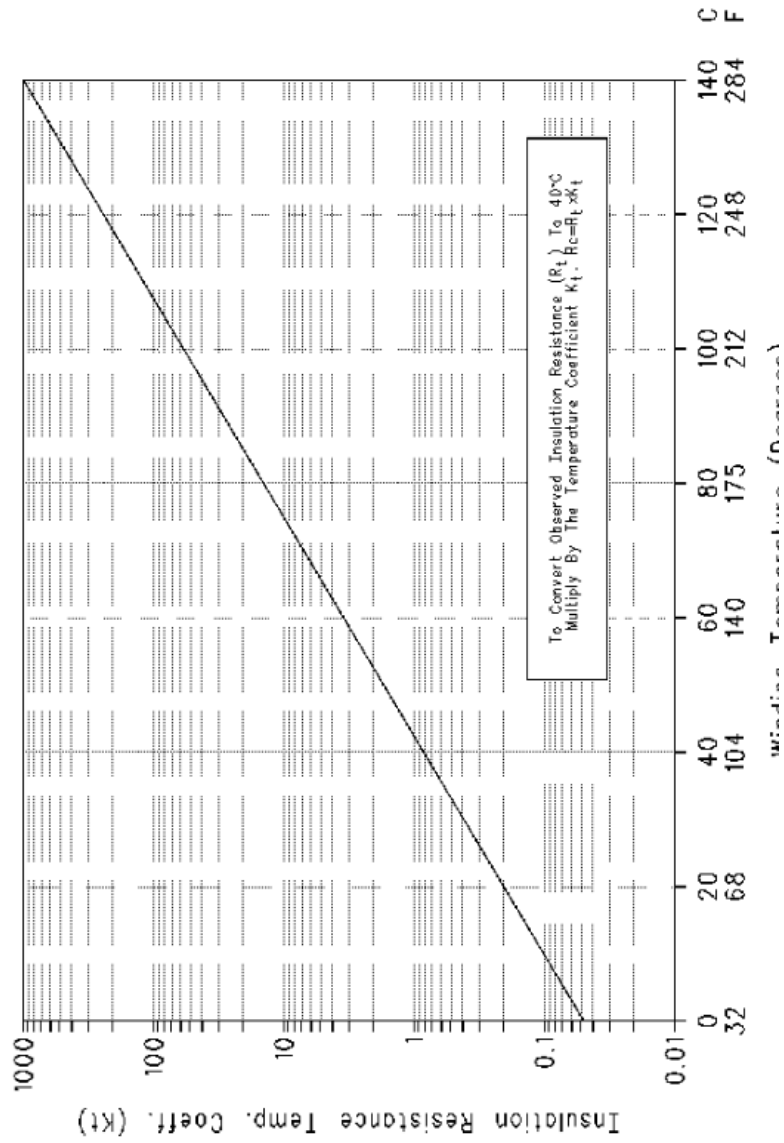
- c) Anote la lectura de los 60 segundos. Esta lectura se debe corregir en función de la temperatura.
- d) Anote la temperatura.
- e) Anote la humedad.
- f) Quite el voltaje.

13. Evalúe las lecturas. El valor real de la resistencia puede variar considerablemente entre generadores. Por esta razón, se debe evaluar la condición del material aislante. Base esta evaluación en la comparación entre la lectura de resistencia a los 60 segundos y las lecturas que se tomaron en fechas anteriores. Estas dos lecturas se deben tomar en condiciones similares. Si una lectura de resistencia a los 60 segundos tiene una reducción del 50% con respecto a la lectura anterior, el material aislante ha podido absorber demasiada humedad.

14. Ponga el megohmímetro en la posición "OFF" (desconectada). Esto descargará los conductores del megohmímetro. Desconecte los conductores del megohmímetro.

Nota: Los resultados de las pruebas de la resistencia del aislamiento indican cuando la limpieza y/o la reparación se están convirtiendo en factores críticos. Generalmente, la resistencia del aislamiento variará considerablemente con la temperatura. Por lo tanto, haga las pruebas siempre a la misma temperatura y humedad. Vea la ilustración 1.

