

**DISEÑO DE UN PLAN DE GESTION PARA EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD PARA EL CENTRO DE GENERACIÓN ELECTRICA A BASE DE
GAS DE LA EMPRESA COPOWER LTDA**

ALEXANDER PINZON AVILA

Código No 2117709

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

2011

**DISEÑO DE UN PLAN DE GESTION PARA EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD PARA EL CENTRO DE GENERACIÓN ELECTRICA A BASE DE
GAS DE LA EMPRESA COPOWER LTDA**

ALEXANDER PINZON AVILA

Código No 2117709

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

Director

DIEGO ROLANDO MAHECHA CAPACHO

Ingeniero Electrónico

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

2011

AGRADECIMIENTOS

Durante esta especialización expresamos nuestros agradecimientos a:

Copower Ltda., y sus directivos por el apoyo brindado durante la especialización para alcanzar nuestro desarrollo profesional y personal.

La Universidad Industrial de Santander y sus docentes, por la transferencia de conocimiento a través de las diferentes asignaturas.

A nuestros compañeros del posgrado por las experiencias compartidas durante la especialización.

A nuestras familias, quienes diariamente motivan nuestro crecimiento personal.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	14
1.2 DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN EL DEPARTAMENTO DE GENERACIÓN	16
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.5. OBJETIVOS	18
1.5.1 Objetivos Generales.	18
1.5.2 Objetivos Específicos	19
2. DESCRIPCIÓN CENTRO DE GENERACIÓN	20
2.1 EQUIPOS REPRESENTATIVOS DEL CENTRO DE GENERACIÓN	21
2.1.1 Sistema de alimentación de gas	21
2.1.2 Compresor de aire	24
2.1.3 Hidrolavadora	25
2.1.4 Sistema de transformación de energía	25
2.1.5 Sistema electrógeno a gas	26
3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	40
3.1 DEFINICIÓN DEL RCM	40
3.2 OBJETIVOS Y BENEFICIOS DEL RCM	40
3.3 PASOS DEL RCM	41
3.3.1 Funciones y parámetros de funcionamiento.	41
3.3.2 Fallas Funcionales	43
3.3.3 Modos de Falla	44
3.3.4 Efectos de falla	48
3.3.5 Consecuencias de falla	49
3.3.6 Tareas de mantenimiento	53
3.3.7 Acciones “a falta de”	53

3.3.8 Diagrama de decisión de RCM.	55
4. ANALISIS DE CRITICIDAD	59
4.1 DEFINICIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD	60
4.2 PASOS PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD	61
4.2.1 Identificación de los equipos a estudiar	61
4.2.2 Identificación del método a aplicar	61
5. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN GENERAL DE MANTENIMIENTO	66
5.1 FASE DE PLANEACIÓN	66
5.2 FASE DE INVESTIGACIÓN	66
5.3 FASE DE EJECUCIÓN	67
5.3.1 Mantenimiento preventivo	67
5.3.2 Intervalos para el mantenimiento preventivo para el grupo electrógeno a Gas	68
5.3.3 Mantenimiento Predictivo	72
5.3.4 Actividades del plan de Mantenimiento y Frecuencia por subsistemas	85
5.4 FASE DE REVISIÓN Y AJUSTES	92
6. CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DEL CENTRO DE GENERACIÓN	94
6.1 DEFINICIÓN DE DISPONIBILIDAD	94
7. CONCLUSIONES	95
8. RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFIA	98
ANEXOS	100

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura No. 1. Logo de la compañía	14
Figura No. 2. Acceso al campo Petrolero	16
Figura No. 3. Organigrama del Departamento de Generación	17
Figura No 4. Panorámica Centro de Generación	20
Figura No 5. Scrubber ubicado en Pozo Colon	22
Figura No 6. Válvula reguladora de gas	23
Figura No 7. Filtro Coalescente	24
Figura No 8. Compresor de Aire	25
Figura No 9. Hidrolavadora	25
Figura No 10. Transformador 0,48/13.2 kV	26
Figura No 11. Sistema de admisión y escape	27
Figura No 12. Subsistemas de combustible y tren de gas	28
Figura No 13. Subsistema de arranque	29
Figura No 14. Subsistema de ignición	30
Figura No 15. Subsistema de refrigeración	31
Figura No 16. Subsistema de lubricación	32
Figura No 17. Filtros de aceite	33
Figura No 18. Generador de 500KW	34
Figura No 19. Celda de protección y operación	37
Figura No 20. Control de grupo electrógeno	38
Figura No 21. Subsistema Conjunto Móvil	39
Figura 22. Pasos del RCM	41
Figura 23. Modelos de falla	45
Figura No 24. Hoja de Análisis Modos de efecto de falla	55
Figura No 25. Diagrama de Decisión RCM	58
Figura No 26. Aspectos de la Confiabilidad Operacional	59
Figura No 27. Modelo básico de criticidad	61

Figura No 28. Modelo de Informe de Inspección	72
Figura No 29. Acoplamiento mecánico rotor - alternador	73
Figura No 30. Acoplamiento mecánico engranajes	74
Figura No 31. Imagen térmica cilindros del motor	75
Figura No 32. Imagen térmica conexiones de eléctricas	76
Figura No 33. Imagen térmica sistemas de refrigeración y aislamiento	76
Figura No 34. Analítica de lubricante del motor	77
Figura No 35. Informe estado del lubricante del motor	80
Figura No 36. Boroscopio Extech	81
Figura No 37. Equipo de pruebas de Aislamiento en baja tensión	82
Figura No 38. Equipo de pruebas para medición de tangente Delta	83
Figura No 39. Tendencia de degradación del aislamiento	84
Figura No 40. Megger Bite 2P – Analizador de Baterías	84

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla No 1. Cromatografía típica para análisis de gas	21
Tabla No 2. Tabla de equipos centro de generación	61
Tabla No 3. Estudio de criticidad por los factores ponderados basado en el cocepto de riesgo	63
Tabla No 4. Aplicación de criterios bajo el método de factores ponderados bajo el concepto del riesgo	64
Tabla No 5. Diagrama de criticidad	64
Tabla No. 6. Intervención de los subsistemas de grupo generador por horas de operación	69
Tabla No 7. Rango de funcionamiento de los equipos	70
Tabla No 8. Grafica Tiempo Vs Estado del Componente	70
Tabla No 9. Registro diario de inspección	71
Tabla No 10. Plan de mantenimiento subsistema combustible tren de gas	85
Tabla No 11. Plan de mantenimiento subsistema de refrigeración	86
Tabla No 12. Plan de mantenimiento subsistema de lubricación	87
Tabla No 13. Plan de mantenimiento subsistema de admisión y escape	88
Tabla No 14. Plan de mantenimiento subsistema de arranque	89
Tabla No 15. Plan de mantenimiento subsistema de ignición	90
Tabla No 16. Plan de mantenimiento subsistema de generador y control	91
Tabla No 17. Plan de mantenimiento subsistema de conjunto móvil	92
Tabla No 18. Disponibilidad centro de generación	94

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Hojas de información RCM	100
ANEXO B. Hojas de decisiones RCM	105
ANEXO C. Hoja de Vida Equipo Crítico RCM	109

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE UN PLAN DE GESTION PARA EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EL CENTRO DE GENERACIÓN ELECTRICA A BASE DE GAS DE LA EMPRESA COPOWER LTDA*

AUTORES: ALEXANDER PINZON AVILA**

PALABRA CLAVE: Mantenimiento centrado en confiabilidad, centro de generación, generador, mantenimiento predictivo, análisis de criticidad.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO: Este documento está diseñado para desarrollar un plan de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad, utilizando las técnicas del mantenimiento RCM II para el equipo más crítico del centro de generación a gas de la Compañía Copower Ltda.

Para el desarrollo de este trabajo se recopiló la información proporcionada por los proveedores y operadores de los equipos que componen el centro de generación, toda esta información fue discriminada utilizando las técnicas de mantenimiento centrado en confiabilidad en búsqueda de los objetivos contractuales de la compañía Copower Ltda., buscando una disponibilidad igual o superior al 97%

Como producto de este trabajo se determinó la criticidad de los equipos que componen el centro de generación, determinando así que el equipo más crítico es el grupo electrógeno a gas de 500KW.

Para el desarrollo de este documento se trabajó sobre la matriz de modos de efecto de falla del grupo electrógeno, se determinaron los subsistemas del equipo, se identificaron las fallas de estos y las posibles soluciones enfocadas en los objetivos contractuales de la compañía.

Luego de realizar el análisis de la información recogida y de revisar las diferentes técnicas y modelos de mantenimiento se determina que RCM es el más adecuado para el centro de generación pues se enfoca en mantener los equipos funcionando.

Adicionalmente se revisaron las técnicas de mantenimiento predictivo aplicables al grupo electrógeno para ser estas incluidas en el plan de mantenimiento anual.

Finalmente en esta monografía propone un modelo de gestión para el mantenimiento del equipo más crítico del centro de generación a gas, donde centra su atención en el grupo electrógeno de 500KW generando así un plan y ruta de mantenimiento para el mismo obteniendo disponibilidades en operación del centro superiores al 97%.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Diego Rolando Mahecha Capacho

SUMMARY

TITLE: DESIGN OF A MANAGEMENT PLAN FOR THE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE OF GENERATION GAS ELECTRICAL CENTER FOR COMPANY COPOWER LTDA.

AUTHORS: ALEXANDER PINZON AVILA **

KEYWORDS: Reliability centered maintenance, generation center, generator, predictive maintenance, criticality analysis.

SUBJECTS OR DESCRIPTION: This document is designed to develop a management plan in reliability-centered maintenance, technical maintenance using RCM II for more critical equipment in the center of gas generation Copower Ltda., Company

For the development of this work was compiled information provided by suppliers and operators of the equipment making up the center of generation, all this information was discriminated using the techniques of reliability centered maintenance in search of the target company's contractual Copower Ltda., looking for a availabilities equal to or greater than 97%.

As a result of this work was determined the criticality of the equipment making up the center of generation, thus determining the most critical equipment is the gas generator of 500kw.

For the development of this paper work on the matrix effect of failure modes of the generator, identified the subsystems of the computer, these failures identified and possible solutions focused on the company's contractual objectives.

After performing the analysis of information collected and to review the different techniques and models of maintenance is determined that RCM is most suitable for the generation center as it focuses on keeping the equipment running.

Additionally, we reviewed the predictive maintenance techniques applicable to the generator set to be included in these annual maintenance plan.

Finally in this paper proposes a management model for the most critical equipment maintenance center gas generation, which focuses on the 500kW generator generating a maintenance plan and route for obtaining the same center operational availability over 97%.

*

**

* Monograph

** School of Physic-Mechanical Engineering. Management Maintenance Specialization. Director: Diego Rolando Mahecha Capacho

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Figura 1. Logo de la compañía



Copower Ltda. es una compañía familiar de naturaleza limitada fundada en 1991, inicio sus actividades en el campo eléctrico, enfocados al mantenimiento de subestaciones, dispositivos de control y protección eléctrica así como la consecución de proyectos electromecánicos en el campo de la generación eléctrica.

El crecimiento de sus actividades, contribuyó a la adquisición de diversos equipos de pruebas eléctrica con el fin de poder suplir las necesidad de sus clientes en temas relacionados al mantenimiento preventivo de equipos eléctricos como lo son generadores, motores, relés de protección, transformadores, equipos de patio, interruptores, bancos de baterías y cualquier equipos utilizado para la generación, distribución y uso de la energía en el usuario final.

A mediados del año 2006 amplio sus actividades en el campo de las telecomunicaciones realizando enlaces satelitales para el programa conectividad de banda ancha para instituciones públicas COMPARTEL.

El constante trato con el tema del mantenimiento del tipo eléctrico llevo a la compañía a ampliar su portafolio de servicios, en el campo de la generación eléctrica es así como surge un departamento de generación el cual es encargado de contratos de renta, suministro, operación de equipos electrógenos para la industria.

En el año 2009 adquiere sus primeros equipos a gas como necesidad de la industria petrolera de crear una alternativa de autogeneración en los campos de producción

donde la energía eléctrica no existe, es poco o nada confiable. Adicionalmente las nuevas políticas de la Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH, la CREG en regulación de las actividades minero-energéticas y la aplicación de la normatividad ISO 14001 para el cuidado del medio ambiente solicitan nuevos controles al uso del gas como recurso energético.

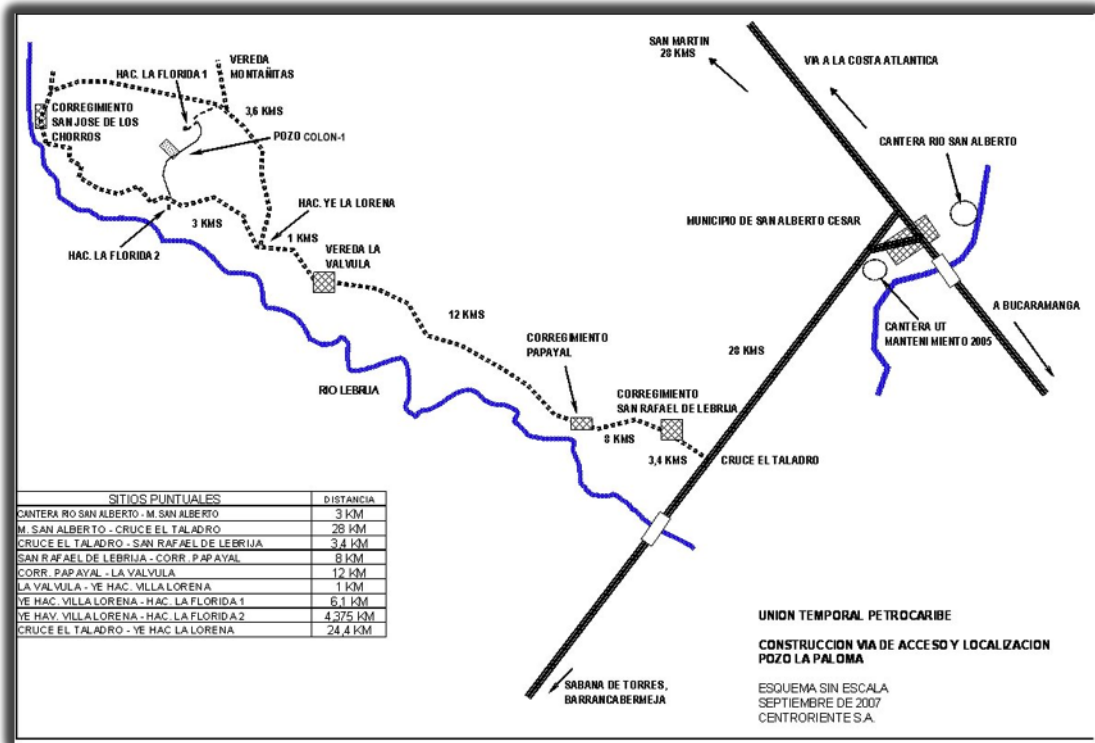
La compañía vio una oportunidad de negocio en el suministro o instalación de centros de generación a gas en sitios donde el combustible se encuentra a boca de pozo y las composiciones físico- químicas del gas cumplen con los parámetros de los grupos electrógenos.

Así mismo las compañías petroleras vieron una oportunidad de ahorro, pues la generación a base de combustible diesel es superior en costos casi 5 veces a la producida por gas y este recurso como residuo en los campos productores de petróleo se estaba quemando en las teas generando adicionalmente un gran impacto ambiental.

Copower Ltda., optó por un modelo de negocio en outsourcing donde la disponibilidad de energía eléctrica a través de un centro de generación a base de gas genera ingresos por KWh consumido. A si mismo se encarga de la Operación y mantenimiento del centro de generación O&M ofreciendo disponibilidades iguales o superiores al 97%.

El centro de generación de estudio se encuentra ubicado en la Vereda la válvula del corregimiento de San Rafael de Lebrija en el departamento de Santander, al cual se accede vía a San José de los chorros, esta campo de producción petrolera es de la compañía Petroleros del Norte.

Figura 2. Acceso al campo Petrolero



1.2 DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN EL DEPARTAMENTO DE GENERACIÓN

El departamento de generación esta supervisado por el Ing. Jorge Urquijo Torrado y a su vez esta soportado por los Ingenieros del departamento de Ing. Eléctrica los cuales son los encargados de la instalación y puesta en mantenimiento de los equipos de generación rentados o vendidos por la compañía. Adicionalmente el departamento de Ing. Eléctrica se encarga solo del mantenimiento de tipo eléctrico básicamente asociado al Alternador y los relés de sincronismo, protección y control.

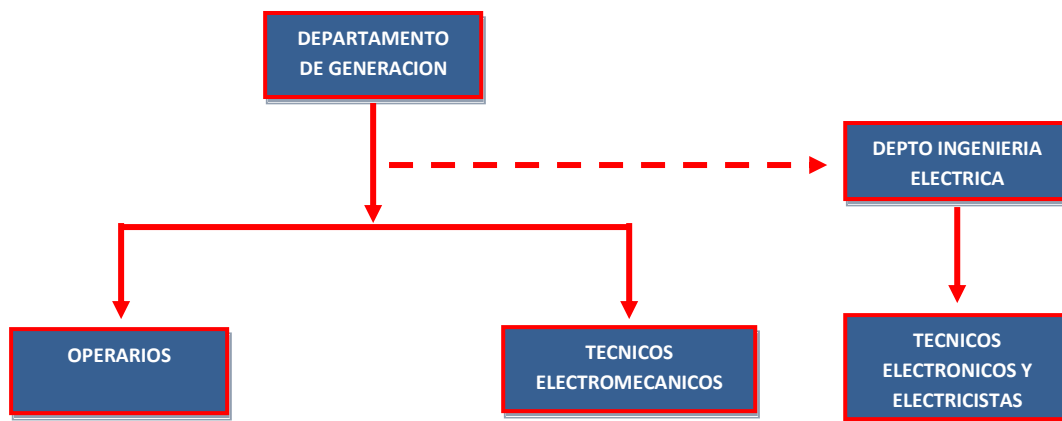
El mantenimiento de tipo mecánico es desarrollado por el personal técnico asociado a la operación de los centros de generación y en algunos casos supervisados por el departamento eléctrico.

Las actividades propias del mantenimiento de los equipos electrógenos son llevadas en libros o bitácoras de manera independiente sin existir una correlación entre ellas y

basadas solo en el mantenimiento básico de los subsistemas de lubricación y refrigeración.

Dados que los equipos inicialmente adquiridos por la compañía son nuevos, el departamento de generación no ha sufrido aun fallas de alto impacto sobre la operación de los mismos, pero el aumento en las horas de operación, está creando la necesidad sobre profundizar en el mantenimiento más apropiado necesario para estos equipos.

Figura 3. Organigrama del Departamento de Generación



1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La compañía de PETROLEOS DEL NORTE contrató con la empresa COPOWER LTDA el suministro de energía a través de la instalación y operación de un centro de generación a gas inicialmente de 500KW ubicado en el campo Colon 1 – Vereda de San Rafael de Lebrija – Santander, donde el objetivo es proporcionar la energía necesaria utilizando como combustible el gas a boca de pozo como producto derivado de la extracción del petróleo, con el fin de obtener una disponibilidad eléctrica del 97%, este contrato surge de la necesidad de energía en el sector dado que existe disponibilidad de fluido eléctrico por la electrificadora de la región pero la misma presenta alta inestabilidad e inconsistencia en la presentación del servicio afectando la producción del campo considerablemente y por ende llevando a generar pérdidas económicas e

incluso a la inviabilidad del proyecto en este campo, por esta razón la firma COPOWER LTDA implementará un plan de gestión para el mantenimiento del centro de generación con el fin de poder cumplir con las exigencias del contrato y evitar posibles multas o sanciones contractuales.

Para realizar la implementación del plan de gestión para el mantenimiento se utilizarán técnicas de RCM II, mediante esta técnica se realizará el análisis funcional de los equipos del centro de generación y se determinara la criticidad de los equipos estáticos/rotativos, se realizarán los respectivos análisis de Modos y Efectos de Fallos (FMEA), para finalmente formular las actividades del Plan de Mantenimiento Preventivo de los equipos más críticos. Todo enmarcado en una estrategia y políticas de mantenimiento que se diseñarán para garantizar la implementación del modelo del plan de mantenimiento.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En referencia al contrato firmado entre las partes PETROLEOS DEL NORTE Y COPOWER LTDA donde se le exigen una disponibilidad eléctrica del 97% al centro de generación instalado o so pena de sanciones y multas contractuales la compañía COPOWER LTDA debe implementar un plan de gestión para el mantenimiento de los equipos que componen el centro de generación a gas del campo Colon 1 con el fin de poder cumplir con esta exigencia contractual.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1 Objetivos Generales. Propuesta del plan de gestión mediante la formulación del plan de mantenimiento de la empresa Copower Ltda., a partir de un estudio de criticidad y el análisis de modos y efectos de falla utilizando las técnicas de RCM II aplicadas al centro de generación de 500KW a gas para el campo Colon 1 de Petróleos del Norte.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Hacer un estudio de criticidad de los equipos que componen el centro de generación a gas de 500KW en el campo Colon 1
- Realizar el análisis de modos y efectos de fallo (FMEA) de los equipos más críticos del centro de generación a gas del Campo Colon 1.
- Determinar las tecnologías de mantenimiento predictivo aplicables para prevenir los modos de falla de los equipos críticos.
- Formular las actividades del plan de mantenimiento para los equipos críticos del centro de generación a gas del campo Colon 1, con base a la metodología RCMII

2. DESCRIPCIÓN CENTRO DE GENERACIÓN

En general, la generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centros de generación eléctrica, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

La compañía de PETROLEOS DEL NORTE contrató con la empresa COPOWER LTDA el suministro de energía a través de la instalación y operación de un centro de generación a gas inicialmente de 500KW ubicado en el campo Colon 1 – Vereda de San Rafael de Lebrija

Figura No 4. Panorámica Centro de Generación



2.1 EQUIPOS REPRESENTATIVOS DEL CENTRO DE GENERACIÓN

2.1.1 Sistema de alimentación de gas. El sistema de alimentación de gas constituye la fuente principal para iniciar el proceso de generación, este gas es el resultado del subproducto de la extracción de petróleo a boca de pozo en los pozos Colon1, Colon 2 y Colon3. Para que el gas tenga el poder calorífico suficiente y las condiciones necesarias como fuente de energía para los grupos electrógenos se debe realizar un estudio de cromatografía con el fin de identificar sus concentraciones y compararlas con las exigidas por los fabricantes de los equipos.

Tabla No 1. Cromatografía típica para análisis de gas

Component	Mole %	Weight %
H ₂ Hydrogen	0.00	0.00
H ₂ S Hydrogen Sulphide	0.00	0.00
CO ₂ Carbon Dioxide	0.91	1.74
N ₂ Nitrogen	1.11	1.36
C ₁ Methane	78.19	54.67
C ₂ Ethane	5.44	7.13
C ₃ Propane	6.56	12.61
iC ₄ i-Butane	1.78	4.51
nC ₄ n-Butane	3.08	7.79
iC ₅ i-Pentane	1.01	3.16
nC ₅ n-Pentane	0.68	2.13
C ₆ Hexanes	0.66	2.42
C ₇ Heptanes	0.43	1.70
C ₈ Octanes	0.14	0.67
C ₉ Nonanes	0.01	0.09
C ₁₀ Decanes	0.00	0.02
C ₁₁ Undecanes	0.00	0.00
C ₁₂₊ Dodecanes plus	0.00	0.00
Totals :	100.0000	100.0000

Note: 0.00 means less than 0.005.

Calculated Residue Properties	Mole Weight (g mol ⁻¹)	Density (g cm ⁻³ at 60°F)
C ₇₊ Heptanes plus	96.3	0.7430
C ₁₀₊ Decanes plus	134.0	0.7780
C ₁₂₊ Dodecanes plus	-	-

Calculated Whole Gas Properties		
Gas Gravity	0.7964	(Air=1 @ 14.73 psia & 60°F)
Whole Sample Mole Weight	22.94	g mol ⁻¹
Ideal Gas Density	0.9684	kg m ⁻³ @ 14.65psia, 60°F
Ideal Gross Calorific Value	1333.8	BTU.ft-3 @ 14.65psia, 60°F
Ideal Net Calorific Value	1212.4	BTU.ft-3 @ 14.65psia, 60°F
Pseudo Critical Press.	655.4	psia
Pseudo Critical Temp.	411.6	Rankine
Gas Compressibility Factor, Z	0.9957	@ 14.65 psia & 60°F
GPM (C2+)	5.91	
GPM (C3+)	4.46	

2.1.1.1 Scrubber: El gas proveniente de los pozos de producción debe ser separado de los componentes líquidos que lo acompañan. Para dicha separación primaria el scrubber

es el equipo utilizado.

Figura No 5. Scrubber ubicado en Pozo Colon



2.1.1.2 Válvula de reguladora de gas: Mantiene una presión constante de gas aguas abajo. Limita la presión de gas aguas abajo mediante el ajuste de cierre para limitar el flujo en aguas abajo o soporta presión de gas aguas abajo por el ajuste de apertura para permitir flujo adicional de aguas arriba.

Esta válvula se encarga de mantener una presión constante de 30 PSI en la línea de alimentación de gas.

Figura No 6. Válvula reguladora de gas



2.1.1.3 Filtro coalescente: Es una segunda etapa de filtración básicamente es un cartucho filtrante que separa las finas gotitas de líquido de un gas comprimido.

El medio es altamente eficiente y su duración muy prolongada si el gas está limpio. Retienen hasta gotas y sólidos de 1 micrón.

El fluido circula en sentido inverso al habitual, desde el centro hacia fuera, sobre el manto de material coalescedor donde las pequeñas gotas se juntan sobre las hebras de la microfibras, formando gotas más grandes que luego embeben la cubierta exterior de espuma de poliuretano, que por gravedad las conduce hacia el extremo inferior donde gotean.

Figura No 7. Filtro Coalescente



2.1.2 Compresor de aire. El compresor de aire toma el aire y aumentar su presión al reducir el volumen de aire. Estos compresores de aire almacenan una gran cantidad de aire y básicamente en un pequeño espacio utilizando un vacío creado por pistones y válvulas. Esto crea un alto grado de presión en el aire e cual puede ser liberado a voluntad en herramientas para mantenimiento. Este compresor de aire es del tipo denominado compresor de pistón o cilindro, el cual es utilizado para comprimir el aire tomado.

Figura No 8. Compresor de Aire



2.1.3 Hidrolavadora. Una hidrolavadora, es una máquina que bombea agua a alta presión a través de una manguera, la línea de agua se conecta por un extremo donde contiene una bomba de agua y esta a su vez la expulsa por otra boquilla a presión.

Figura No 9. Hidrolavadora



2.1.4 Sistema de transformación de energía. Básicamente el equipo principal del sistema de transformación de energía de 480Vac a 13.200Vac es el transformador, se define como un dispositivo electromagnético (eléctrico y magnético) que permite aumentar o disminuir el voltaje y la intensidad de una corriente alterna de forma tal que

su producto permanezca constante. La mejor forma de transmitir energía es por circuitos de media tensión para nuestro caso 13.2KVac para luego transformarla en una relación menor 480V al llegar a los equipos propios del pozo. Para este tipo de necesidades se utilizan los transformadores.

Figura No 10. Transformador 0,48/13.2 kV



2.1.5 Sistema electrógeno a gas. Es un grupo motor-generador que transforma de energía térmica de un combustible a energía mecánica y esta mediante inducción electromagnética en un generador se transforma a energía eléctrica.

A continuación se detalla cada uno de los subsistemas que componen este equipo pues el mismo será materia de estudio en esta monografía.

2.1.5.1. Subsistemas de admisión y escape: La función de este subsistema es suministrar grandes cantidades de aire limpio al motor, a través de un filtro el cual tiene

como función retener impurezas, abrasivos como polvo para que no produzcan daños prematuros en anillos, pistones y paredes del cilindro, por otra parte el sistema de escape tiene como función evacuar gases quemados en el ciclo de combustión.

Figura No 11. Sistema de admisión y escape

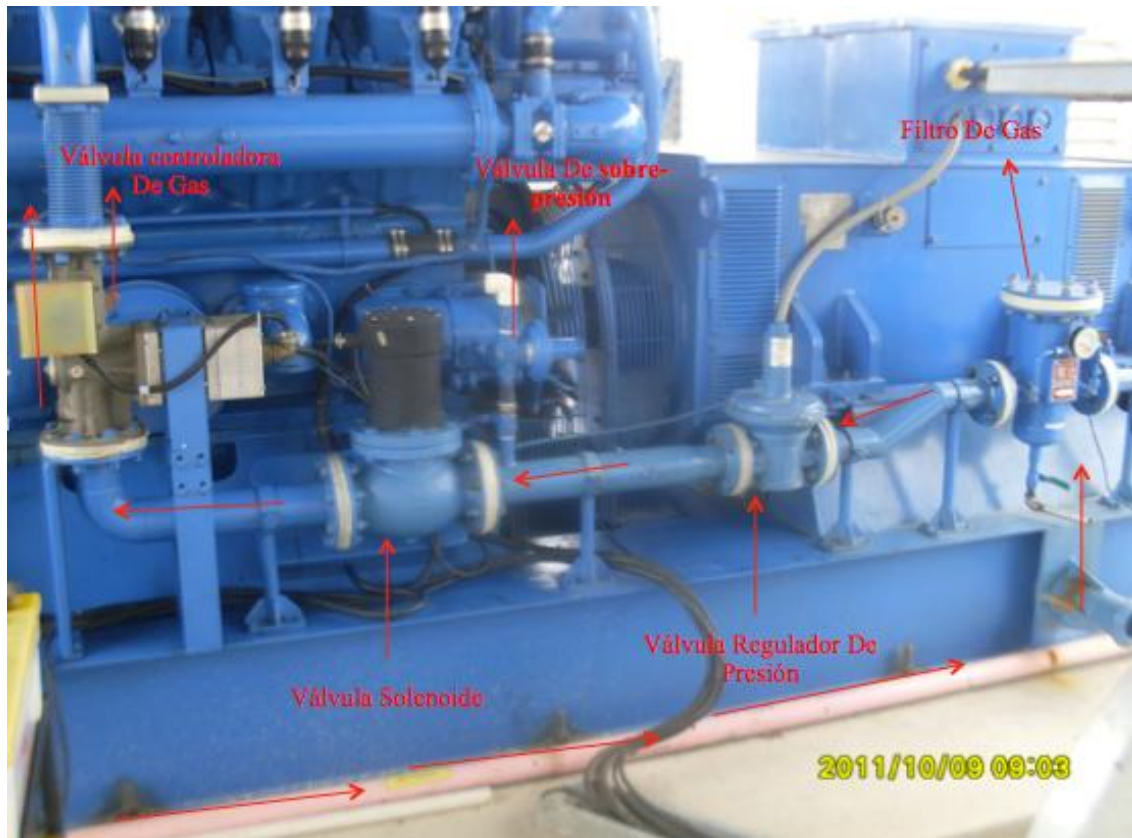


2.1.5.2. Subsistemas de combustible y tren de gas: La función de este subsistema es suministrar y filtrar el combustible "GAS" necesario en forma sincronizada y a una presión determinada para el funcionamiento del grupo electrógeno.

Sus componentes principales son:

- Filtro separador de condensados
- Válvula reguladora de presión
- Válvula de sobre-presión
- Válvula solenoide
- Válvula controladora de gas
- Mezclador aire—gas

Figura No 12. Subsistemas de combustible y tren de gas



2.1.5.3. Subsistema de arranque: Puesto que el motor combustión interna no es capaz de arrancar por sí solo, debido a que se requiere vencer el estado de reposo en que se encuentra el motor de combustión, se requiere de un motor de arranque el cual puede ser cualquiera de los siguientes dos tipos o ambos si el motor es de doble marcha.

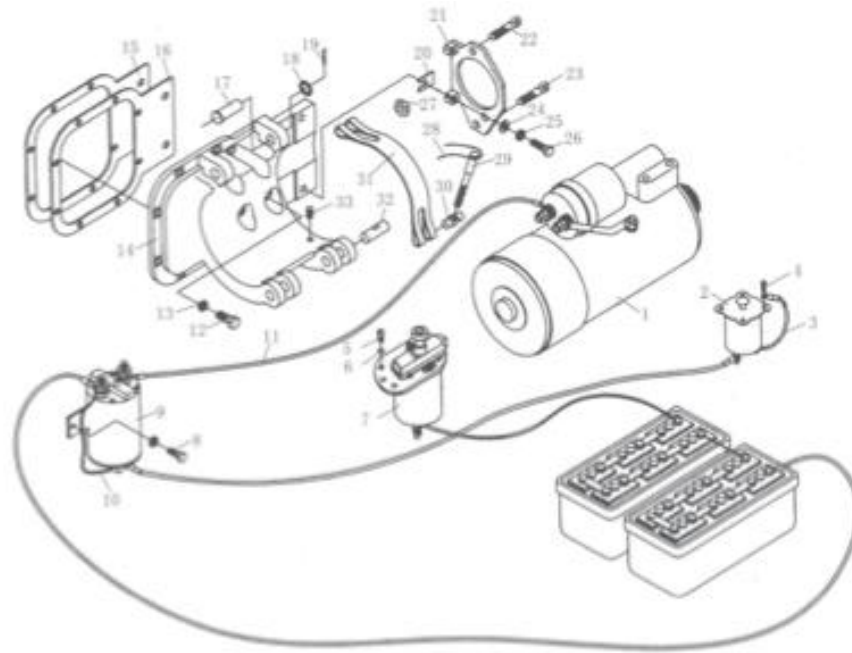
- motor de arranque eléctrico
- motor de arranque neumático

En nuestro caso es un motor de arranque eléctrico el cual es un motor de corriente continua que se alimenta de los acumuladores del grupo electrógeno, y puede ser de 12 o 24 Volts, el par del motor se origina cuando es activado el solenoide de arranque.

Los componentes principales de subsistema son:

- Baterías
- Relay
- Rotor de arranque

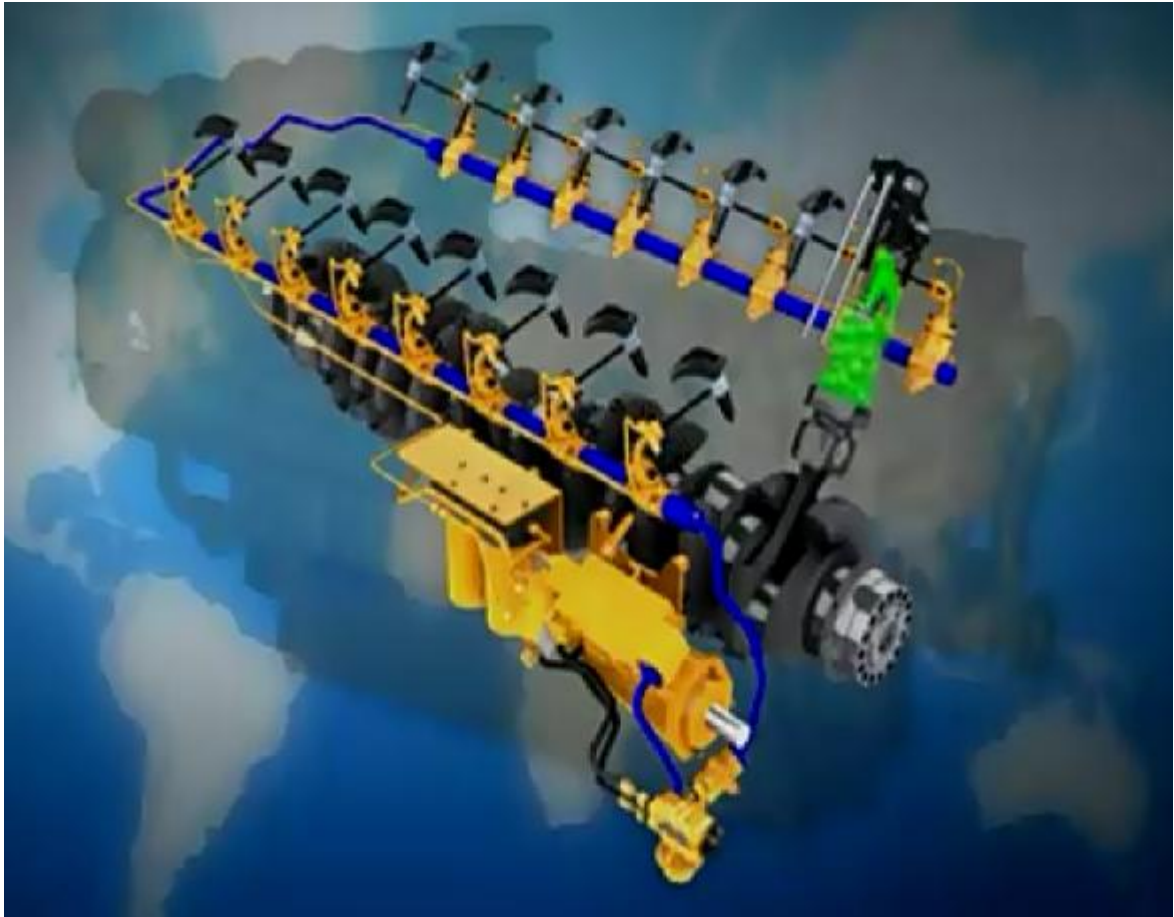
Figura No 13. Subsistema de arranque



2.1.5.4. Subsistema de ignición: Consiste en generar la energía que hace saltar la chispa en las bujías para unos de los ciclos del motor, sus componentes principales son:

- Controlador de ignicion Mic 500
- Bobinas
- Cable de alta tension
- Bujias
- Sensor de efecto hall

Figura No 14. Subsistema de ignición



2.1.5.5. Subsistema de refrigeración: El sistema de enfriamiento del motor consta de un radiador, termostato y un ventilador de acuerdo a la capacidad de enfriamiento requerida, la función del radiador es, intercambiar el calor producido por el motor al hacer pasar aire forzado a través de él. El ventilador es el que fuerza el aire a través del radiador el cual es movido, por el cigüeñal o por un motor eléctrico en algunos casos, el termostato es el que se encarga de que el motor trabaje en un rango de temperatura óptima para un buen desempeño abriendo y cerrando, según rangos de temperatura.

Su función es la de mantener un temperatura que proporcione el máximo rendimiento del motor (aproximadamente 85°C).

Sus componentes principales son:

- Radiador
- Bomba de agua de alta

- Bomba de agua de baja
- Intercambiador
- Acoplamiento hidráulico
- ventilador

Figura No 15. Subsistema de refrigeración



2.1.5.6. Subsistema de lubricación: Sistema es el que se encarga de mantener lubricadas todas las partes móviles del motor, a sí mismo sirve como medio refrigerante. La función es crear una película de aceite lubricante, en las partes móviles, evitando el contacto metal con metal. Consta básicamente de bomba de circulación, regulador de presión, filtro de aceite, conductos externos e internos por donde circula el aceite. Algunos motores están equipados con enfriadores de aceite a fin de mantener una regulación más precisa de la temperatura del aceite.

El Filtro de Aceite, en el sistema de lubricación cuenta con mallas y filtros para retirar las partículas sólidas de la circulación del aceite y evitar daños a las superficies en movimiento por desgaste abrasivo.

Sus componentes principales son:

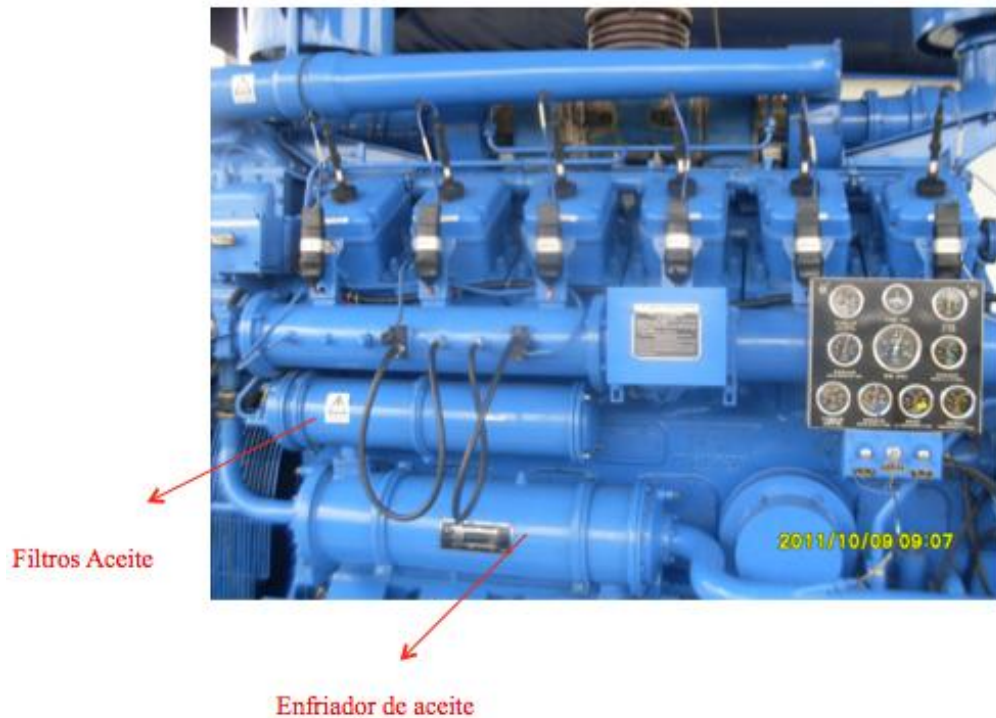
- Carter (Deposito de aceite).

- Bomba de aceite
- Filtro centrifugo
- Filtros de aceite
- Enfriador de aceite
- Motor pre –lubricación

Figura No 16. Subsistema de lubricación



Figura No 17. Filtros de aceite



2.1.5.7. Subsistemas de generador: Un alternador o comúnmente denominado generador es una máquina eléctrica, capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética.

Los alternadores están fundados en el principio de que en un conductor sometido a un campo magnético variable crea una tensión eléctrica inducida cuya polaridad depende del sentido del campo y su valor del flujo que lo atraviesa.

Un alternador es un generador de corriente alterna. Funciona cambiando constantemente la polaridad para que haya movimiento y genere energía.

El alternador opera a una frecuencia de 60 Hz, es decir, que cambia su polaridad 60 veces por segundo.