Approx. Insulation Resistance Variation  
with Temperature (IEEE 43-1974)



## ANEXO K. PRUEBA DE GRUPO ELECTROGENO

La prueba de funcionamiento del grupo electrógeno es una prueba simplificada que se puede realizar para determinar si el generador funciona. La prueba de funcionamiento del grupo electrógeno se debe realizar en un grupo electrógeno que esté bajo carga.

La prueba de funcionamiento del grupo electrógeno determina si las siguientes condiciones ocurren:

- Se está generando un voltaje de fase.
- Los voltajes de fase están equilibrados.
- Los voltajes de fase cambian con relación a la velocidad del motor.

La prueba de funcionamiento del grupo electrógeno consta de los siguientes pasos:

1. Pare el generador. Conecte el devanado de alto voltaje del transformador de voltaje a los terminales del generador (T1) y (T2). Conecte el voltímetro al devanado de bajo voltaje. Si se dispone de dos transformadores, conecte el devanado de alto voltaje del segundo transformador a los terminales del generador (T1) y (T3). Conecte juntos los terminales secundarios que corresponden al terminal del generador (T2) de ambos transformadores.
2. Desconecte los cables "F1+" y "F2-" del regulador de voltaje. Desconecte el generador de la carga.
3. Conecte una batería de automóvil de 12 VCC a los cables "F1+" y "F2-".

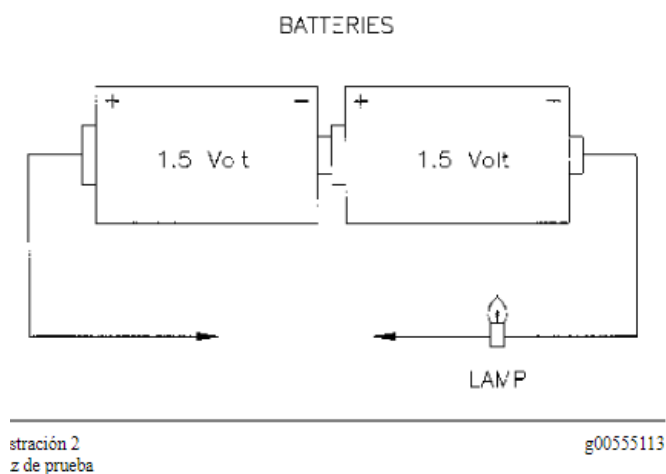
4. Opere el grupo electrógeno a la mitad de la velocidad nominal.
5. Mida el voltaje de corriente alterna entre los terminales de bajo voltaje del transformador que corresponden a los siguientes terminales del generador: "T1" y "T2", "T2" y "T3" y "T3" y "T1". Anote los voltajes.
6. Vigile el voltaje entre dos de las ubicaciones indicadas en el paso 5. Disminuya la velocidad del grupo electrógeno en un 10%. Aumente la velocidad del grupo electrógeno en un 10%.
7. Los voltajes que se midieron en el paso 5 deben ser casi iguales. Estos voltajes deben medir un mínimo de 85 VCA.
8. Cuando se disminuye la velocidad del grupo electrógeno en un 10%, los voltajes que se midieron en el paso 6 deben disminuir en un 10%. Cuando se aumenta la velocidad del grupo electrógeno en un 10%, los voltajes que se midieron en el paso 6 deben aumentar en un 10%.

## ANEXO L. COMPROBAR VARISTOR

### Ohmímetro

Se puede usar un ohmímetro para comprobar un varistor (CR7). Coloque un ohmímetro a través del varistor. La resistencia debe ser como mínimo 15.000 ohmios. Si la resistencia es menos de 15.000 ohmios, el varistor es defectuoso.