Sus componentes principales son:

Dispositivo de evitación
Rotor estator
AVR tarjeta reguladora de voltaje
Rodamientos
Ventilador de rueda

Figura No 18. Generador de 500KW



2.1.5.8. Subsistema de protección y control: El grupo electrógeno cuenta con elementos de protección y controles electrónicos algunos se detallan a continuación:

- Protección por baja presión de aceite: los grupos electrógenos IGSA cuentan con sistema de protección de baja presión de aceite el cual es un elemento que registra la caída de presión en caso de que esto ocurra y opera de la siguiente manera existiendo dos maneras de realizar la protecciones.
- Manómetro con contactos: es un manómetro de presión de aceite conectado al motor el cual tiene un contacto que es accionado mecánicamente y esta calibrado para cuando se presente una caída de presión este cambie de estado su contacto las terminales internas del instrumento son la aguja indicadora y un tope ajustable el cual esta tarado para que cierre cuando la presión disminuya a valores no aptos para su operación. Se utiliza en grupos electrógenos manuales y es opcional en grupos

- electrógenos automáticos.
- Sensor de presión de aceite: es un sensor con un elemento piezoeléctrico que registra el cambio de presión, modificando la resistencia en las terminales del sensor, este tipo de sensores requiere que se programe su curva de presión/resistencia en el control del motor/generador, y que se programe que presión se considera baja, para que el control mande una alarma o paro. Se utiliza en grupos electrógenos con control automático que cuentan con dicha entrada
 - Protección por alta temperatura de refrigerante: el medidor de temperatura es un instrumento análogo el cual tiene un contacto que es accionado mecánicamente y esta calibrado para que cuando se incrementa la temperatura del refrigerante del motor el contacto cambie de estado, y manda a paro por alta temperatura, las terminales internas del instrumento son la aguja indicadora y un tope ajustable el cual esta tarado para que cuando se incremente la temperatura a valores no aptos para la operación del motor mande paro del motor.
 - Protección por sobrevelocidad: Para el caso de los genset manuales esta protección es a través de bomba de combustible la cual se ajusta de fábrica (protección mecánica en la bomba de combustible) para evitar que sobre pase las revoluciones permitidas. Para el caso de los genset manuales con control basado en microprocesador, como es el caso de las semiautomáticas y automáticas, el control integra un circuito de protección por sobrevelocidad y dependiendo del tipo de control este puede ser del siguiente tipo:

A través de una entrada análoga de medición de velocidad del control, el cual recibe la señal a través de un sensor magnético instalado en el motor. Y compara la velocidad actual del motor con la velocidad de referencia en este caso las 1200 rpm y en caso de sobre pasar el valor del porcentaje de sobre velocidad programado en el control, el control manda a parar el motor.

Otra manera en que el control puede sensar la velocidad es a través de la frecuencia, es decir, mide la frecuencia de una de las entradas de medición de voltaje del control y compara la velocidad actual del motor con la velocidad de referencia en este caso los 60Hz y en caso de sobre pasar el valor del porcentaje de sobrevelocidad programado en

el control, manda a parar el motor.

A través de este mismo circuito de protección este tipo de controles proveen la medición de velocidad y adicionalmente se realizan las siguientes funciones.

- Paro por sobrevelocidad
- Control de falla de arranque
- Control contra acción de motor de arranque cuando el motor está operando.
- Lectura de revoluciones del motor RPM.

La máquina posee medidores análogos y digitales de medición de las variables eléctricas, depresión, velocidad y temperatura.

Figura No 19. Celda de protección y operación

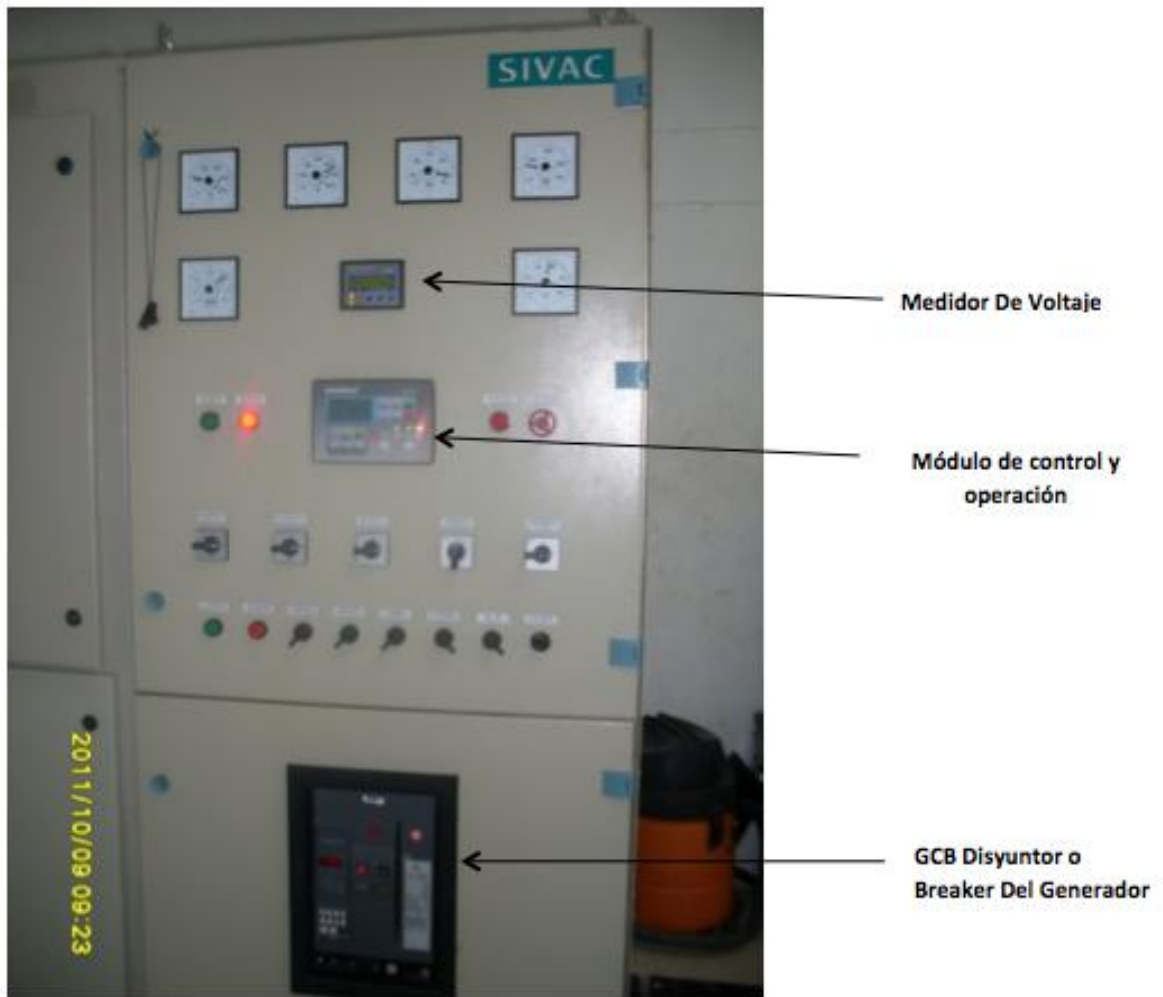


Figura No 20. Control de grupo electrógeno



EGS Sistema Electrónico De Gas



Actuador De velocidad

2.1.5.9. Subsistema de conjunto móvil: El subsistema de conjunto móvil básicamente está conformado por un motor de combustión interna el cual basa su funcionamiento, en el quemado de una mezcla comprimida de aire y combustible dentro de una cámara cerrada o cilindro, con el fin de incrementar la presión y generar con suficiente potencia el movimiento lineal alternativo del pistón. Este movimiento es transmitido por medio de la biela al eje principal del motor o cigüeñal, donde se convierte en movimiento rotativo, el cual se transmite al alternador a través de un acople mecánico.

Mediante el proceso de la combustión desarrollado en el cilindro, la energía química contenida en el combustible es transformada primero en energía calorífica, parte de la cual se transforma en energía cinética (movimiento); la otra parte se disipa en el sistema de refrigeración y el sistema de escape, en el accionamiento de accesorios y en pérdidas por fricción.

Sus partes principales son:

Pistones

Anillos

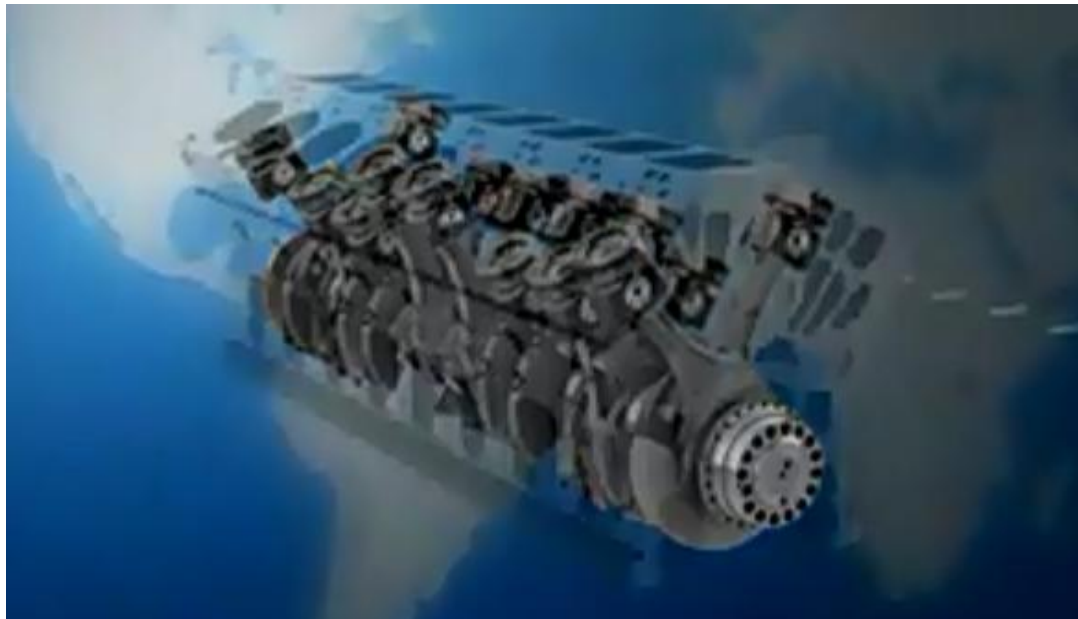
Bielas

Bulones o pasadores

Cigüeñal

Casquetes o cojinetes

Figura No 21. Subsistema Conjunto Móvil



3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

3.1 DEFINICIÓN DEL RCM

Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es un proceso desarrollado durante 1960 y 1970, tuvo su origen en la industria aeronáutica, consiste en analizar cada sistema y cómo puede fallar funcionalmente teniendo en cuenta su entorno, es decir las características del medio en el cual trabaja, los efectos de cada falla son clasificados y se valora el impacto para llegar a seleccionar la tarea más apropiada.

John Moubrey define RCM como: “El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”¹.

Una vez seleccionado el sistema o equipo a evaluar, se debe dividir en sus componentes, con la finalidad de realizar el análisis a cada componente. Puede darse el caso de un sistema se subdivide en 2 niveles y otro en 3 o 4 niveles, este nivel de detalle lo define la política de mantenimiento con respecto a la falla.

3.2 OBJETIVOS Y BENEFICIOS DEL RCM

- Extender el tiempo entre paradas
- Disminuir el número de paradas
- Identificar acciones que eviten el mantenimiento reactivo
- Enfatizar tareas de monitoreo por condición
- Eliminar tareas de mantenimiento innecesarias y NO costo – efectivas
- Evitar incidentes ambientales

¹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltd., 2004. p.7

- Mejora el mantenimiento de los equipos y las estrategias para prevenir las fallas
- Ofrece rendimientos operativos superiores
- Evita revisiones innecesarias, intervalos más largos de mantenimiento
- Menos fallas causados por mantenimientos innecesarios
- Más larga vida útil de los equipos, debido al aumento de uso de las técnicas de mantenimiento basado en la condición
- Mayor motivación del personal, especialmente los que interviene directamente en la implementación de RCM

3.3 PASOS DEL RCM

A continuación se describen los pasos de RCM

Figura 22. Pasos del RCM



3.3.1 Funciones y parámetros de funcionamiento. RCM comienza definiendo las funciones y los estándares del comportamiento en su contexto operacional. Se debe enunciar la función con un verbo y definir los límites del sistema, es decir definir las entradas y salidas

El objetivo de mantenimiento es asegurarse de que los equipos continúen haciendo lo que el usuario quiere que haga, y antes de empezar a desarrollar cualquier programa de mantenimiento se debe tener claro la función del equipo y la

capacidad propia, es decir lo que el equipo es capaz de hacer.

Para definir la función se debe tener en cuenta los siguientes estándares establecidos:

- Estándares de funcionamiento múltiple: Es cuando dentro de la función se define más de una característica técnica, por ejemplo: Generar una capacidad máxima de 500KW a una frecuencia constante de 60 Hz.
- Estándares de funcionamiento cualitativos: Este tipo de función debe evitarse ya que es muy subjetiva y si no es claro lo que se espera del equipo tampoco las tareas de mantenimiento lograrán mantener el desempeño del mismo.
- Estándares de funcionamiento cuantitativo: Al enunciar la función entre más preciso sea mejor, de esta manera se identifica cuando el equipo ha dejado de mantener su función.
- Estándares de funcionamiento absoluto: En este tipo de función no hay lugar a pérdidas.
- Estándares de funcionamiento variables: Se utiliza cuando la característica técnica pueden variar entre rangos establecidos, ejemplo: Regular la presión de entrada al generador entre 15 a 20 PSI.
- Límites superiores e inferiores: Este estándar se emplea cuando se admite un rango de error dentro de la función, ejemplo: Generar una tensión constante de 440 VAC $\pm 0,5$ %.

Se debe tener presente que las funciones de un equipo pueden afectarse por el contexto operacional del mismo, es decir para enmarcar la función se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La estrategia de mantenimiento de un equipo que trabaje en un proceso de producción continua es totalmente diferente si el mismo equipo trabaja en un proceso por lotes, ya que la falla del primero tiene que ver directamente con la producción y es más costosa que la falla en un subsistema o proceso por lotes.

- Si un equipo tiene stand by la estrategia de mantenimiento no es la misma para un equipo que no lo tiene.
- Las características del producto final en cuanto a calidad en dos equipos similares ocasiona también diferentes tipos de mantenimiento.
- Los desechos, emisiones de ruido, partículas, gases, cercanía a poblaciones, seguridad del medio ambiente y de las personas, normas en general, aspectos muy importantes en el desempeño del equipo y su función.
- Otro aspecto importante a la hora de definir un programa de mantenimiento es la cantidad de horas diarias y anuales que trabaja en equipo, si son turnos de 24, u 8 horas y que tiempos de parada programada por operación tiene el equipo.
- Al presentarse una falla, sus consecuencias estarías muy ligadas si el producto está en el equipo o en el anterior o siguiente proceso.
- Los efectos de la falla y sus consecuencias se ven influenciadas por la demora de atención de mantenimiento, la cantidad de recursos disponibles para su reparación.
- En el análisis de la optimización de mantenimiento se debe revisar las políticas de la gestión de repuestos, si bien es cierto que el tener inventario genera un costo para la empresa se debe analizar el costo de no tenerlo para algún equipo en particular.
- Otro aspecto a tener en cuenta para el análisis de sus fallas y consecuencias es si la demanda depende de las estaciones, es decir que si se produce más en verano que en invierno, o si se manejan horas pico.
- La demora o fluctuaciones en el abastecimiento de la materia prima incluye en el contexto operacional del equipo y sus componentes.
- Para lograr un mejor alcance en el proceso de mantenimiento, el grupo RCM debe tener claro la operación del equipo, de esta manera se puede hacer un mejor análisis de las fallas del mismo.

3.3.2 Fallas Funcionales. Se debe identificar como puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones.

Una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

Al realizar el listado de fallas funcionales el grupo RCM que está conformado por personal de mantenimiento, operación, se ponen de acuerdo en los estándares de funcionamiento el cual es el límite entre el funcionamiento requerido por el usuario y la falla del equipo.

3.3.3 Modos de Falla. es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla.

“El modo de falla está constituido por un sustantivo y un verbo, debe ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar una estrategia de manejo de la falla apropiada, pero no tanto como para perder mucho tiempo en el propio proceso de análisis”²

Los mecanismos de falla o causa de la falla son una descripción de la secuencia de los eventos que apuntan hacia la forma en que la falla ocurrió; con estos se describe en forma suficiente el modo de falla que finalmente es la causa raíz del o de los problemas

El mecanismo de la falla es la combinación de causas que llevan al equipo o sistema a no funcionar bajo las condiciones para las que fue diseñado.

Los modos de falla incluyen aquellas fallas que han ocurrido en equipos similares, también incluyen fallas que actualmente estén siendo prevenidas mediante algún tipo de mantenimiento, así como fallas que aún no ha ocurrido pero es muy probable que ocurran en el contexto operacional.

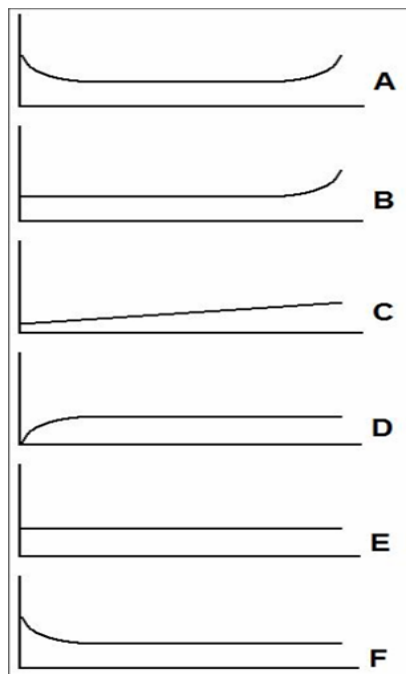
²⁹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltd., 2004. p.57

Las causas de falla son las razones por las cuales ocurren las fallas, pueden ser:

- Falla por diseño
- Defecto en los materiales
- Error del proceso
- Ensamble o defecto en la instalación
- Deficiencia en el mantenimiento
- Operaciones inapropiadas

Los modelos de falla se muestran a continuación en la figura 23 que corresponde a:

Figura 23. Modelos de falla



Modelo A: Es conocido como curva de la bañera, comienza con mortalidad infantil, seguida de una frecuencia de falla que aumenta gradualmente o es constante para terminar con una zona de desgaste.

Modelo B: Muestra una probabilidad de falla constante o ligeramente ascendente y termina con una zona de desgaste.

Modelo C: Comienza con una probabilidad de falla ligeramente ascendente y termina con una zona de desgaste identificable.

Modelo D: Muestra una probabilidad de falla baja cuando el equipo es nuevo y termina con un desgaste rápido.

Modelo E: Muestra una probabilidad aleatoria a lo largo de su vida útil.

Modelo F: Comienza con una mortalidad infantil alta pero desciende y tiene un comportamiento aleatorio de falla.

Por lo general los patrones de falla dependen de la complejidad de los elementos, entre más complejos tienen a presentar un modelo de falla como los modelos E y F.

Los modos de falla pueden ser clasificados en las siguientes categorías:

3.3.3.1 Capacidad Decreciente: Las principales causas de pérdidas de capacidad se deben a:

- Al estar en contacto con el medio ambiente el equipo se deteriora, lo que se reflejan fatiga, corrosión, abrasión, evaporación, degradación de aislantes, erosión.
- Falta de lubricante o por degradación del mismo.
- La suciedad afecta la calidad del producto, el equipo puede atascarse, o desalinearse.
- Los desajustes, soldadura mecánicas, fisuras en la soldadura, mal contacto eléctrico.
- Errores humanos, cuando ocurren es recomendable enfatizar el qué es lo que estuvo mal y no quién.

3.3.3.2 Aumento del funcionamiento deseado: Cuando el equipo sobre pasa su capacidad se presenta desgaste excesivo de sus componentes volviendo el equipo poco confiable o simplemente el equipo deja de funcionar. Lo anterior ocurre cuando se presenta:

- Se requiere aumento de la producción por encima de la capacidad de los equipos, en estos casos no hay mantenimiento que pueda adecuarse lo que se

debe hacer es un cambio de diseño para aumentar la capacidad.

- Cuando se implementan métodos de eliminación o control de cuellos de botella y se dejan equipos relacionado con la producción sin analizar, lo que conlleva a una sobrecarga de capacidad en los mismos.
- Acciones como arrancar inapropiadamente un equipo, o pulsar un botón más de lo debido, o pulsar un botón equivocadamente, pueden generar una sobrecarga no intencional repentina.
- Los materiales en el mantenimiento o la materia prima del equipo que no cumpla no los requerimientos del mismo generan sobrecarga.

La última categoría de los modos de falla se presenta cuando desde el arranque del equipo la función definida por el usuario del equipo está muy por encima de las capacidades del equipo, en este caso el equipo no es mantenible.

El propósito de FMEA, **Failure mode effect analysis**, es analizar cada componente del sistema contra la función identificada para determinar si la falla de éste podría resultar en la falla del sistema para el desempeño de la función.

FMEA identifica los modos de falla que tienen más posibilidad de pérdida de una función, identifica cual es la causa de origen de la falla y asegura que no se malgaste tiempo y esfuerzo en la búsqueda de síntomas en lugar de causas.

FMEA realiza las siguientes preguntas

Qué pasa si falla?

Cómo puede fallar el componente?

Qué causa que falle?

Qué tan frecuente falla?

Qué pasa cuando falla?

3.3.4 Efectos de falla. “Los efectos de la falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla”³, la determinación de los efectos de la falla está direccionada a todas las áreas que están involucradas en el proceso: económicas, operativas, calidad, seguridad industrial, medio ambiente, se registra entonces que pasaría si fallara, esto permite decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto que nivel de mantenimiento requiere el equipo.

La descripción de los efectos debe contener suficiente información para que el equipo de RCM evalúe las consecuencias de la falla, por ejemplo:

Se ve afectada la seguridad del personal?

Existe un potencial de daño ecológico?

Cómo afecta la producción?

Cuánto cuesta la reparación?

Esta descripción debe hacerse como si no se estuviese haciendo ningún tipo de mantenimiento proactivo. Adicionalmente se debe tener en cuenta la siguiente:

- Describir las evidencias que se puedan presentar al ocurrir la falla, por ejemplo: si hay alarmas, sonidos, luces, ruidos extraños, derrame de fluido, escape de gases
- Se debe indicar si el equipo se para a causa de esta falla
- Si los efectos afectan al personal o medio ambiente se debe tener en cuenta los efectos en la comunidad y el contorno.
- Se debe indicar cómo y durante cuánto tiempo se afecta la producción, es decir al tiempo de reparación se le debe sumar los tiempos de búsqueda e información al personal de mantenimiento, tiempo de enfriamiento, diagnóstico de la falla, alistamiento de herramientas, materiales, y pruebas finales.

³ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltd., 2004. p.76

3.3.5 Consecuencias de falla. Se responde entonces a las preguntas de cómo y cuánto cuenta la falla, con la finalidad de definir si se necesita prevenir la falla, si la falla tiene serias consecuencias se debe evitar la falla, al conocer las consecuencias de cada falla se puede determinar si vale la pena prevenir la falla, si amerita un esfuerzo por predecirla, o si se justifica alguna clase de intervención periódica para evitarla, o rediseñar para eliminarla, o no hacer nada.

Se debe separar las funciones evidentes de las ocultas: “Una función evidente es aquella cuya falla eventualmente e inevitablemente se hará evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales”⁴, esto quiere decir que la falla se muestra al operador mediante alarmas, o pérdida de caudal, ruidos extraños, escapes de vapor, olores extraños, etc. Este tipo de fallas se clasifican en su orden de importancia de la siguiente manera: las que afectan el medio ambiente y la seguridad de las personas, las que afectan la producción y las que sólo repercuten en el mismo costo de la reparación.

En cambio “Una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operadores bajo circunstancias normales, si se produce por sí sola”⁵, es decir la falla no se hará evidente sino se produce otra falla.

RCM clasifica las consecuencias de las fallas en 4 grupos, los cuales son la base para la toma de decisiones a la hora de definir las tareas:

Consecuencias de la seguridad y medio ambiente: RCM antepone la seguridad de las personas y del medio ambiente a los requerimientos de producción, esto quiere decir que las consecuencias de este tipo de falla debe disminuirse o evitarse sin importar el costo.

Cada vez son más estrictas las normas sobre el medio ambiente algunas sancionan a la empresa impidiendo su operación, en cuanto a la seguridad de las personas RCM

⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltd., 2004. p.96

⁵ Ibid., p.97

pregunta concretamente si la falla puede traer como consecuencia la muerte o lesión de una persona, con el fin de evitar mediante alguna estrategia de mantenimiento este tipo de fallas.

“Para modos de falla que tienen consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, sólo merece la pena realizar una tarea proactiva si reduce la probabilidad de la falla a un nivel tolerablemente bajo”⁶. Si una tarea proactiva no reduce el riesgo a un nivel tolerable, se debe pensar en el rediseño del equipo o del sistema, es decir realizar el cambio del equipo, o procedimiento, o el cambio del accesorio, o la modificación del diseño del equipo o componente que está generando el riesgo hacia el medio ambiente y la seguridad de las personas.

El riesgo está inherente en la operación de los equipos, lo que debemos preguntarnos es qué puede pasar si ocurre la falla, que tan probable es que ocurra la falla y si somos capaces de convivir con el riesgo.

- Consecuencias operacionales: Este tipo de fallas afecta la producción en cuanto a cantidad (si el equipo deja de funcionar o trabaja demasiado lento, no cumplirá con la demanda, y además de los costos de reparación se debe sumar los tiempos adicionales que debe trabajar el equipo para finalmente satisfacer la demanda o la pérdida de ventas si el equipo trabaja las 24 horas), calidad del producto (si la falla afecta la materia prima causándole deterioro), atención al cliente (demoras en pedidos, en atención que puede no afectar la venta pero si la confianza del cliente quien buscará otras opciones, otros proveedores), costos operacionales (cuando la falla genera además del costo de la reparación sobre costos al tener que arrancar otros equipos para mantener la demanda durante el proceso de arranque del equipo que falló; por ende la solución a las mismas tiene directa relación con el costo para prevenirlas.

⁶ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltd., 2004.p.106

“Para modos de falla con consecuencias operacionales, merece la pena realizar una tarea proactiva si a lo largo de un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de las consecuencias operacionales más el costo de reparar la falla que pretende evitar”⁷.

Siempre debe realizarse un análisis costo – efectivo, para el caso de tareas proactivas se debe comparar el costo de los mantenimientos (incluye mano de obra, materiales, herramientas, etc.) contra el costo de pérdida de la producción más el costo de la reparación durante un periodo de tiempo y definir si es conveniente realizar la tarea proactiva o rediseñar.

- Consecuencias que no son operacionales: Son las que sólo tienen que ver con el costo de la reparación sin afectar la seguridad, ni el medio ambiente, ni a producción.

“Para modos de falla con consecuencias no operacionales, merece la pena realizar tareas proactivas si, en un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de reparar las fallas que pretende evitar”⁸.

- Consecuencias de las fallas no evidentes: Son de prioridad alta ya que las consecuencias por lo general son catastróficas. Se emplean entonces dispositivos de protección para eliminar o reducir las consecuencias de la falla. “Estos dispositivos alertan a los operadores ante condiciones anormales, detienen el equipo en caso de falla, eliminan o alivian las condiciones anormales que siguen a una falla y que de otra manera podrían causar caos más serios, asumen el control de una función que ha fallado, previene que surjan situaciones peligrosas”⁹.

⁷ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltd., 2004. p.110

⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltd., 2004. p.110

⁹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltd., 2004. p.115

Por el hecho de tener sistema de protección se pueden generar diferentes tipos de falla que se relacionan con el dispositivo.

Si la falla del dispositivo se vuelve evidente en circunstancias normales se dice que el dispositivo tiene seguridad inherente. En este caso pueden ocurrir 3 posibilidades: la primera es que no falle el dispositivo de seguridad, la segunda que la función que está protegiendo este dispositivo falla antes que falle el dispositivo de seguridad y la tercera es que falle primero el dispositivo de seguridad, en este último caso se debe pensar en colocar un segundo dispositivo de seguridad o en alternativas como colocar a un operar vigilando mientras se repara el dispositivo de seguridad.

Si la falla del dispositivo no es evidente en circunstancias normales se dice que el dispositivo no tiene seguridad inherente. En este caso pueden ocurrir 4 posibilidades: la primera es que no falle el dispositivo, la segunda que la función que está protegiendo este dispositivo falla antes que falle el dispositivo de seguridad y la tercera es que falle primero el dispositivo de seguridad, en este caso no es evidente que el dispositivo de seguridad ha fallado y la cuarta posibilidad es que falla primero el dispositivo de seguridad y después falle la función protegida mientras el dispositivo de seguridad continúa en estado de falla. A esto último se le llama falla múltiple.

“El objetivo de un programa de mantenimiento para una falla oculta es prevenir la falla múltiple asociada, o al menos reducir las probabilidad de que ocurra”¹⁰.

Se debe entonces calcular la probabilidad de falla múltiple para las fallas ocultas de la siguiente manera:

“Probabilidad de falla múltiple = Probabilidad de una falla de la función protegida (es la inversa de su tiempo medio entre fallas) x Promedio de no disponibilidad del dispositivo de protección (tiempo de parada de la

¹⁰ Ibid. p.118

máquina)”¹¹. La pregunta que se debe hacer el dueño del activo es hasta dónde es tolerable este porcentaje de falla múltiple, se puede diseñar una matriz en donde se relacione el costo del evento con la probabilidad tolerada de cualquier evento, se debe tener claro que “los riesgos económicos que cada organización está dispuesta a tolerar es cuestión de cada empresa”¹².

Lo que finalmente buscamos es reducir la probabilidad de una falla múltiple, se debe buscar una tarea proactiva para reducir esta probabilidad a un nivel tolerable para la empresa, sino se encuentran debe revisar periódicamente el equipo, sino es posible se debe pensar en rediseño.

3.3.6 Tareas de mantenimiento. RCM maneja la falla de 2 formas: mediante tareas proactivas, es decir tareas que se ejecutan antes de que ocurra la falla como el mantenimiento preventivo y predictivo, para lo cual se utilizan:

- Tareas a Condición

Se utilizan para identificar las fallas potenciales, mediante las condiciones identificables las cuales muestran que va a ocurrir una falla funcional o que está en proceso de ocurrir, con la finalidad de hacer algo antes

de que se convierta en falla funcional.

- Tareas de reacondicionamiento cíclico y de sustitución cíclica

Los componentes de un equipo son revisados y reparados a una frecuencia fija sin importar su estado. Cuando el modo de falla es relacionado con la edad algunas veces no es posible devolverlo a su condición normal de funcionamiento, en tales casos se debe cambiar el activo.

3.3.7 Acciones “a falta de”. Cuando no se ha encontrado ninguna tarea proactiva que reduzca el riesgo de falla a un nivel tolerablemente bajo se pueden

¹¹ Ibid, p.121

¹² MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltd., 2004, p.123

emplear acciones “a falta de” entre las cuales está: búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento no programado.

Búsqueda de falla: Para las fallas ocultas que originan fallas múltiples y no se ha encontrado una tarea proactiva que reduzca el riesgo de falla, se debe realizar periódicamente una tarea de búsqueda de falla, en caso de no encontrar una tarea de búsqueda de falla apropiada, se debe rediseñar.

Rediseño: Se presenta cuando hay algún cambio en las especificaciones o cualquier componente de un equipo, incluye además modificaciones cuando se agrega un elemento nuevo, se sustituye la máquina entera o se cambia de ubicación.

Mantenimiento no programado: El mantenimiento no programado es válido sólo si la falla múltiple asociada no trae consecuencias a la seguridad ni al medio ambiente, y si no se puede encontrar una tarea proactiva que no sea costo – eficaz.

Figura No 24. Hoja de Análisis Modos de efecto de falla

HOJA DE TRABAJO RCM						
Sistema: Grupo electrogeno a gas de 500KW			Equipo de trabajo: Departamento de O&M		Fecha de realización: Mar 3 de 2011	
Subsistema: Sistema Admision y Escape			Abrobado por: Alexander Pinzon Avila		Fecha de aprobacion Abril 5 de 2011	
C.F.	FUNCION	C.F.F.	FALLA DE FUNCION	C.M.F.	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
2	Es suministrar grandes cantidades de aire limpio al motor, por medio de un filtro el cual tiene como funcion retener impurezas y abrasivos como polvo y no produzcan daños prematuros en anillos, pistones y paredes del cilindro.	2A	Falta de presion de aire de entrada al multiple de admision	2A1	Filtro Aire Restrigido	Humos negros en el escape, apreciando perdida de potencia en el motor.
				2A2	Fugas en conexiones del multiple de admision	Baja velocidad del turbo, perdida de potencia y gases de escape limpios.
				2A3	Rodete de turbina averiada (Turbocompresor)	Acumalacion de impurezas en el rodete y lubricacion deficiente.
Subsistema: Sistema Escape			Abrobado por:			
3	Su funcion es evacuar gases quemados en el ciclo de combustion	3A	Baja velocidad por obstrucion en el filtro de aire	3A1	Admision de aire restringida	Fugas conexiones del colector de admision.
				3A2	Contra presion excesiva en la salida de gases del turbo	Suciedad o abolladuras en los conductos de escape
				3A3	Impurezas o carbonilla que obstaculizan el giro.	Ruidos en el turbocompresor
				3A4	Vibraciones excesivas	Alabes de trubina o rodete deteriorados

3.3.8 Diagrama de decisión de RCM. Este diagrama define qué mantenimiento de rutina será realizado, sus frecuencias, si las fallas son lo suficientemente serias como para justificar un rediseño y qué se dejará como mantenimiento no programado.

El formato de información del análisis de efectos de fallo se muestra la figura No 24 y el diagrama de decisión RCM II se muestra en la figura 25. La hoja de decisión está dividida en 16 columnas. Las primeras 3 (F, FF y FM) identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Se utiliza para correlacionar la hoja de información con la hoja de decisión.

Las siguientes 4 columnas son para evaluar las consecuencias de cada modo de falla, en cuanto a:

- H= ¿Será evidente a los operadores la pérdida de la función causada por

éste modo de falla actuando pos sí solo en circunstancias normales? Si la respuesta es afirmativa se escribe S en la columna H y se sigue con la pregunta S, pero si la respuesta es negativa se escribe N en la columna H y se baja en el diagrama de decisión a la pregunta H1.

- S= ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien? Si la respuesta es afirmativa se escribe S en la columna S y se sigue con la pregunta S1, pero si la respuesta es negativa se escribe N en la columna S y se sigue en el diagrama de decisión a la pregunta E.
- E= ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier normativa o reglamento del medio ambiente? Si la respuesta es afirmativa se escribe S en la columna E y se sigue con la pregunta S1, pero si la respuesta es negativa se escribe N en la columna E y se sigue en el diagrama de decisión a la pregunta O.
- O= ¿Ejerce el modo de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional? Si la respuesta es afirmativa se escribe S en la columna O y se sigue con la pregunta O1, pero si la respuesta es negativa se escribe N en la columna O y se sigue en el diagrama de decisión a la pregunta N1.

Las siguientes 3 columnas registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva y qué tipo de tarea.

- H1,S1,O1,N1= Se registra S si se establece que es técnicamente factible realizar una tarea por condición, en caso negativo se registra N
- H2,S2,O2,N2= Se registra S si se establece que es técnicamente factible realizar una tarea de reacondicionamiento programado, en caso negativo se registra N

- H3,S3,O3,N3= Se registra S si se establece que es técnicamente factible realizar una tarea de sustitución cíclica, en caso negativo se registra N

Si se deben registrar tareas a falta de se completan en las columnas H4, H5, S4, estas columnas sólo se responden si las 3 anteriores siempre fueron “no”.

- H4= Se registra S si se establece que es técnicamente factible realizar una tarea de búsqueda de fallas, seguidamente se completan las últimas 3 columnas. En caso negativo se registra N.
- H5= Sólo se registra si H4 es negativo. Se pregunta si la falla múltiple afecta la seguridad o el medio ambiente. Si se registra S es obligatorio realizar rediseño, en caso negativo se registra N
- S4= Sólo se registra si H4 y H5 son negativo. Se registra S si es técnicamente factible realizar una combinación de tareas proactivas. la falla múltiple afecta la seguridad o el medio ambiente, en caso negativo se registra N y el rediseño es obligatorio.

Las últimas 3 columnas se utilizan para colocar la tarea propuesta, su frecuencia y quién ha sido designado para ejecutarla. En la columna Tarea Propuesta, también se utiliza para especificar si el modo de falla requiere rediseño o si no se programará mantenimiento.

Figura No 25. Diagrama de Decisión RCM

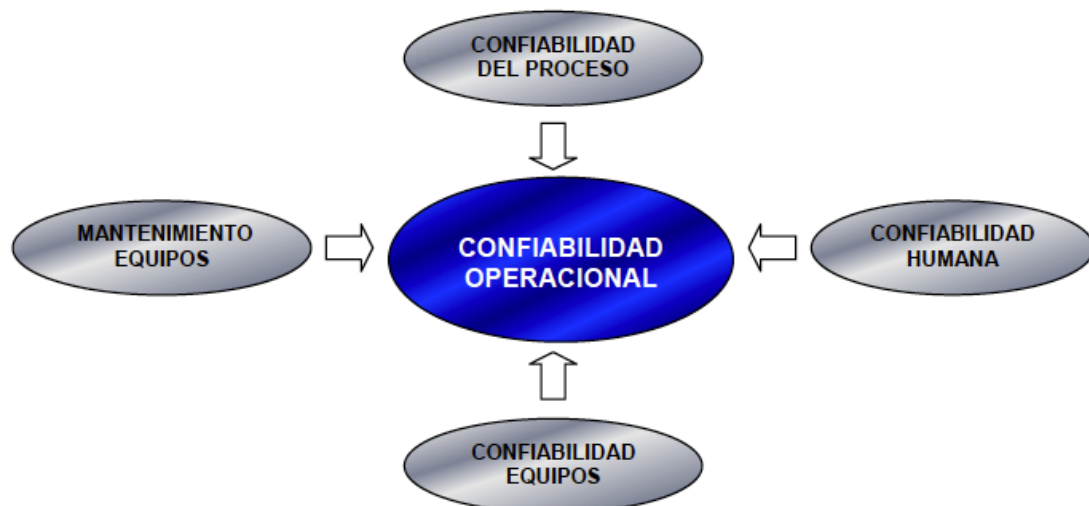
HOJA DE TRABAJO RCM															
Equipo		Grupo electrogeno a gas de 500KW					Equipo de trabajo:Departamento de O&M					Fecha de realización:Mar 3 de 2011			
Componente		Sistema Sistema Admision y Escape					Abrobado por: Alexander Pinzón					Fecha de aprobación:Abril 5 de 2011			
Ref. Información		Evaluación Consecuencias					Decisión			Tareas "a falta de"		Tareas Propuestas	Frec. Inicial	A realizar por...	
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	H4	H5				S4
2	A	1	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	Inspeccion de indicador de presion del filtro de aire	Cada 168	Operador De Generacion Y Mecanico
2	A	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Tarea de reacondicionamiento ciclico Inspeccion de conexiones del multiple admision	Cada 9000	Operador De Generacion Y Mecanico
2	A	2	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Tareas de reacondicionamiento ciclico Inspeccion de fugas lubricacion al turbo de la parte compresora de aire	Cada 4500	Tecnico mecanico
2	A	3	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Tarea de reacondicionamiento ciclico Inspeccion de multiple de admision y escape	Cada 9000	Tecnico mecanico
3	A	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Tarea de reacondicionamiento ciclico Inspeccione que no se encuentre materiales de obstruccion	Cada 500 Horas	Operador De Generacion Y Mecanico
3	A	2	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Tarea de reacondicionamiento ciclico Inspeccion que el turbo tenga su velocidad nominal y no genere ruido	Cada 500 Horas	Operador De Generacion Y Mecanico
3	A	3	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Tarea de reacondicionamiento ciclico Inspeccione que el turbo no presente fugas de lubricacion y torquiado	Cada 500 Horas	Operador De Generacion Y Mecanico

4. ANALISIS DE CRITICIDAD

Debido al número de equipos que operan en el centro de generación, es necesario establecer hacia qué equipos se deben dirigir todos los esfuerzos y metodologías de mantenimiento para atender las áreas o subsistemas más críticos. En este capítulo se explica cómo se realiza un Análisis de Criticidad, las ventajas que se obtienen y como se aplica a la planta de generación.

El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional. El Análisis de Criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la Confiabilidad Operacional, basado en la realidad actual. El mejoramiento de la Confiabilidad Operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad del proceso, confiabilidad humana, confiabilidad de los equipos y mantenimiento de los equipos.

Figura No 26. Aspectos de la Confiabilidad Operacional



4.1 DEFINICIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un Análisis de Criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis¹³.

El objetivo de un Análisis de Criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. La información recolectada en el estudio podrá ser utilizada para:¹⁴

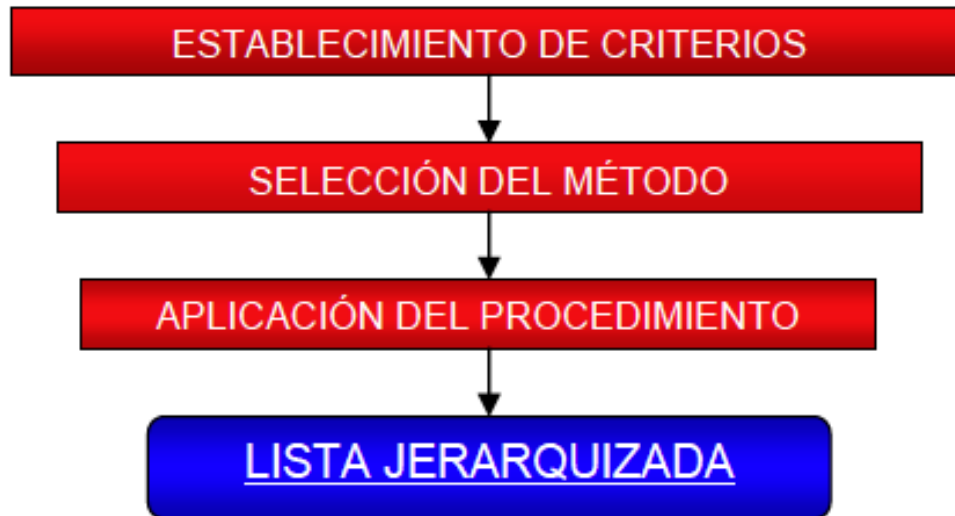
- Priorizar órdenes de trabajo de operaciones y mantenimiento.
- Priorizar proyectos de inversión.
- Diseñar políticas de mantenimiento.
- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.
- Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos.