### Luz de prueba



Vea la luz de prueba que se muestra en la ilustración 2. Siga estos pasos para comprobar el varistor:

1. Desconecte cualquiera de los dos conductores del varistor (CR7) .
2. Coloque la luz de prueba a través del varistor.
3. Observe los resultados. La lámpara no se debe encender.
4. Invierta la luz de prueba.
5. Observe los resultados. La lámpara no se debe encender.

Si la luz de prueba se enciende en cualquiera de los dos sentidos, hay un cortocircuito en el varistor. Reemplace cualquier varistor defectuoso con un

varistor que tenga características de funcionamiento comparables. Incluya la información siguiente cuando encargue un varistor de reemplazo:

- Número de pieza del varistor
- Número de serie del generador

Después de reemplazar el varistor, verifique que la correa del conductor del devanado de campo está enrollada firmemente en el eje. Además, verifique que la correa del conductor del devanado de campo está amarrada firmemente.

## ANEXO M. PROBAR DEVANADO

Mida la resistencia de los siguientes devanados: (L1), (L2), (L3), (L4) y (L5). El devanado que se está comprobando debe desconectarse de los otros componentes antes de que se pueda medir la resistencia. Las siguientes medidas de resistencia son aproximaciones. Si el valor medido no está cerca de la aproximación indicada, el devanado está probablemente dañado. Para un valor más exacto de resistencia, consulte la Información técnica de mercadeo (TMI). Vea la configuración de generador de que se trata.

Nota: La temperatura del bobinado afecta la resistencia. Cuando la temperatura del bobinado aumenta, la resistencia del devanado aumenta también. Cuando la temperatura del bobinado disminuye, la resistencia del devanado disminuye también. Por lo tanto, se puede realizar una medición correcta solamente cuando el devanado está a la temperatura ambiente.

Los siguientes devanados del inducido tienen muy poca resistencia: (L2), (L4) y (L5). La resistencia de estos devanados medirá cerca de 0 ohmios. Use un miliohmímetro para medir la resistencia de los devanados del inducido.

Inducido del excitador (rotor) (L2) - Menos de 0,1 ohmio

Inducido principal (estator) (L4) - Menos de 0,1 ohmio

Inducido del excitador piloto (L5) - Menos de 0,1 ohmio

Use un multímetro para medir la resistencia de los devanados de campo (L1) y (L3)

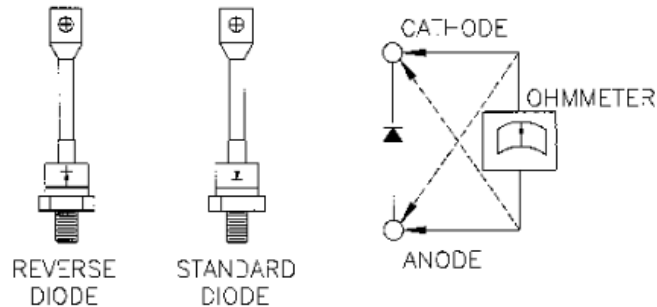
Campo del excitador (estator) (L1) - Aproximadamente de 3,0 ohmios a 6,0 ohmios

Campo principal (rotor) (L3) - Aproximadamente de 0,75 ohmios a 2,0 ohmios

Nota: No debe haber continuidad entre cualquiera de los devanados y tierra. No debe haber continuidad entre cualquiera de los devanados y otro devanado.

## ANEXO N. PROBAR RECTIFICADOR GIRATORIO

### Comprobación de un rectificador giratorio con excitador sin escobillas usando un ohmímetro



Si se sospecha la avería de un rectificador, use el siguiente procedimiento.

1. Quite la tapa del excitador.
2. Quite la tuerca que sujeta el rectificador al pozo térmico.
3. Quite el conductor del diodo.
4. Levante el rectificador del pozo térmico.
5. Vea la ilustración. Conecte los conductores del ohmímetro en el rectificador. Observe la lectura del ohmímetro.
6. Invierta los conductores del ohmímetro. Observe la lectura del ohmímetro.