El Análisis de Criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos: mantenimiento, inspección, materiales, disponibilidad de planta, personal.

¹³ BECERRA SOLÓRZANO Guillermo. Diseño de un Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional para el Área de Servicios Industriales de Bavaria S.A. 2005. Capítulo 3.

¹⁴ Huerta Mendoza Rosendo, “El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional” ., 2001, p.12

Figura No 27. Modelo básico de criticidad



4.2 PASOS PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

4.2.1 Identificación de los equipos a estudiar. El centro de generación consta de siete equipos representativos equipos funcionando actualmente. Este grupo de equipos forma parte de los límites contractuales de Copower.

Tabla No 2. Tabla de equipos centro de generación

EQUIPOS REPRESENTATIVOS CENTROS DE GENERACION	
1	SCRUBBER
2	VALVULA REGULADORA DE GAS
3	FILTRO COALESCENTES
4	COMPRESOR DE AIRE
5	HIDROLAVADORA
6	TRANSFORMADOR
7	GRUPO ELECTROGENO


4.2.2 Identificación del método a aplicar. Para registrar el estudio de criticidad a cada uno de los equipos se deben recolectar un grupo de información que nos puedan ayudar a ver qué tan crítico puede ser nuestros equipos. Entre los datos a recolectar tenemos la

frecuencia de fallas, el impacto operacional que le puede causar a la operación la falta de este equipo, la flexibilidad operacional del equipo (que dificultad hay en conseguir los repuestos), el costo de mantenimiento del equipo y el impacto en la Seguridad, el Ambiente y la Higiene (SAH) en el momento de un daño.

En base a estos documentos y el seguimiento de los mismos, nos permitimos realizar un estudio de criticidad de cada uno de los equipos por el MÉTODO DE FACTORES PONDERADOS BASADOS EN EL COCEPTO DE RIESGO, donde los costos de mantenimiento anual son críticos cuando iguala o sobre pasa el 5% del costo del equipo. Entre la documentación recopilada tenemos la información de los manuales de operación y mantenimiento de cada uno de los equipos, información basado en la de experiencia de personal técnico de estos equipos, soporte de la casa matriz, el formato de Horas Maquinas mensual, los chequeos diarios, las historias del equipo y el presupuesto de repuestos y consumibles registrados para los equipos.

Para facilitar la recolección de datos y el estudio de los equipos se aplicaron los siguientes formatos:

Tabla No 3. Estudio de criticidad por los factores ponderados basado en el cocepto de riesgo

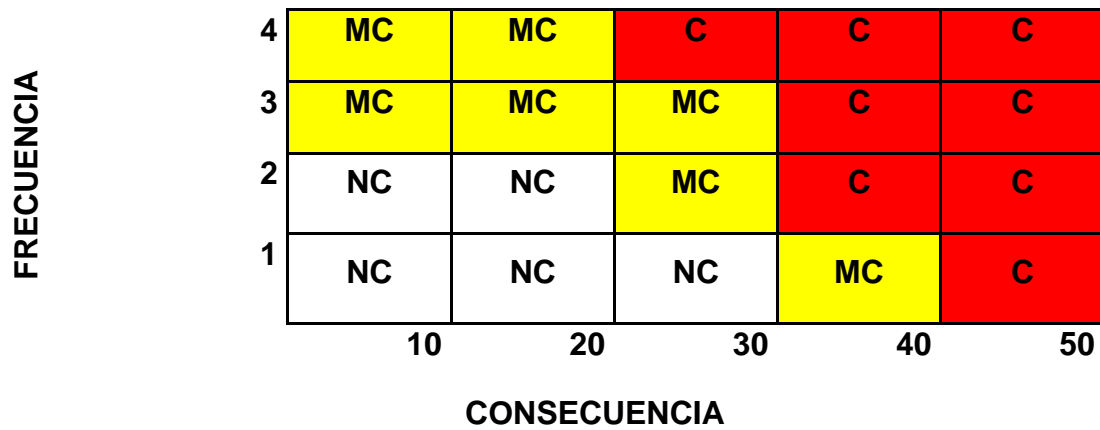
	ESTUDIO DE CRITICIDAD POR LOS FACTORES PONDERADOS BASADOS EN EL CONCEPTO DE RIESGO	CODIGO: PR-GE10-F02
		VERSION: 01
		FECHA: 27/08/2010
Equipo: _____ Marca: _____ Fecha: _____		
FRECUENCIA DE FALLAS	OPCIONES	SELECCIONADO
Pobre mayor a 4 fallas/año.	4	
Promedio 2 - 4 fallas/año.	3	
Buenas 1 - 2 falla/año.	2	
Excelente menos de 0.5 fallas/año.	1	
IMPACTO OPERACIONAL	OPCIONES	SELECCIONADO
Pérdida de todo el despacho.	10	
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusiones en otros sistemas.	7	
Impacto en niveles de inventarios o calidad.	4	
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción.	1	
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	OPCIONES	SELECCIONADO
No existe opciones de producción y no hay función de repuesto.	4	
Hay opciones de repuesto compartidos/almacén.	2	
Función de repuesto disponible.	1	
COSTO DE MANTENIMIENTO	OPCIONES	SELECCIONADO
Costo de mantenimiento anual mayor o igual al 5% del costo del equipo.	2	
Costo de mantenimiento anual menor al 5% del costo del equipo.	1	
IMPACTO EN SEGURIDAD AMBIENTE E HIGIENE (SAH)	OPCIONES	SELECCIONADO
Afecta la seguridad humana tanto interna como externa y requiere la notificación a entes externos de la organización.	8	
Afecta el ambiente/instalaciones.	7	
Afecta las instalaciones causando daños severos.	5	
Provoca daños menores (ambiente - seguridad).	3	
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente.	1	
Realizado por: _____ Revisado por: _____		

Los datos obtenidos en el formato anterior son registrados en la siguiente tabla:

Tabla No 4. Aplicación de criterios bajo el método de factores ponderados bajo el concepto del riesgo

TABLA DE APLICACIÓN DE CRITERIOS BAJO EL METODO DE FACTORES PONDERADOS BASADOS EN EL CONCEPTO DE RIESGOS							
ITEM	EQUIPOS	CRITERIOS					CRITICIDAD TOTAL
		FRECUENCIA DE FALLAS	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MATTO	IMPACTO EN SHA	
1	Scrubber	1	10	2	1	7	28
2	Valvula reguladora de gas	1	10	2	1	3	24
3	Filtro Coalescente	1	10	2	1	7	28
4	Compresor de Aire	2	1	1	1	1	6
5	Hidrolavadora	2	1	1	1	1	6
6	Transformador	1	10	2	1	7	28
7	Grupo electógeno	4	10	4	1	5	184

Tabla No 5. Diagrama de criticidad



Después de realizar este análisis podemos reorganizar nuestro plan de mantenimiento y las tareas específicas de cada uno de los equipos con el fin de suministrarle el tiempo, la importancia y las manos de obras necesarias a cada uno de los equipos en referencia a su grado de criticidad.

Esto no quiere decir que debemos descuidar los equipos que no son críticos, si no que se pueden realizar inspecciones programadas de menor intensidad a aquellos equipos no críticos y dedicarles más tiempo y seguimiento a los que de alguna forma nos pueden perjudicar las condiciones del contrato en el centro de generación.

Teniendo en cuenta lo anterior, replanteamos la periodicidad de los mantenimientos preventivos, sin dejar a un lado lo recomendado por los fabricantes y colocamos las actividades recomendadas para cada intervención.

El plan de mantenimiento y las fichas técnicas del equipo más crítico se encuentran en los documentos anexos a este proyecto.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN GENERAL DE MANTENIMIENTO

Al aplicar un plan de mantenimiento es necesario desarrollar unas etapas fundamentales:

5.1 FASE DE PLANEACIÓN

- Presentar un programa al departamento de mantenimiento, definiendo los objetivos, el alcance, cronograma y presupuesto.
- Formación del equipo RCM, Los integrantes de este grupo entran en un proceso de aprendizaje ya que conocen a profundidad el funcionamiento de los equipos y sus modos de falla. Esto trae consecuencias positivas para los mismos activos ya que los trabajadores ejecutan posteriormente sus labores con más conciencia y mayor rendimiento.
- Definición de las políticas y metodología de las reuniones.
- Sensibilizar al personal con el programa de capacitación a través de un consultor o grupo de mantenimiento, con la finalidad de sensibilizar al personal en el manejo de conceptos y metodología RCM II.

5.2 FASE DE INVESTIGACIÓN

Se recolectará información documental, oral o escrita mediante entrevistas con el personal de operación y mantenimiento del centro de generación:

- Manuales, planos y documentos relacionados con los equipos
- Experiencia de los fabricantes o proveedores técnicos especializados en las fallas comunes en los equipos que suministran, teniendo en cuenta el contexto operacional.
- Información operacional, instrucciones de operación y mantenimiento.
- Planillas de los operadores.
- Historia del mantenimiento, registro de fallas anteriores.

- Listado de componentes de los sistemas.
- Procedimientos e instructivos.
- Información de la industria.

5.3 FASE DE EJECUCIÓN

Después de obtenidos los resultados del Análisis de Criticidad y el Análisis de Modos y Efectos de Falla, se elaborará los primeros esquemas para el mantenimiento, donde las herramientas anteriormente mencionadas dieron las pautas para el estudio del equipo más crítico en nuestro caso el grupo electrógeno a gas.

5.3.1 Mantenimiento preventivo. Cualquier plan de mantenimiento preventivo bien elaborado y apropiadamente aplicado, produce beneficios que sobrepasan los costos. Entre las múltiples ventajas del mantenimiento preventivo, las más importantes son las siguientes:

- Reducción de las paradas imprevistas de los equipos.
- Mayor seguridad para operarios y maquinaria.
- Menor necesidad de reparación en gran escala y menor número de reparaciones repetitivas disminuyendo costos en materiales y recurso humano.
- Cambio de mantenimiento deficiente de paros imprevistos a mantenimiento programado, con lo que se logra mejor control de personal, repuestos y equipo.
- Disminuyen los pagos por tiempo extra de los trabajadores de mantenimiento originados por las reparaciones imprevistas.

Para nuestro caso un mantenimiento preventivo bien aplicado genera un cronograma de actividades sincronizadas con la operación del campo petrolero evitando cualquier tipo de pérdida de producción y como consecuencia la insatisfacción del cliente.

5.3.1.1 Frecuencias de las inspecciones: Un aspecto muy importante para lograr una buena programación de mantenimiento preventivo, es la fijación de las frecuencias de inspección, lo cual influye preponderantemente, en los costos y economía del programa.

La decisión de cuan a menudo inspeccionar es fundamentalmente un asunto experimental.

Existen dos tipos de mantenimiento relacionados con la frecuencia:



- **Mantenimiento de alta frecuencia.** Se define como programas de alta frecuencia a aquellos que se realizan con intervalos de hasta una semana. Estos programas generalmente consisten en tareas de prevención y búsqueda de fallas simple. Tienen un bajo contenido de trabajo y por lo tanto pueden hacerse rápidamente. La mayoría puede llevarse a cabo mientras el grupo electrógeno está operando, con lo que puede hacerse casi en cualquier momento. Se basan fundamentalmente en la inspección visual y de los elemento de medida y condiciones de operación del generador.
- **Mantenimiento de baja frecuencia.** Son aquellos que se hacen con intervalos de un mes o más. Para nuestro son programados con el número de horas de operación del grupo electrógeno. Por lo general implican un trabajo mayor con lo que se necesita más tiempo para realizarlo y por lo general debe detenerse la operación del generador mientras se están llevando a cabo.

5.3.2 Intervalos para el mantenimiento preventivo para el grupo electrógeno a Gas.

El plan de mantenimiento diseña las rutas de inspección que proporcionan información del estado de los componentes que hacen parte del equipo a inspeccionar. Esta información es necesaria para planear trabajos programados que puedan prevenir paros imprevistos y daños severos al equipo.

Para el mantenimiento preventivo del equipo más crítico en nuestro caso de estudio el grupo electrógeno se diseña una ruta de inspección para la intervención de cada uno de los subsistemas de acuerdo a las paradas programadas en función de las horas de operación, a continuación se detalla en la tabla los 10 subsistemas y la intervención de cada uno de ellos por horas de operación.

Tabla No. 6. Intervención de los subsistemas de grupo generador por horas de operación

																					
FABRICANTE: JICHAI		ELABORO: LUIS LAPORTE				REVISION: JORGE URQUIJO				UBICACIÓN: CAMPO COLON											
ITEM	SUBSISTEMAS	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
1	SISTEMA COMBUSTIBLE TREN DE GAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	SISTEMA DE ARRANQUE																				
3	SISTEMA DE IGNICION	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	SISTEMA DE ADMISION								X								X				
5	SISTEMA DE ESCAPE																X				
6	SISTEMA DE LUBRICACION				X				X				X				X				X
7	SISTEMA REFRIGERACION						x			X			x						X		
8	SISTEMA GENERADOR																				X
9	SISTEMA CONJUNTO MOVIL																				X
10	SISTEMA CONTROL																				X

Estas rutas de inspección fueron diseñadas bajo la supervisión del departamento de generación de la compañía Copower Ltda, de tal forma que el supervisor u operario revise los puntos vulnerables de las componentes de la máquina.

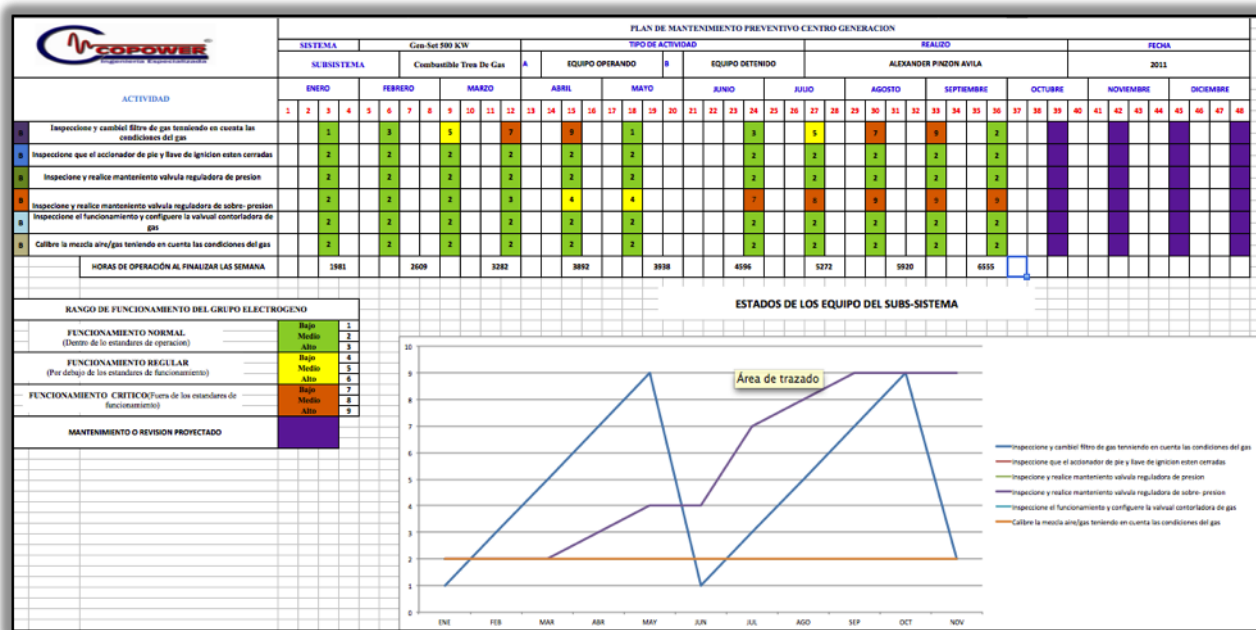
5.3.2.1 Formato de Plan de Mantenimiento por subsistemas: Esta información hace fácil la búsqueda de los estados de los compontes y permite identificar las condiciones en su ciclo de vida.. Al inicio de las filas se puede anotar si la inspección se hace con el equipo en funcionamiento letra **A**; como ejemplo un análisis de vibración, control de presión o temperatura o si la inspección se realiza con el equipo detenido letra **B**, como en el caso de inspección de desgastes de los tornillos de ajuste de las válvulas de admisión y válvulas de escape, alineaciones, etc. El formato contiene 4 semanas mensuales para un total de 48 al año y al frente de la actividad una casilla para que el supervisor anote el rango de funcionamiento, el cual consta de un número del 1 al 9, que describe la condición en la que se encuentra el componente del equipo y un color característico verde, amarillo o rojo que permite visualizar en qué estado funciona el equipo, como se muestra en la tabla 7.

Tabla No 7. Rango de funcionamiento de los equipos

Funcionamiento Normal (Dentro de los estándares de operación)	Bajo	1
	Medio	2
	Alto	3
Funcionamiento Regular (Por debajo de los estándares de funcionamiento)	Bajo	4
	Medio	5
	Alto	6
Funcionamiento Crítico (Fuera de los estándares de funcionamiento)	Bajo	7
	Medio	8
	Alto	9


La calificación dada por el operario es mostrada en una gráfica Tiempo vs. Estado del componente, que se visualiza en la parte inferior del formato. En esta gráfica se puede apreciar los periodos de inspección, la variación del estado de los componentes en los equipos y si uno le afecta al otro.

Tabla No 8. Grafica Tiempo Vs Estado del Componente



Lista de chequeo diario. Su intención es generar un reporte diario de las variables fácilmente indetectable en la operación del generador, como lo son temperaturas, presiones, voltajes y corrientes de operación con el fin de identificar alguna situación

Figura No 28. Modelo de Informe de Inspección

		FORMATO DE INSPECCION				CODIGO: PR-GE10-F02					
						VERSION: 01					
						FECHA: 27/08/2010					
EQUIPO:		SUBSISTEMA:			PARTE:						
FECHA	ACTIVIDAD	INFORME DE LA CONDICION DE LA MAQUINA	CALIFICACION								
			NORMAL			REGULAR			CRITICO		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9

5.3.3 Mantenimiento Predictivo. La implantación de un mantenimiento predictivo para el grupo electrógeno consiste en la monitorización de las condiciones mecánicas, rendimientos de la operación y otros indicadores de proceso para asegurar el mayor intervalo de tiempo entre reparaciones y minimizar el número y coste de las paradas ocasionadas por los fallos en las máquinas.

El mantenimiento predictivo nos ofrece las siguientes ventajas:

- Conocer el estado de nuestros equipos y del proceso en todo instante.
- Incrementamos los periodos entre paradas.
- Predecir posibles problemas, reduciendo el tiempo de intervención.
- Podemos determinar la causa de fallos crónicos.
- Reducimos el número de piezas en almacén, ya que estas se abastecerán una vez detectado el problema, el cual puede identificarse con antelación al fallo.
- Incrementamos la seguridad.
- Mejoramos el proceso productivo.

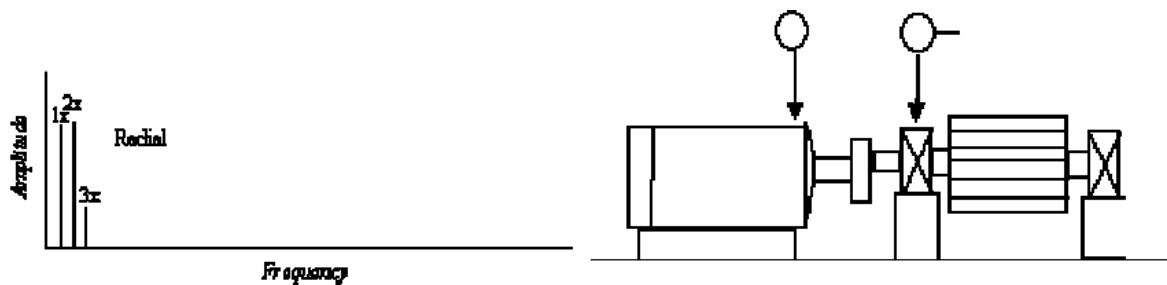
5.3.3.1 Técnicas del mantenimiento predictivo para el grupo electrógeno a Gas

➤ ANÁLISIS DE VIBRACIONES

La aplicación del análisis de vibraciones lo vamos a utilizar sobre los elementos que detallamos a continuación, utilizando analizadores de frecuencia digitales FFT en tiempo real y acelerómetros.

EJE DEL ALTERNADOR

Figura No 29. Acoplamiento mecánico rotor - alternador



Donde el fallo puede ser producido fundamentalmente por desalineaciones del eje (entre otros), que se caracterizan por:

Muestra alta vibración radial.

Presenta diferencia de fases de 180° en las medidas radiales a ambos lados del acoplamiento.

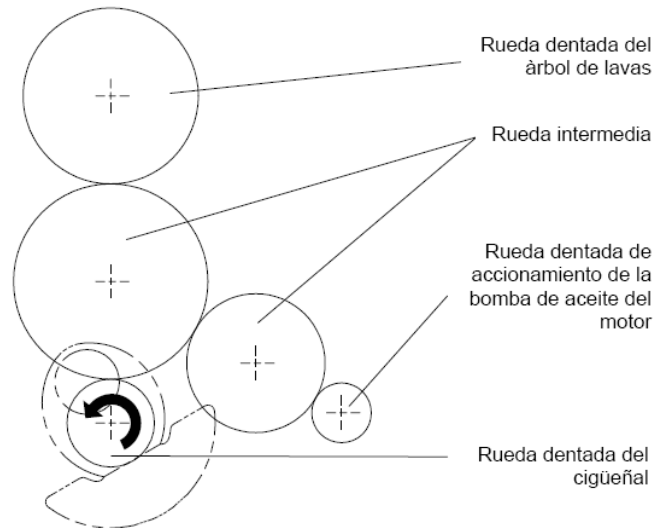
El 2x suele ser mayor que el 1x, pero la amplitud del 1x depende del tipo de acoplamiento y de su construcción.

Cuando una desalineación angular o radial llega a ser severas, pueden generar picos con amplitudes importantes y armónicas elevadas (4x – 8x) o incluso todos los armónicos del 1x dando un síntoma en apariencia similar al de la holgura mecánica.

El tipo de acoplamiento y su construcción tienen gran influencia en la forma del espectro para la desalineación.

ENGRANAJES

Figura No 30. Acoplamiento mecánico engranajes



Un espectro normal presenta vibración a $1x$ y $2x$ y la frecuencia de engrane GMF y armónicos pequeños de la misma.

A través del análisis obtenemos resultados de:

Dientes gastados

Dientes rotos

Carga en los dientes

Excentricidad y juego excesivo

Holguras

BOMBAS

Con el control mediante vibraciones del conjunto de bombas obtendremos resultados sobre:

Desequilibrio

Excentricidades

Ejes deformados

Desalineaciones

Holguras

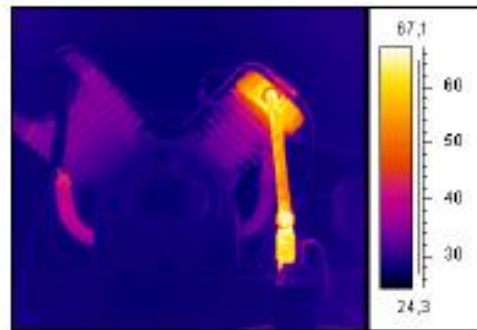
Desgaste de rodamientos

➤ **TERMOGRAFÍA INFRARROJA (ANÁLISIS TÉRMICO DE COMPONENTES)**

Dicha técnica nos permite:

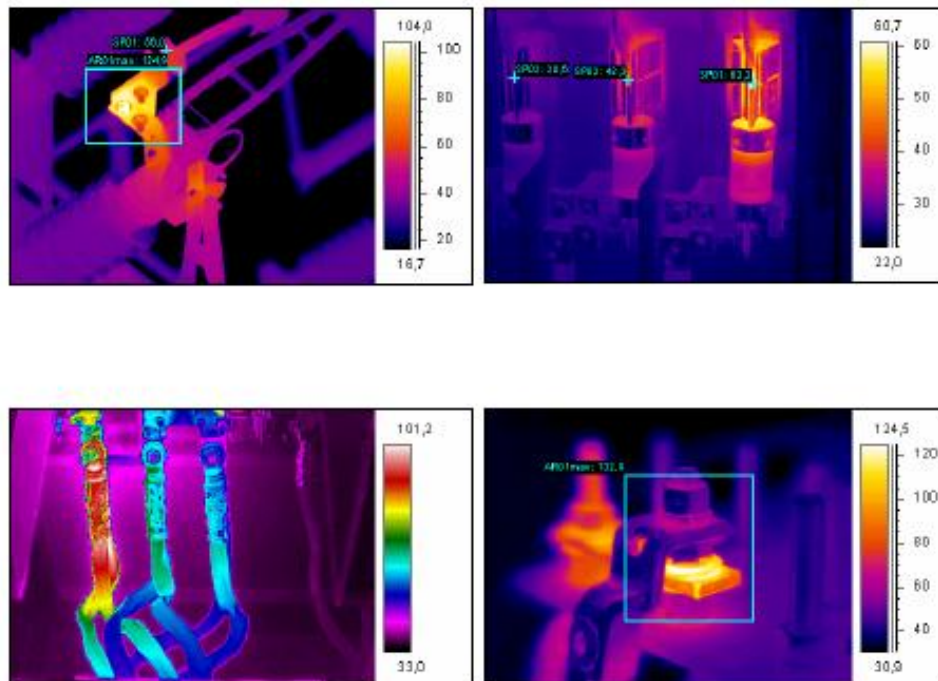
Evaluación del funcionamiento térmico de los diferentes cilindros del motor.

Figura No 31. Imagen térmica cilindros del motor



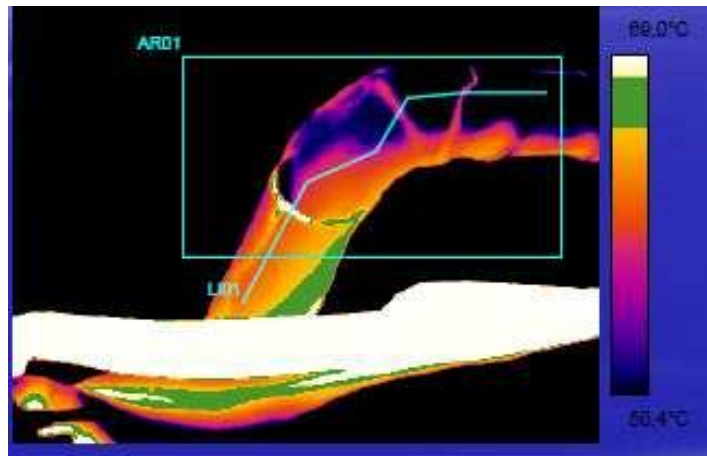
Correcto funcionamiento de cuadros eléctricos y reparto de potencias del alternador a los transformadores, así como conexiones.

Figura No 32. Imagen térmica conexiones de eléctricas



Estudio de las salidas de aire de refrigeración, así como del aislamiento.

Figura No 33. Imagen térmica sistemas de refrigeración y aislamiento



➤ **ANÁLISIS RÁPIDOS DEL ACEITE (PARÁMETROS DE DEGRADACIÓN Y CONTAMINACIÓN DEL LUBRICANTE)**

El fin lubricante es la reducir el rozamiento entre las superficies con movimientos relativos entre ellas y con ello el desgaste que sufren a los valores mínimos posibles. Su función es:

Controlar la fricción.

Controlar el desgaste

Controlar la corrosión

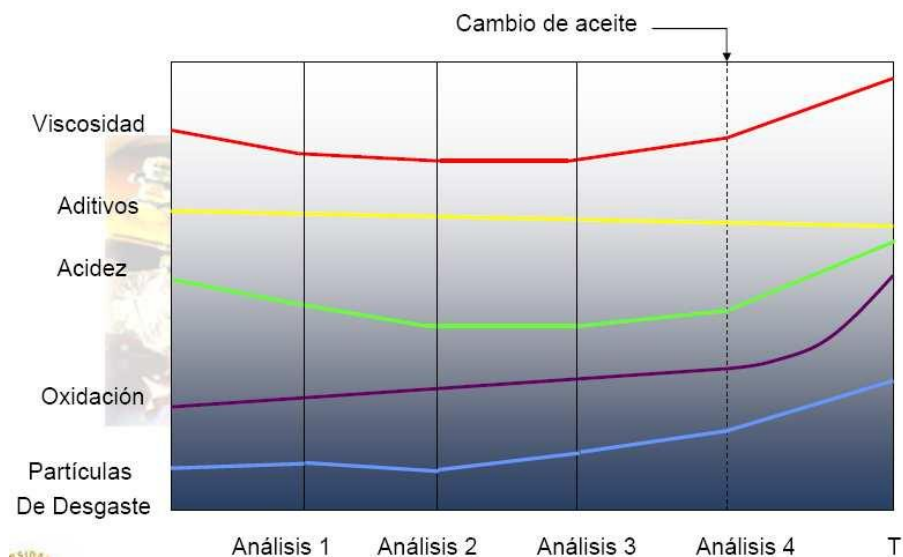
Controlar las temperaturas

Controlar la contaminación

Transmitir potencia

La analítica del lubricante del motor nos debe aportar:

Figura No 34. Analítica de lubricante del motor



- Viscosidad

Las causas de problema a la viscosidad del aceite pueden ser derivadas:

Oxidación

Evaporación del aceite básico

Formación de óxidos solubles
Contaminación con agua
Espuma o aire atrapado
Contaminación con líquido refrigerante
Adición aceite mayor viscosidad

La viscosidad del aceite usado es uno de los factores más importantes para determinar si un lubricante puede o no continuar en servicio. Prueba ASTM D-445 o estándares modificados. Se mide en Centistokes a 40°C y 100°C

- Oxidación del aceite

Causado por:

Altas temperatura de operación

Contaminación con agua.

Alto porcentaje de aire

Catalizadores metálicos como el cobre

- Contenido en agua

Los efectos de la contaminación por agua en el aceite lubricante:

Aumento de la viscosidad

Catalizador del proceso de oxidación

Formación de ácidos

Formación de barniz y lodos.

Disminuye la capacidad de filtrado del filtro.

Agotamiento o arrastre “lavado” de algunos aditivos.

El monitoreo y control de la cantidad de agua presente en el aceite se detecta a través de:

Demulsibilidad ASTM D-1401 /D-2711

Prueba de Karl Fischer.

Prueba de crepitación (prueba de campo).

Centrifugadoras de aceite.

Filtros súper absorbentes.

Deshidratadores de vacío

- Contaminación con Aire

Efectos de la contaminación por aire en el aceite lubricante:

Catalizador de la oxidación del aceite.

Acelera el agotamiento de algunos aditivos.

Falla de la película lubricante.

Corrosión.

Pobre transferencia de calor

- Contaminación por partículas sólidas:

Los efectos de la contaminación con partículas sólidas en el aceite lubricante:

Catalizador de la oxidación del aceite

Aumento de la viscosidad.

Desgaste Abrasivo, erosivo, por corrosión

Fatiga de la superficie.

Agotamiento de aditivos

- Contaminación por anticongelantes

Pobre lubricación.

Espesamiento del aceite.

Flujo de aceite restringido.

Emulsiones.

Taponamiento o falla del cartucho filtrante

- Contaminación por combustible

Disminución de la viscosidad.


Pérdida de la película lubricante.

Oxidación del aceite

Para establecer el adecuado mantenimiento preventivo se establece una analítica de:

- Viscosidad
- Contenido de agua
- Alcalinidad / Detergencia
- Índice de dispersancia
- Índice de contaminación
- Dilución con combustible
- Metales de desgaste

Figura No 35. Informe estado del lubricante del motor



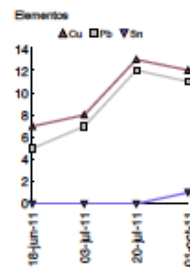
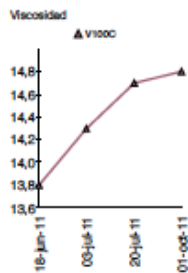
No. de Cuenta : 211477
 Nombre de la Cuenta : LUBRICANTES DEL ORIENTE
 Instalación : COPOWER
 Fecha : 21-oct-2011
 Número Signum : 31110312

C09-05-638-CP **Normal**

Descripción : Generador, Motor a Gas, Copower
 Componente : Motor - Gas Natural
 Fabricante : JIACHAC
 Modelo : C09
 Lubricante registrado : MOBIL PEGASUS 805

Por favor consulte la página siguiente para obtener comentarios completos.

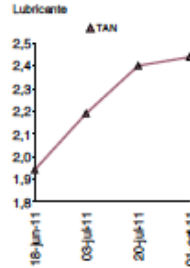
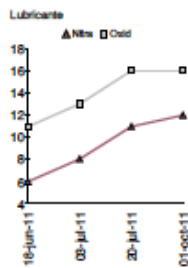
Información de la Muestra				
ID de Muestra	126761838	122254931	120026912	118796304
Fecha Muestra	01-oct-2011	20-jul-2011	05-jul-2011	19-jun-2011
Fecha del Informe	19-oct-2011	12-ago-2011	22-jul-2011	06-jul-2011
Marca	MOBIL	MOBIL	MOBIL	MOBIL
Lub. Analizado	PEG 805	PEG 805	PEG 805	PEG 805
Equipo, Horas	5855	4396	4050	3700
Acette Horas		1400	1050	700
Temp. del Dep.				
Itinerio				
Acette cambiado				
Filtro Cambiado				



Información de la Muestra				
ID de Muestra	126761838	122254931	120026912	118796304
Fecha Muestra	01-oct-2011	20-jul-2011	05-jul-2011	19-jun-2011

Elementos de desgaste - ppm (mg/kg)				
Ag (Plata)	0	0	0	0
Al (Aluminio)	3	2	3	0
Cr (Cromo)	0	0	0	0
Cu (Cobre)	12	13	6	7
Fe (Hierro)	35	19	44	21
Mo (Molibdeno)	0	0	0	0
Ni (Níquel)	1	0	0	0
Pb (Plomo)	11	12	7	5
Sn (Estanho)	1	0	0	0
Ti (Titanio)	0	0	0	0

Datos del lubricante				
Ev. de Contamin.	Normal	Normal	Normal	Normal
Evaluación Equipo	Normal	Normal	Normal	Normal
Ev. del Acete	Normal	Normal	Normal	Normal
Viscosidad @ 100C	14.8	14.7	14.3	13.8
Viscosidad SAE	40	40	40	40
Ind. de Refrigerante	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado
Nivel Tend. Nitrac.	Normal	Normal	Normal	Normal
Nitración (Ab/cm)	12	11	8	6
Comp. Nitro(Ab/cm)	0	0	0	0
Nivel Tend. Oxidac.	Normal	Normal	Normal	Normal
Oxidación (Ab/cm)	16	15	13	11
Índice PO	0	0	0	0
TAN (mg KOH/g)	2.44	2.40	2.19	1.94
Agua (Ivvd)	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado



Elementos contaminantes - ppm (mg/kg)				
B (Boro)	0	0	0	0
K (Potasio)	0	2	0	0
Na (Sodio)	3	1	0	7
Si (Silicio)	4	0	8	7
V (Vanadio)	0	0	0	0

Los resultados y comentarios de este análisis son sólo recomendaciones, la validez de la información puede ser afectada por la toma de una muestra no representativa o por información incorrecta. Este análisis se provee como información confidencial para quien lo manda. Su uso por cualquier otra persona queda estrictamente prohibido. © Derechos Reservados 2000 Exxon Mobil Corporation. Exxon, Esso, Mobil, ExxonMobil y Signum son marcas registradas de Exxon Mobil Corporation o alguna de sus subsidiarias. Afiliada de Comercialización - ExxonMobil Lubricants & Specialties.

Normal + Precaución * Alerta



➤ **ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DEL LIQUIDO REFRIGERANTE**

El análisis físico-químico de la mezcla del líquido refrigerante con agua nos permite ver la degradación del mismo, así como la posible oxidación de las tuberías del sistema de refrigeración.

➤ **ENDOSCOPIA (VISUALIZACIÓN INTERNA DEL MOTOR)**

Puntualmente y ante averías con un grado de dificultad elevado de acceso podemos acudir a la técnica de endoscopia, con objeto de inspeccionar el estado de las válvulas, cilindros, engranajes, bielas, cigüeñales, reductores, estado de pistones en compresores o motores de explosión, rodetes de bombas etc.

Figura No 36. Boroscopio Extech



➤ **PRUEBAS ELECTRICAS PARA LA VERIFICACIÓN DEL ESTADO DEL AISLAMIENTO (ESTADO DEL AISLAMIENTO DEL ALTERNADOR)**

El aislamiento eléctrico es la propiedad de un material de oponerse al paso de la corriente eléctrica, que depende de la composición fisicoquímica del material y de agentes externos como la temperatura. El aislamiento sufre procesos de degradación con el tiempo que son acelerados por condiciones como altas temperaturas, humedad, contaminación, presencia de elementos corrosivos, fricción y vibraciones. Es muy

importante garantizar adecuados niveles de aislamiento eléctrico con el fin de garantizar la seguridad de las personas y de los equipos eléctricos.

Equipos de Prueba de Aislamiento

Para realizar las pruebas de aislamiento se utilizan equipos que aplican altas tensiones directamente sobre el aislamiento, para hacer circular corrientes generalmente muy pequeñas que a su vez son medidas con gran precisión. Anteriormente se utilizaban equipos que aplicaban entre 5 y 12kV DC, el resultado de estas pruebas es un valor de resistencia de aislamiento que sin embargo no necesariamente es el valor de la resistencia en operación normal en media o alta tensión, ya que la resistencia de aislamiento puede disminuir con el aumento de la tensión aplicada debido a la ionización en las cavidades o grietas dentro del material.

Figura No 37. Equipo de pruebas de Aislamiento en baja tensión



Un mejor indicador del estado del aislamiento es el valor de la Tangente Delta o de la relación de disipación entre la energía activa y la reactiva (capacitiva) en el material aislante. Esta prueba entrega una información más completa de la calidad del aislante, por ejemplo en un transformador inmerso en aceite un elevado contenido de humedad en el papel aislante está relacionado con un alto valor de Tangente Delta. Esta prueba también es muy importante en el mantenimiento predictivo de cables de media y alta tensión, donde la frecuencia de fallas es relativamente alta.

Figura No 38. Equipo de pruebas para medición de tangente Delta



Técnicas de Diagnostico

Para el análisis de los resultados obtenidos al realizar las pruebas de aislamiento, se han diseñado diferentes técnicas de diagnóstico, entre las más usuales podemos encontrar:

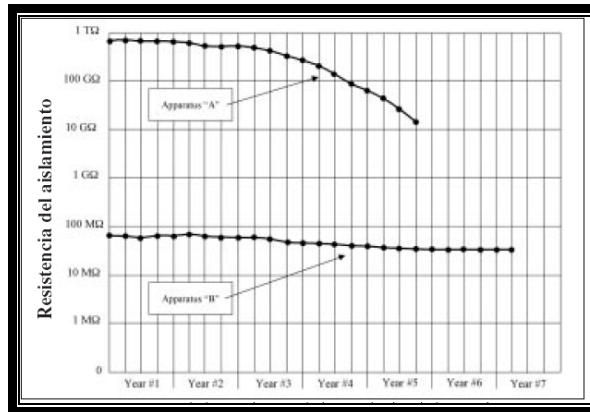
Pruebas Puntuales

El análisis del estado del aislamiento se fundamenta en la comparación del valor medido, con un valor específico, que puede ser el valor establecido por el fabricante del equipo bajo prueba, o el valor recomendado por alguna norma local, nacional o internacional. Por su facilidad es la técnica más empleada en el diagnóstico del aislamiento, su desventaja radica en que no indica las posibles variaciones que se puedan estar presentando a través del tiempo en el equipo.

Análisis de Tendencias.

Son útiles para conocer la tasa de degradación del aislamiento y de esta forma predecir la finalización del tiempo de vida útil del aislamiento. Es necesario diseñar un programa con una frecuencia determinada y preferiblemente desde el inicio de la vida útil del equipo. Las variaciones a través del tiempo son presentadas en forma gráfica.

Figura No 39. Tendencia de degradación del aislamiento



➤ **PRUEBAS ELECTRICAS PARA LA VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA BATERIA DE ARRANQUE (MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD)**

La verificación del estado de las baterías incluye la verificación de parámetros eléctricos como lo son la resistencia de cada batería y de las conexiones entre baterías, el valor de tensión de continua y la condición de cada celda durante los periodos de descarga, también es necesario realizar pruebas de temperatura y gravedad específica. Para las pruebas eléctricas se utiliza un equipo denominado analizador de baterías

Figura No 40. Megger Bite 2P – Analizador de Baterías



Análisis de los resultados


Los resultados de las pruebas de baterías se deben analizar de acuerdo a la naturaleza del banco, es decir del principio químico de funcionamiento, sin embargo el análisis de los resultados obtenidos se basa en la comparación de los resultados obtenidos para

cada una de las celdas con respecto a las demás celdas, con respecto a valores determinados por el fabricante y con valores de tiempos anteriores (análisis de tendencia).

5.3.4 Actividades del plan de Mantenimiento y Frecuencia por subsistemas. A continuación se describirá las actividades en el plan de mantenimiento por cada uno de los subsistemas estudiados en el equipo más crítico, estos mantenimientos serán realizados con una frecuencia de base a las horas de operación del grupo electrógeno y no a un intervalo de tiempo establecido.