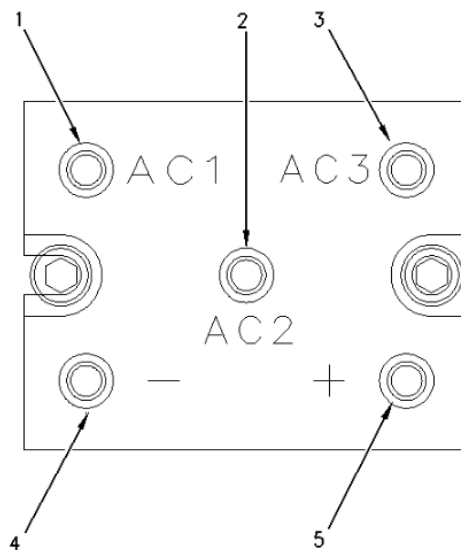
El ohmímetro debe indicar una resistencia baja cuando sus conductores están midiendo la resistencia del rectificador en un sentido. El ohmímetro debe indicar una resistencia alta cuando se invierten los conductores.

Si el ohmímetro indica una resistencia baja en ambos sentidos, el rectificador está cortocircuitado. Una resistencia alta en ambos sentidos indica que el rectificador tiene un circuito abierto.

Reemplace un rectificador defectuoso con otro rectificador que tenga características comparables de funcionamiento. Incluya la siguiente información cuando encargue un rectificador de repuesto:

- Número de pieza del rectificador
- Número de modelo del excitador
- Tipo de excitador
- Número de serie del generador

### Prueba del bloque rectificador



Bloque rectificador  
(1) Terminal "AC1"  
(2) Terminal "AC2"  
(3) Terminal "AC3"  
(4) Terminal negativo  
(5) Terminal positivo

Realice los siguientes pasos para comprobar el bloque rectificador. Cuando sea posible, use la escala de prueba del diodo. Si no hay ninguna escala de prueba del diodo, use la escala de resistencia.

1. Toque el conductor rojo del ohmímetro al terminal rectificador marcado "+".
2. Toque el conductor negro del ohmímetro a los terminales rectificadores que tienen las siguientes etiquetas: "AC1", "AC2" y "AC3". El medidor debe indicar un circuito abierto o alta resistencia para cada terminal rectificador. Si el medidor no indica un circuito abierto o alta resistencia, el rectificador está averiado. Reemplace el rectificador.
3. Toque el conductor negro del ohmímetro al terminal rectificador marcado "+".
4. Toque el conductor rojo del ohmímetro a los terminales rectificadores que tienen las siguientes etiquetas: "AC1", "AC2" y "AC3". El medidor debe indicar un buen diodo o baja resistencia. Si el medidor no indica un buen diodo o baja resistencia, el rectificador está averiado. Reemplace el rectificador.
5. Toque el conductor negro del ohmímetro al terminal rectificador marcado "-".
6. Toque el conductor rojo del ohmímetro a los terminales rectificadores que tienen las siguientes etiquetas: "AC1", "AC2" y "AC3". El medidor debe indicar un circuito abierto o alta resistencia para cada terminal rectificador. Si el medidor no indica un circuito abierto o alta resistencia, el rectificador está averiado. Reemplace el rectificador.
7. Toque el conductor rojo del ohmímetro al terminal rectificador marcado "-".
8. Toque el conductor negro del ohmímetro a los terminales rectificadores que tienen las siguientes etiquetas: "AC1", "AC2" y "AC3". El medidor debe indicar un buen diodo o baja resistencia. Si el medidor no indica un buen diodo o baja resistencia, el rectificador está averiado. Reemplace el rectificador.

Reemplace un rectificador defectuoso con otro rectificador que tenga características comparables de funcionamiento. Incluya la siguiente información cuando encargue un rectificador de repuesto:

- Número de pieza del rectificador
- Número de modelo del excitador
- Tipo de excitador
- Número de serie del generador