➤ Subsistema Combustible tren de gas

Tabla No 10. Plan de mantenimiento subsistema combustible tren de gas

		PLAN DE MANTENIMIENTO GRUPO ELECTROGENO		
		SUBSISTEMA	COMBUSTIBLE TREN DE GAS	
ITEM	EQUIPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	TIPO MANTENIMIENTO
1	Filtro De Gas	Inspeccione y cambie el filtro de gas teniendo en cuenta las condiciones del gas	Cada 2000 Horas	Preventivo
2	Válvula de bola	Inspeccione que el accionador de pie y llave de ignición estén cerradas	Cada 500 horas	Preventivo
3	Válvula reguladora de presión	Inspeccione y realice mantenimiento a la válvula reguladora de presión teniendo en cuenta las condiciones del gas	Cada 2000 Horas	Preventivo
4	Válvula de sobre-presión	Inspeccione y realice mantenimiento válvula de sobre- presión	Cada 2000 Horas	Preventivo
5	Válvula controladora de gas	Inspeccione el funcionamiento y configure la válvula controladora de gas	Cada 10000 Horas	Preventivo
6	Mezcladores y Aceleradores	Calibre la mezcla aire/gas teniendo en cuenta las condiciones del gas	Cada 5000 Horas	Preventivo

➤ Subsistema de refrigeración

Tabla No 11. Plan de mantenimiento subsistema de refrigeración

		PLAN DE MANTENIMIENTO GRUPO ELECTROGENO		
		SUBSISTEMA	SISTEMA REFRIGERACIÓN	
ITEM	EQUIPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	TIPO MANTENIMIENTO
1	Bomba De Agua De Alta	Inspección de la presión de salida del refrigerante del motor hacia el radiador. Cambio de elemento bomba y rodamientos	Cada 6000 horas	Predictivo Análisis de vibraciones
2	Bomba De Agua De Baja	Inspección de la presión de entrada del refrigerante del radiador hacia el motor. Cambio de elemento bomba y rodamientos	Cada 6000 horas	Predictivo Análisis de vibraciones
3	Acoplamiento Hidráulico	Chequeo de regulación del refrigerante, si no cambie elemento térmico termostato	Cada 10000 horas	Preventivo
4	Radiador	Inspección y limpieza panel del radiador	Cada 1000 horas	Preventivo
5	Ventilador	Inspección de tensión de la correa de distribución y engrase a polea	Cada 1000 horas	Preventivo
6	Líquido Refrigerante	Estudio fisicoquímico propiedades del agua	Cada 4500 Horas	Predictivo Prueba fisicoquímica


➤ Subsistema de lubricación

Tabla No 12. Plan de mantenimiento subsistema de lubricación

		PLAN DE MANTENIMIENTO GRUPO ELECTROGENO		
		SUBSISTEMA	LUBRICACION	
ITEM	EQUIPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	TIPO MANTENIMIENTO
1	Carter (Deposito De Aceite)	Chequeos de fugas entre Carter y bloque del motor	Cada 10000 horas	Preventivo
2	Bomba de aceite	Inspección presión de circulación lubricación del motor	Cada 10000 horas	Predictivo Análisis de vibraciones
3	Motor de pre-lubricación	Chequeo presión necesaria para un arranque optimo	Cada 10000 horas	Predictivo Análisis de vibraciones
4	Filtros de aceite	Chequeo de presión del turbocompresor, enfriador de aceite, y filtros	Cada 1800 horas	Preventivo
5	Filtro centrifugo	Limpieza elemento centrifugo	Cada 500 horas	Preventivo
6	Enfriador de aceite	Inspección elemento enfriador Chequeo de mezcla agua y aceite	Cada 4500 horas	Cambio a condición
7	Filtros de desfogue	Limpieza elemento	Cada 500 horas	Preventivo
8	Aceite Lubricante Del Motor	Muestreo de aceite lubricante para verificar desgastes de componentes del motor y propiedades del mismo	Cada 500 horas	Predictivo Prueba fisicoquímica

➤ Subsistema de admisión y escape

Tabla No 13. Plan de mantenimiento subsistema de admisión y escape

		PLAN DE MANTENIMIENTO GRUPO ELECTROGENO		
		SUBSISTEMA	ADMISION Y ESCAPE	
ITEM	EQUIPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	TIPO MANTENIMIENTO
1	Filtros de aire	Inspección del elemento filtrante	Cada 3000 horas	Preventivo
2	Múltiple De Admisión	Chequeo de fugas ductería en la entrada de aire a los cilindros	Cada 10000 horas	Preventivo
3	Múltiple De Escape	Chequeo de fugas ductería en la salida de gases de escape	Cada 10000 horas	Preventivo
4	Turbocompresor	Inspección de velocidad normal del turbo, lubricación suficiente	Cada 10000 horas	Predictivo Análisis de vibraciones
5	Silenciador	Inspeccionar problemas de condensación	Cada 10000 horas	Preventivo
6	Intercooler	Limpieza y verificación de estado del elemento	Cada 7000 horas	Preventivo

➤ Subsistema de arranque

Tabla No 14. Plan de mantenimiento subsistema de arranque

		PLAN DE MANTENIMIENTO GRUPO ELECTROGENO		
		SUBSISTEMA	ARRANQUE	
ITEM	EQUIPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	TIPO MANTENIMIENTO
1	Baterías	Inspección del ácido de batería, bornes y cargador de baterías	Cada 2500 horas	Preventivo
2	Motor Arranque	Inspección de salida del bendiz al momento del engranaje con el volante del motor	Cada 500 horas	Preventivo
3	Relay	Inspección del campo magnético	Cada 10000 horas	Predictivo
4	Baterías	Medición de resistencia interna	Cada 10000 horas	Predictivo Prueba eléctrica verificación de resistencia interna

➤ Subsistema de ignición

Tabla No 15. Plan de mantenimiento subsistema de ignición

		PLAN DE MANTENIMIENTO GRUPO ELECTROGENO		
		SUBSISTEMA	IGNICION	
ITEM	EQUIPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	TIPO MANTENIMIENTO
1	Controlador De Ignición	Inspección e calibración del porcentaje del salto de chispa	Cada 10000 Horas	Preventivo
2	Bobinas	Medición de tensión en la entrada y salida de la bobina	Cada 3000 Horas	Preventivo
3	Bujías	Calibración del gap settings Limpieza de la bujía	Cada 1000 Horas	Preventivo
4	Cable Alta Tensión	Inspección del recubrimiento e aislamiento cerámico	Cada 3000 Horas	Preventivo
5	Sensor De Efecto Hall	Configuración de la señal de encendido	Cada 10000 Horas	Preventivo
6	Tester Electronic coil, spark plug, lead high	Chequeo y medición del subsistema de ignición	Cada 10000 Horas	Predictivo

➤ Subsistema generador y control

Tabla No 16. Plan de mantenimiento subsistema de generador y control

		PLAN DE MANTENIMIENTO GRUPO ELECTROGENO		
		SUBSISTEMA:	GENERADOR Y CONTROL	
ITEM	EQUIPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	TIPO MANTENIMIENTO
1	Cable de alta tensión	Verificación de aislamiento	Cada 10000 horas	Predictivo Prueba de aislamiento MEGGER
2	Generador	Verificación de aislamiento	Cada 10000 horas	Predictivo Prueba de aislamiento Prueba HIGH POT
3	Generador	Verificación de aislamiento	Cada 10000 horas	Predictivo Prueba TANGENTE DELTA
4	Generador	Prueba Alineación generador motor	Cada 10000 horas	Predictivo Análisis de vibraciones
5	Conexiones eléctricas generador	Verificación de puntos calientes	Cada 10000 horas	Predictivo Inspección termográfica
6	Interruptor	Prueba de apertura y cierre del disyuntor del motorizado	Cada 10000 horas	Preventivo
7	Módulo Intelligent	Configuración de settings	Cada 10000 horas	Preventivo
8	EGS (Sistema Electrónico Gas)	Prueba e configuración de protecciones análoga y binarias	Cada 10000 horas	Preventivo

➤ Subsistema conjunto móvil

Tabla No 17. Plan de mantenimiento subsistema de conjunto móvil

		PLAN DE MANTENIMIENTO GRUPO ELECTROGENO		
		SUBSISTEMA	CONJUNTO MOVIL	
ITEM	EQUIPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	TIPO MANTENIMIENTO
1	Conjunto móvil	Comprobación Del Cigüeñal Y Del Volante De Inercia	Cada 10000 horas	Preventivo
2	Bloque Cilindros	Prueba compresométrica	Cada 10000 horas	Preventivo
3	Bloque Cilindros	Prueba Endoscópica	Cada 10000 horas	Preventivo
4	Conjunto móvil	Chequeo de puntos calientes por fricción	Cada 10000 horas	Predictivo Inspección termográfica
5	Culatas	Prueba Hidrostática, alineación y superficie de la misma	Cada 10000 horas	Preventivo
6	Conjunto móvil	Prueba vibraciones	Cada 10000 horas	Predictivo Análisis de vibraciones

5.4 FASE DE REVISIÓN Y AJUSTES

Los planes de mantenimiento deben estar en una constante dinámica de evolución, pues las nuevas tendencias y técnicas de inspección que apoyan las actividades propias del mantenimiento están en continuo cambio., así mismo el desarrollo de la vida útil de los equipos y sus componentes van marcando las pautas para la identificación de nuevos modos y efectos de fallo.

El personal involucrado en el desarrollo de la operación y el mantenimiento centrado en confiabilidad debe poseer un espíritu investigador pues sobre ellos recae la responsabilidad que los programas se ajusten a la realidad.

6. CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DEL CENTRO DE GENERACIÓN

6.1 DEFINICIÓN DE DISPONIBILIDAD

Es el tiempo total durante el cual el equipo está operando satisfactoriamente, más el tiempo que estando en receso, puede trabajar sin contratiempos durante un periodo.

Tiempo de operación programado: Es el tiempo que e equipo debe estar en operación. No incluye el tiempo de las paradas programadas para mantenimiento programado.

Tiempo de paradas: Son todos los tiempos muertos no programados. Algunos son imputable al mantenimiento y otros a producción.

Tabla No 18. Disponibilidad centro de generación

	AÑO 2011								
	Ene	feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Horas mes	744	672	744	720	744	720	744	744	720
Tiempo esperado a trabajar	729	636	701	648	708	684	708	696	679
Tiempo por Mtto Preventivo	15	36	43	72	36	36	36	48	41
Tiempo por Mtto Correctivo	4	8	12	8	0	6	18	12	12
Paradas por Petronorte	420	0	4	24	630	0	0	12	24
Paradas por fallas del sistema	24	0	12	6	32	20	12	24	8
Disponibilidad Generador	99,45%	98,74%	98,29%	98,77%	100,00%	99,12%	97,46%	98,28%	98,23%
Disponibilidad del Campo	38,55%	98,74%	96,01%	94,14%	6,50%	96,20%	95,76%	93,10%	93,52%

7. CONCLUSIONES

- El éxito de un plan de gestión para el mantenimiento centrado en confiabilidad, radicar en el análisis documentado de los modos y efectos de fallo, pues al interrelacionarlos con los diagramas de decisión del RCM, nos ofrece una base sólida para iniciar la formulación de un plan de mantenimiento.
- El análisis de modos de efectos de fallo le permite al personal de operación, producción y de mantenimiento unificar criterios con respecto al significado de las fallas de cada equipo.
- El análisis de criticidad debe ser liderado por una persona experta y conocedora del proceso, pues una mala jerarquización de los equipos críticos seguramente desembocaría en inversiones de mantenimiento con poco resultados visibles.
- El personal encomendado para la formulación de estrategias en los planes de mantenimiento, debe poseer habilidades de sensibilización e interacción con su grupo de trabajo, pues el éxito de la misma es un consenso de ideas grupales tanto teóricas como empíricas.
- Al realizar el análisis de criticidad se corrobora que en nuestro caso el grupo electrógeno es el equipo más crítico en la operación del centro de generación, y así mismo es este donde se debe enfocar el mayor esfuerzo del departamento de mantenimiento para cumplir con los compromisos contractuales de disponibilidad eléctrica establecidos con Petróleos del Norte.
- La metodología de mantenimiento por RCM II brinda al usuario los pasos para analizar y decidir sobre cómo actuar en cada falla, en nuestro caso particular se definió solo un equipo crítico y se analizó hasta el nivel tres sus modos de efectos de fallo.
- Ningún plan de mantenimiento debe permanecer estático, debe incluir nuevas técnicas administrativas que actualicen su funcionamiento.
- Las técnicas de mantenimiento predictivo son un herramienta confiable para determinar el intervalo real entre fallas para una falla determinada, pues los equipos utilizados normalmente para este tipo de análisis son de alta tecnología y su resultados son confiables.

- El costo de las técnicas de mantenimiento predictivo es mayor que el costo de la técnica de mantenimiento preventivo, pero el beneficio obtenido por las mismas normalmente las hacen viables al incluirlas en un presupuesto anual de mantenimiento.
- La información suministrada por equipos para técnicas de mantenimiento predictivo debe ser analizada por un experto en la materia para no llegar a inferir en posibles errores al analizar la información.
- Las actividades del plan de mantenimiento para el equipo más crítico se definieron en cada uno de los subsistemas estudiados.
- La frecuencia de intervención para grupos electrógenos no es determinada en un escala de tiempo calendario, si no por horas de operación del equipo pues la misma es directamente proporcional al desgaste de la máquina.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda al personal de operación y mantenimiento de Copower Ltda. Programar los mantenimientos preventivos de tal forma que se puedan disminuir el tiempo de ellos.
- En referencia de adecuaciones eléctricas y de control del centro de generación se recomienda retirar la ECU del chasis del motor, con fin de poder evitar las vibraciones sobre la misma y daños a futuro.
- Se recomienda al personal de operación y mantenimiento sustituir los conectores de baja tensión de la bobinas del sistema de ignición por conectores de seguridad con fin de evitar desajuste de los mismo por vibración generada del equipo.
- Se recomienda proteger el controlador del sistema de ignición MIC 500 instalando una caja con protección IP65 por la intemperie.
- Se recomienda instalar unas chaquetas de aislamiento térmico sobre el múltiple de escape con el fin de evitar el deterioro por temperatura de los cables de alta del sistema de ignición.
- Se recomienda un análisis físico-química del líquido refrigerante del sistema con un intervalo de periodicidad de seis meses para verificar las propiedades.
- Se recomienda hacer cambio por sustitución cíclica de todos los tornillos de ajuste de las válvulas de admisión y la de escape cada 3000 horas para evitar posibles daños mayores.
- Se recomienda incluir técnicas de mantenimiento predictivo como termografía y análisis de vibraciones al cronograma de mantenimiento anual.

BIBLIOGRAFIA

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Segunda edición, Carolina, Aladon LLC, 2004, 433 p.

PAURO, Ricardo. Mantenimiento centrado en confiabilidad: ¿Qué esperamos? Disponible en Internet: www.capacitacionempresarial.la

PEREZ JARAMILLO, Carlos Mario. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM aplicación e impacto. Primer congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento

2003. Disponible en Internet: www.soporteycia.com.co

----- RCM Casos de éxito y sus factores claves. Reliability world Latin America

2005. Disponible en Internet: www.noria.com/sp/rw2005/memorias

RCM Mantenimiento centrado en confiabilidad. 2005. Disponible en Internet:

www.rcm-confiabilidad.com.ar

REPSOL YPF, Staff técnico ABB, Estudio de criticidad de equipos, Julio de 2005

TAREK AKMED, Paul D. McKINNEY. Advanced Reservoir Engineering. Editorial Elsevier.

ORREGO BARRERA, Juan Carlos. Gestión de activos confiables basados en

RCM. Disponible en Internet: www.mantonline-rcm.com

CHOURIO, J.; FLORES, M.; AGUIAR, H.; HUERTA, R.; LÓPEZ, J.; NARVÁEZ,

E.; SARNO, E.; PAVÓN, J.; y TOVAR, C, Introducción a la Confiabilidad Operacional. Curso dictado en el Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), filial de PDVSA, Caracas. Venezuela, 2000

ANEXOS

ANEXO A. Hojas de información RCM

HOJA DE TRABAJO RCM						
Sistema: Grupo electrogeno a gas de 500KW			Equipo de trabajo: Departamento de O&M		Fecha de realización: Mar 3 de 2011	
Subsistema: Sistema Generador de 500KW			Abrobado por: Alexander Pinzon Avila		Fecha de aprobación Abril 5 de 2011	
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
1	Atravez de un movimiento mecánico de 1200RPM Generar energía electrica trifasica con salida de tensión nominal constante de 440VAC a frecuencia de 60 HZ	1A	Incapaz de generar trifasicamente 440VAC en los bomes de salida del Generador	1A1	Falla de aislamiento entre dos fases devanado estator	Corrientes grandes que pueden producir daño en el bobinado
				1A2	Falla entre fase y tierra devanado estator	Si el devanado falla a tierra, el voltaje del neutro, normalmente bajo podría aumentar, línea-neutro dependiendo de la localización de la falla.
				1A3	Falla entre espiras devanado estator	La corriente de falla puede ser muy grande
				1A4	Falla a tierra devanado del rotor	El devanado de campo del generador está eléctricamente aislado de tierra. Por lo tanto, la existencia de una falla a tierra en el devanado no dañará el rotor. Sin embargo la presencia de dos o más puntos a tierra en el devanado causará desbalances magnéticos y efectos térmicos que pueden dañar el devanado, el material magnético y otras partes metálicas del rotor.
				1A5	Perdida de excitación	Cuando se presenta una pérdida de excitación la máquina comienza a absorber reactivos del sistema y se inducen corrientes de baja frecuencia (deslizamiento) en el rotor, las cuales causan sobrecalentamiento en el rotor.
				1A6	Motorización	El generador opera como un motor sincronico
				1A7	Cargas desbalanceadas	Las corrientes de fase y voltajes terminales varían de la relación ideal balanceada, y aparecen, por tanto una corriente de secuencia negativa en el devanado de armadura crea una onda de flujo magnético en el entrehierro, la cual gira en oposición al rotor
				1A8	Sobrecarga balanceada	Causa sobrecalentamiento en los bobinados del estator.
				1A9	Sobrevelocidad	Aumento inicial de velocidad en caso de pérdida súbita de la carga
		1B	La frecuencia de salida esta fuera del rango de ± 2 a 60Hz	1B1	La velocidad de equipo es diferente de 1200 RPM	Disminución de la velocidad de rotación del Alternador
1B2	Baja frecuencia			Se dispara el generador por la protección V/Hz		

HOJA DE TRABAJO RCM

Sistema: Grupo electrogeno a gas de 500KW			Equipo de trabajo: Departamento de O&M			Fecha de realización: Mar 3 de 2011
Subsistema: Sistema Admision y Escape			Abrobado por: Alexander Pinzon Avila			Fecha de aprobación Abril 5 de 2011
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
2	Es suministrar grandes cantidades de aire limpio al motor, por medio de un filtro el cual tiene como funcion retener impurezas y abrasivos como polvo y no produzcan daños prematuros en anillos, pistones y paredes del cilindro.	2A	Falta de presion de aire de entrada al multiple de admision	2A1	Filtro Aire Restrigido	Humos negros en el escape, apreciando perdida de potencia en el motor.
				2A2	Fugas en conexiones del multiple de admision	Baja velocidad del turbo, perdida de potencia y gases de escape limpios.
				2A3	Rodete de turbina averiada (Turbocompresor)	Acumulacion de impurezas en el rodete y lubricacion deficiente.
Subsistema: Sistema Escape			Abrobado por:			
3	Su funcion es evacuar gases quemados en el ciclo de combustion	3A	Baja velocidad por obstrucion en el filtro de aire	3A1	Admison de aire restringida	Fugas conexiones del colector de admision.
				3A2	Contra presion excesiva en la salida de gases del turbo	Suciedad o abolladuras en los conductos de escape
				3A3	Impurezas o carbonilla que obstaculizan el giro.	Ruidos en el turbocompresor
				3A4	Vibraciones excesivas	Alabes de trubina o rodete deteriorados

HOJA DE TRABAJO RCM

Sistema: Grupo electrogeno a gas de 500KW			Equipo de trabajo: Departamento de O&M			Fecha de realización: Mar 3 de 2011
Subsistema: Sistema Arranque e Ignicion			Abrobado por: Alexander Pinzon Avila			Fecha de aprobación Abril 5 de 2011
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
4	Su funcion principal es dar manivela al cigüeñal del motor para conseguir su primer ciclo de fuerza e inicie su funcionamiento	4A	El motor de arranque no llega a su velocidad nominal o no gira	4A1	Bajo voltaje	Bateria descargada. Nivel de agua bajo
				4A2	Ground insuficiente	Falta de torque en la conexiones en terminales
				4A3	No gira el vendiz "piñon"	Desgaste de la pieza e falta de mantenimiento
				4A4	Relay no suministra la corriente necesaria para un arranque	Averia, mal contanto, o alta temperatura en pieza.
Subsistema: Sistema Ignicion			Abrobado por:			
5	Consiste en generar la energia que hace saltar la chispa en las bujias para unos de los ciclos del motor	5A	Baja tension de entrada	5A1	Baja tension de entrada a la bobina	Bajo voltaje a causa bateria descargada
				5B1	Aislamiento del cable	defectuoso por fallo del recubrimiento ceramico
		5B	Cable de alta tension	5B2	Mal contacto	Conexiones con insuficiente torque
				5C1	Falta de Calibracion "GAP" Bujias	Sobrepasa el limimte de distancia entre centro y las puntas
		5C	No se genera salto de chispa	5C2	Trabajo excesivo	Ciclo de la buja cumplido,el cual causa perdida de chispa en un cilindro
				5D1	Un Leds	0 rpm, no hay señal del sensor pickup "efecto hall"
		5D	Bujias no opera, falta ignicion en el motor	5D2	Dos Leds	Señal de arranque defectuosa,
				5D3	Tres Leds	Velocidad del motor demasiado baja
5D4	Cuatro Leds			Sobrevelocidad en el motor		
5D5	Cinco Leds			Baja tension de Alimentacion, bateria descargada		
5D6	Seis Leds	Programar settings del controlador por falla del sensor pickup "Efecto Hall"				

HOJA DE TRABAJO RCM

Sistema: Grupo electrogeno a gas de 500KW			Equipo de trabajo: Departamento de O&M			Fecha de realización: Mar 3 de 2011
Subsistema: Sistema Combustibles Tren De Gas			Abrobado por: Alexander Pinzon Avila			Fecha de aprobación Abril 5 de 2011
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
6	Su finalidad es suministrar el combustible "GAS" necesario en forma sincronizada y a una presión determinada entre 25 y 30 psi para el funcionamiento del grupo electrogeno.	6A	Perdida de suministro combustible	6A1	Filtro separador de condensados obstruidos	Presencia de GLP (Gas Licuado Del Petroleo) e impurezas registradas
				6A2	Solenoide	Embolo de solenoide no permite la apertura
		6B	Rango de presión fuera de lo establecido	6B1	Valvula Reguladora De Presion	Elemento diafragma e resorte pegado
		6C	Rango de presión por encima 30 psi	6C1	Valvula sobrepresion	Elemento diafragma e resorte pegado
		6D	El flujo del gas no es regulado en presencia de la carga	6D1	Mal estado o falta de calibración valvula controladora de gas	Valvula controladora de gas no opera, por consiguiente el generador falla en presencia de carga
		6E	La presión de gas Aceleradores Y Mezcladores no es la adecuada	6E1	Aceleradores y Mezcladores defectuoso o mal calibrados	Cascabeleos en el motor, diferencia de temperatura de cilindros entre bancos del motor

HOJA DE TRABAJO RCM

Sistema: Grupo electrogeno a gas de 500KW			Equipo de trabajo: Departamento de O&M			Fecha de realización: Mar 3 de 2011
Subsistema: Sistema Refrigeracion			Abrobado por: Alexander Pinzon Avila			Fecha de aprobación Abril 5 de 2011
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
7	Su función es la de mantener un temperatura que proporcione el máximo rendimiento del motor (aproximadamente 85°C). A través de la circulación de un líquido refrigerante	7A	Alta temperatura en el sistema refrigeración	7A1	Radiador	Panel del radiador obstruido por impurezas
				7A2	Sensor termico averiado	Termostato no regula la temperatura del motor
				7A3	Falta lubricación Ventilador	Baja velocidad del ventilador y ruido al girar
				7A4	Correa destensionada o averiada	Ventilador no gira
				7A5	Bajo nivel refrigerante	Perdida de líquido refrigerante por fugas en acople o radiador
		7B	Baja presión de entrada y salida del líquido refrigerante motor	7B1	Bomba de agua de baja y Bomba de agua de alta no gira	-Bajo nivel de líquido refrigerante -Fugas -Conjunto de empaque rotos
		7C	Alta temperatura en el sistema refrigeración	7C1	El sistema de refrigeración se encuentra airado	-Bajo nivel de líquido refrigerante -Fugas -Cavitación, oxidación y erosión en las camisas -Tuberías del sistema taponadas
		7D	Alta temperatura en el sistema refrigeración	7D1	El intercambiador de calor no transfiere calor de un fluido a otro	-Elemento enfriador taponado -impurezas en líquido refrigerante

HOJA DE TRABAJO RCM						
Sistema: Grupo electrogeno a gas de 500KW			Equipo de trabajo: Departamento de O&M		Fecha de realización: Mar 3 de 2011	
Subsistema: Sistema Lubricacion			Abrobado por: Alexander Pinzon Avila		Fecha de aprobación Abril 5 de 2011	
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
8	Su funcion es reducir el desgaste, facilitar el movimiento relativo de las piezas del motor, refrigerar en parte estas piezas y mantener una presion de engrase maxima	8A	Alta temperatura	8A1	Bajo nivel de aceite	No hay suficiente lubricacion y refrigeracion por parte del aceite ocasionando un roce continuo entre piezas.
				8A2	Falta lubricacion	Bajo nivel de aceite lubricante
				8A3	mezcla de los dos liquidos del motor Agua/Aceite	Elemento grupo del enfriador del aceite averiado
		8B	Diferencia de presion en el sistema	8B1	Falta lubricacion para un encendido optimo	Filtros de aceite tapados e impurezas en el aceite lubricante
		8C	Fallo funcion del aceite del aceite lubricante	8C1	Perdida de propiedades del aceite lubricante ,contaminacion, degradacion quimica y degradacion fisica.	-Sobre uso de aceite lubricante -Formacion de barnices -Depositos en el carter -Depositos de combustion causa empaques de culata quemados -Ciclo cumplido de los filtros de aceite
8D	Perdida de aceite	8D1	El motor esta consumiendo aceite	Sello guias de valvulas desgatados		

HOJA DE TRABAJO RCM						
Sistema: Grupo electrogeno a gas de 500KW			Equipo de trabajo: Departamento de O&M		Fecha de realización: Mar 3 de 2011	
Subsistema: Sistema Proteccion y Control			Abrobado por: Alexander Pinzon Avila		Fecha de aprobación Abril 5 de 2011	
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
9	Su funcion principal es sensor todas la variables electronicas de sensores de presion.temperatura y velocidad para tomar decisiones sobre funcionamiento del grupo electrogeno	9A	Incapaz de sensar la variables de velocidad o fuera de rango	9A1	No existe lectura velocidad	-El EGS no presenta control sobre la velocidad grupo electrogeno -El valor de rpm esta fuera del rango aceptado o es nulo
				9A2	Correccion de velocidad	Desplazamiento del actuador lento
				9A3	Actuador de velocidad responde lentamente	No hay señal del sensor de impulsos (rpm)
				9A4	No sensa Lectura erroneas	-No hay comunicaion entre EGS y el modulo de control -Sensor De preion De aceite -Sensor de Temperatura de Agua -Sensor Temperatura Aceite -Sensor Temperatura De Cilindros

HOJA DE TRABAJO RCM						
Sistema: Grupo electrogeno a gas de 500KW			Equipo de trabajo: Departamento de O&M		Fecha de realización: Mar 3 de 2011	
Subsistema: Sistema, Conjunto movil			Abrobado por: Alexander Pinzon Avila		Fecha de aprobación Abril 5 de 2011	
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
10	Es el encargado de transformar la energía calorífica en mecánica	10A	El motor intenta girar	10A1	Cilindro Rayado	-Anillo partidos -Falta De Aceite -Desajuste prisiones o chaveta del piston -Fundicion o pegaduras del piston al cilindro por recalentamiento -Bulon suelto
		10B	El motor pierde potencia y se recalienta	10B1	Falta de compresion en el motor	-Fugas en la culata -Junta de sello entre el bloque y la culata quemada -Anillo desgastado -Piston o cilindro desgastados
		10C	Alta temperatura en el motor	10C1	Sobrecaliento en partes internas del motor	-Aceleracion brusca en frio -Piston poroso -Bulon o pasador suelto
		10D	El motor no genera energía mecánica porque presenta cargas excesivas en cilindros	10D1	El cigüeñal torcido	-Roturas en la cabeza de valvulas -Enfriamiento deficiente de las camisas -Flojeada en ajuste del piston
		10E	El motor no llega a su velocidad nominal	10E1	Suministro de combustible deficiente	-Filtro separadores de condensados tapados a causa de las condiciones del gas -Baja presión de gas
		10F	Temperaturas fuera del rango	10F1	Mezcla pobre Aire/Gas	-Las condiciones del gas no son las mas adecuadas -Calibracion del aceleradoes
		10G	Ruido en el motor	10G1	Calibracion de valvulas	-Ruido de taques,partidura de balancines. varilla de empuje, y tornillo de ajuste. -Perdida de potencia
		10H	Vibraciones	10H1	Desalineacion y Desnivel en en el acople Volante y generador.	-Ruido -Desgate de piezas en movimiento

ANEXO B. Hojas de decisiones RCM

HOJA DE TRABAJO RCM

Equipo										Grupo Electrogenero 500KW										Equipo de trabajo:		Fecha de realización	
Componente										Sub-generador										Abrobado por:		Fecha de aprobación	
Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas		Frec. Inicial		A realizar por...					
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4							H5	S4		
1	A	1	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Tareas a condicion revision del bobinado del generador, pruebas de aislamiento	Cada 12 meses	Departamento De Ingenieria Electrica				
1	A	2	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Tareas a condicion revision del sistema excitación	A condicion	Departamento De Ingenieria Electrica				
1	A	3	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condicion revision de la conexiones del generador	A condicion	Departamento De Ingenieria Electrica				
1	A	4	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condicion	A condicion	Departamento De Ingenieria Electrica				
1	A	5	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condicion revision de las protecciones del equipo	A condicion	Departamento De Ingenieria Electrica				
1	A	6	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condicion revision del sensor de rpm y el actuador	A condicion	Departamento De Ingenieria Electrica				
1	A	7	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condicion revision del sensor de rpm y el actuador	A condicion	Departamento De Ingenieria Electrica				
1	A	8	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condicion revision de protecciones del generador	A condicion	Departamento De Ingenieria Electrica				
1	A	9	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condicion revision de protecciones del generador	A condicion	Departamento De Ingenieria Electrica				
1	B	1	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condicion revision de protecciones del generador	A condicion	Departamento De Ingenieria Electrica				
1	B	2	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condicion revision de protecciones del generador	A condicion	Departamento De Ingenieria Electrica				

HOJA DE TRABAJO RCM

Equipo										Grupo Electrogenero 500KW										Equipo de trabajo:		Fecha de realización	
Componente										Sub-sistema admision y escape										Abrobado por:		Fecha de aprobación	
Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas		Frec. Inicial		A realizar por...					
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4							H5	S4		
2	A	1	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeccion de indicador de presion del filtro de aire	Cada 168	Operador De Generacion Y Mecanico				
2	A	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea de reacondicionamiento ciclico Inspeccion de conexiones del multiple admision	Cada 9000	Operador De Generacion Y Mecanico				
2	A	2	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Tareas de reacondicionamiento ciclico Inspeccion de fugas lubricacion al turbo de la parte compresora de aire	Cada 4500	Tecnico mecanico				
2	A	3	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea de reacondicionamiento ciclico Inspeccion de multiple de admision y escape	Cada 9000	Tecnico mecanico				
3	A	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea de reacondicionamiento ciclico Inspeccion que no se encuentre materiales de obstruccion	Cada 500 Horas	Operador De Generacion Y Mecanico				
3	A	2	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea de reacondicionamiento ciclico Inspeccion que el turbo tenga su velocidad nominal y no genere ruido	Cada 500 Horas	Operador De Generacion Y Mecanico				
3	A	3	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea de reacondicionamiento ciclico Inspeccion que el turbo no presente fugas de lubricacion y torquiado	Cada 500 Horas	Operador De Generacion Y Mecanico				

HOJA DE TRABAJO RCM

Equipo										Grupo Electrogenero 500KW		Equipo de trabajo:				Fecha de realización		05-may-11			
Componente										Sub-sistema Arranque e Ignicion				Abroado por: Alexander Pinzon Avila				Fecha de aprobación		08-may-11	
Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frec. Inicial	A realizar por...					
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4				H5	S4			
2	A	1	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N				N	N	Inspeccion de indicador de presion del filtro de aire	Cada 5,5 meses	Operador De Generacion Y Mecanico
4	A	1	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccion del acido de bateria, bornes y cargador de baterias	cada 2000 horas	Operador De Generacion			
4	A	2	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccion del cable de conexión a tierra	Cada 2000 Horas	Tecnico mecanico			
4	A	3	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condición Inspeccion de dientes del vendiz actue	A condición	Tecnico mecanico			
4	A	4	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condición Inspeccion cable positivo y negativo actue	A condición	Tecnico mecanico			
5	A	1	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccion del acido de bateria, bornes y cargador de baterias	Cada 2000 Horas	Tecnico mecanico			
5	B	1	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccion del cable de alta tension	Cada 500 Horas	Tecnico mecanico			
5	B	2	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccion de la bujia	Cada 500 Horas	Tecnico mecanico			
5	C	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condicion cambio de bobina	A condición	Tecnico eletrico			
5	C	2	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condicion cambio de bobina. Cable o bujia	A condición	Tecnico eletrico			
5	D	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Tarea condición Inspeccione el controlador de ignicion	Cada 1440 Horas	Tecnico eletrico			
5	D	2	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N		Cada 1440 Horas	Tecnico eletrico			
5	D	3	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N		Cada 1440 Horas	Tecnico eletrico			
5	D	4	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N		Cada 1440 Horas	Tecnico eletrico			
5	D	5	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N		Cada 1440 Horas	Tecnico eletrico			
5	D	6	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N		Cada 1440 Horas	Tecnico eletrico			

HOJA DE TRABAJO RCM

Equipo										Grupo Electrogenero 500KW		Equipo de trabajo:				Fecha de realización		05-may-11			
Componente										Sub-sistema Combustible Tren De Gas				Abroado por: Alexander Pinzon Avila				Fecha de aprobación		08-may-11	
Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frec. Inicial	A realizar por...					
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4				H5	S4			
2	A	1	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N				N	N	Inspeccion de indicador de presion del filtro de aire	Cada 5,5 meses	Operador De Generacion Y Mecanico
6	A	1	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Tarea de reacondicionamiento ciclico Inspeccione y cambiel filtro de gas tenniendo en cuenta las condiciones del gas	Cada 2500 Horas	Operador De Generacion y Tecnico Mecanico			
6	A	2	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condición Inspeccione que el accionador de pie y llave de ignicion esten cerradas	A condición	Operador De Generacion y Tecnico Mecanico			
6	B	1	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccione y realice mantenimiento valvula reguladora de presion	Cada 500 Horas	Operador De Generacion y Tecnico Mecanico			
6	C	1	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccione y realice mantenimiento valvula reguladora de sobre- presion	Cada 500 Horas	Operador De Generacion y Tecnico Mecanico			
6	D	1	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccione el funcionamiento y configure la valvual contorladora de gas	Cada 2000 Horas	Operador De Generacion y Tecnico Mecanico			
6	E	1	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccione el funcionamiento y configure la valvual contorladora de gasCalibre la mezcla aire/gas teniendo en cuenta las condiciones del gas	Cada 2000 Horas	Operador De Generacion y Tecnico Mecanico			

HOJA DE TRABAJO RCM

Equipo											Grupo Electrogenerador 500KW			Equipo de trabajo:			Fecha de realización										
Componente											Sub-sistema Refrigeración			Abrobado por: Alexander Pinzon Avila			Fecha de aprobación										
Ref. Información			Evaluación Consecuencias			Decisión			Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas			Frec. Inicial			A realizar por...									
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	S1	S2	S3	O1	O2	O3	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
2	A	1	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	Inspeccion de indicador de presion del filtro de aire			Cada 5,5 meses	Operador De Generacion Y Mecanico		
7	A	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccione comportamiento del radiador y Realice limpieza al panel del radiador			Cada 500 Horas	Operador De Generacion y Tecnico Mecanico		
7	A	2	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Tarea a condición Sustituya elemento termico por falta de regulacion de temperatura			A condición	Operador De Generacion y Tecnico Mecanico		
7	A	3	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspecione la polea de distribucion del ventilador (nivel engrase)			Cada 4000 Horas	Operador De Generacion y Tecnico Mecanico		
7	A	4	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico revisión de conexiones			Cada 5000 Horas	Tecnico Mecanico		
7	A	5	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccione liquido refrigerante (agregue o nivele)			Cada 500 Horas	Operador De Generacion y Tecnico Mecanico		
7	B	1	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccione funcionamiento, cambio bomba de agua, liquido refrigerante y empaquetadura			A condición	Tecnico Mecanico		
7	C	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Reacondicionamiento ciclico Inspeccione liquido refrigerante (nivele y desaire el sistema de refrigeracion)			Cada 500 Horas	Operador De Generacion y Tecnico Mecanico		
7	D	1	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	A condicion Mantenimiento elemento enfriador (intercambiador)			A condición	Tecnico Mecanico		

HOJA DE TRABAJO RCM

Equipo											Grupo Electrogenerador 500KW			Equipo de trabajo:			Fecha de realización										
Componente											Sub-sistema Lubricación			Abrobado por: Alexander Pinzon Avila			Fecha de aprobación										
Ref. Información			Evaluación Consecuencias			Decisión			Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas			Frec. Inicial			A realizar por...									
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	S1	S2	S3	O1	O2	O3	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
2	A	1	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	Inspeccion de indicador de presion del filtro de aire			Cada 5,5 meses	Operador De Generacion Y Mecanico		
8	A	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	reacondicionamiento ciclico Inspeccione nivel de aceite lubricante (nivele)			Cada 24 Horas	Operador De Generacion		
8	A	2	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	reacondicionamiento ciclico Inspeccione nivel de aceite lubricante (nivele)			Cada 24 Horas	Operador De Generacion		
8	A	3	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	a condición Inspeccione nivel de aceite lubricante (nivele) Y el motor de pre-			A condición	Operador De Generacion y Tecnico Mecanico		
8	B	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Sustitución ciclica Inspeccion y realice cambio de aceite lubricante y filtro de aceite			Cada 2000 Horas	Tecnico Mecanico		
8	C	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Sustitución ciclica Cambio de aceite lubricante del motor			Cada 2000 Horas	Tecnico Mecanico		
8	D	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Sustitución ciclica Realice mantenimiento del enfriador de aceite o sustituyalo			Cada 9000 Horas	Tecnico Mecanico		

HOJA DE TRABAJO RCM

Equipo											Grupo Electrogenerador 500KW			Equipo de trabajo:			Fecha de realización										
Componente											Sub-sistema protección y control			Abrobado por: Alexander Pinzon Avila			Fecha de aprobación										
Ref. Información			Evaluación Consecuencias			Decisión			Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas			Frec. Inicial			A realizar por...									
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	S1	S2	S3	O1	O2	O3	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
2	A	1	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	Inspeccion de indicador de presion del filtro de aire			Cada 5,5 meses	Operador De Generacion Y Mecanico		
9	A	1	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	A condición cambio de componente electrónico averiado			A condición	Tecnico Electrico		
9	A	2	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	A condición cambio de componente electrónico averiado			A condición	Tecnico Electrico		
9	A	3	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	A condición cambio de componente electrónico averiado			A condición	Tecnico Electrico		
9	A	4	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	A condición cambio de componente electrónico averiado			A condición	Tecnico Electrico		

HOJA DE TRABAJO RCM

Equipo		Grupo Electrogenerador 500KW										Equipo de trabajo:		Fecha de realización		05-may-11	
Componente		Sub-sistema conjunto móvil										Aprobado por:		Fecha de aprobación		08-may-11	
Ref. Información		Evaluación Consecuencias					Decisión			Tareas "a falta de"		Tareas Propuestas		Frec. Inicial	A realizar por...		
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	H4	H5	S4					
10	A	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	reacondicionamiento ciclico Inspeccion y prueba buroscopica a todos los cilindros	10000 Horas	Tecnico Mecanico		
10	B	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	reacondicionamiento ciclico Inspeccion y prueba compresometrica, prueba hidrostatica	10000 Horas	Tecnico Mecanico		
10	C	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	reacondicionamiento ciclico Inspeccione y revise los sistema de refrigeracion y lubricaci	10000 Horas	Tecnico Mecanico		
10	D	1	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	A condición Inspeccion y prueba al sensor de posicion del cigüeñal, torsion y medida	A condición	Tecnico Mecanico		
10	E	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	reacondicionamiento ciclico Inspeccione el sistema de alimentacion al combustible del	Cada 500 Horas	Tecnico Mecanico		
10	F	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	reacondicionamiento ciclico Inspeccione las condiciones del gas y calibre la mezcla	Cada 500 Horas	Tecnico Mecanico		
10	G	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	reacondicionamiento ciclico Inspeccione el ruido de taques y calibre el motor	Cada 500 Horas	Tecnico Mecanico		
10	H	1	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	reacondicionamiento ciclico Inspeccion en damper del motor, alineacion y anclajes	Cada 10000 Horas	Tecnico Mecanico		

ANEXO C. Hoja de Vida Equipo Crítico RCM

	HOJA DE VIDA DE EQUIPO		CODIGO: PR-GE10-F01 VERSION: 01 FECHA: 27/08/2010
	EQUIPO: GEN-SET 12V MARCA: JICHAJ MODELO: 12V190ZDTL1	PESO: 14,5 toneladas	
CONSUMIBLES			
Filtro de combustible Gas	Indufilter		
Filtro de aceite motor	12V.18.10.B		
Aceite del motor	Mobil Pegasus 805		
Filtro de aire motor	Partmo		
Líquido refrigerante	Nalco 7634		
CARACTERISTICAS			
Generador		Siemens	
Potencia del motor		500 KW	
Voltaje		440 Vac	
Amperios		820 A	
Kilo voltio amperio		625 Kva	
Frecuencia		60 Hz	
Factor de potencia		0,8	
Rpm		1200	
Combustible		Gas	
Cantidad de combustible		0,33 KW/H	
cantidad de aceite motor		45 Gls	
cantidad de líquido refrigerante		500 litros	
Sistema ignición		Motortech	
Sistema de control		Woodward	
Módulo de operación Control		Comap Intelligent NT	