

**ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA
LOCAL CON MOTORES A GAS PARA CAMPOS PETROLEROS**

**CAMILO ERNESTO GALLEGO GUTIÉRREZ
OMAR ALEXIS PANTANO DÍAZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2008**

**ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA
LOCAL CON MOTORES A GAS PARA CAMPOS PETROLEROS**

**CAMILO ERNESTO GALLEGO GUTIÉRREZ
OMAR ALEXIS PANTANO DÍAZ**

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

**Director: MAGDIEL FALLA DELGADO
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2008**

Agradecimientos

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos:

A Dios, por darnos la fortaleza y entereza para sacar este proyecto adelante.

A nuestras familias por incentivarnos a mejorar cada día, como personas y como profesionales.

A la Universidad Industrial de Santander (U.I.S.) por permitirnos compartir y aprender de las experiencias de cada uno de los maestros y compañeros de especialización.

A Petrobrás Colombia Limited, en cabeza del Ing. Mauricio Morales Supervisor de Mantenimiento, por acceder a que los conocimientos adquiridos en este proceso hayan sido expuestos para mejorar la gestión de mantenimiento en el campo.

DEDICATORIA

A mi querida esposa, quien con sus consejos, amor y paciencia por robarle valioso tiempo a nuestra relación, me motivó a culminar con éxito este proceso.

Camilo Ernesto Gallego

DEDICATORIA

Este trabajo fue realizado con el apoyo de mi compañera de vida que en el transcurso de todo el proceso de la especialización me acompañó incondicionalmente durante estos años.

A mis padres que han sido mi apoyo y fuente de energía para superación y progreso profesional

Omar A.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO CONTEXTUAL	2
1.1 LA EMPRESA	2
1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS	3
1.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	4
1.4 PROCESO PRODUCTIVO	5
1.5 SISTEMAS DE GENERACIÓN	7
1.6 DIAGNÓSTICO	7
1.6.1 Fallas comunes en el sistema de generación	7
1.6.2 Pérdidas generadas	9
1.7 OBJETIVOS	10
1.7.1 Objetivo general	10
1.7.2 Objetivos específicos	10
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1 PLANEACION ESTRATÉGICA	11
2.1.1 Misión	11
2.1.2 Visión	11
2.1.3 Objetivos Estratégicos	11
2.2 NIVELES DE MANTENIMIENTO	12
2.3 MODELOS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	14
2.3.1 Mantenimiento correctivo CVO	15
2.3.2 Mantenimiento preventivo PVO	15
2.3.3 Mantenimiento predictivo PDM	16
2.3.4 Mantenimiento basado en condición CBM	17
2.3.5 Mantenimiento proactivo PRO	17
2.4 TÉCNICAS DE APOYO	18
2.4.1 Análisis de causa raíz RCA	18
2.4.2 Análisis de modos y efectos de falla FMEA	23
2.4.3 Optimización de mantenimiento preventivo PMO	24
3. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA	28
3.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	28
3.1.1 Área mecánica	29
3.1.2 Área eléctrica	29
3.1.3 Área de instrumentación y control	29
3.2 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN	29
3.2.1 Ingreso información sistema mantenimiento CMMS	29
3.2.2 Creación equipo sistema de mantenimiento CMMS	30
3.3 PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES	34
3.3.1 Niveles de mantenimiento	34

3.3.2	Modelos de gestión	35
3.3.3	Programa de mantenimiento preventivo	36
3.3.4	Creación del plan de mantenimiento	36
3.3.5	Programación del plan de mantenimiento	39
3.3.6	Rutinas de monitoreo	41
4.	SISTEMA DE INFORMACIÓN	42
4.1	SEGUIMIENTO A MANTENIBILIDAD DE EQUIPOS	42
4.1.1	Hojas de vida	43
4.1.2	Reportes de análisis predictivo	43
4.2	ÍNDICADORES DE DESEMPEÑO	45
4.2.1	Disponibilidad de equipos	45
4.2.2	Confiabilidad de equipos	46
4.2.3	Tiempo promedio entre fallas	46
4.2.4	Acertividad de predictivo	47
5.	CONCLUSIONES	48
	BIBLIOGRAFÍA	49
	ANEXOS	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica del campo Matachines	3
Figura 2. Estructura organización CPR ESPINAL	4
Figura 3. Descripción plataforma estación Matachín Norte	6
Figura 4. Moto-generator Waukesha P9390G	8
Figura 5. Daño en pistón por consecuencia de detonación	8
Figura 6. Daño en válvula por pre-ignición	9
Figura 7. Niveles de Mantenimiento	13
Figura 8. Esquema Monitoreo basado en condición CBM	17
Figura 9. Proceso de Análisis de Causa Raíz RCA	19
Figura 10. Niveles de una árbol lógico de falla	22
Figura 11. Análisis modos y efecto de falla FMEA	24
Figura 12. Circulo vicioso del mantenimiento	25
Figura 13. Organigrama general del proceso de mejoramiento de la información.	28
Figura 14. Organigrama fase 1 levantamiento de la información en campo	29
Figura 15. Organigrama fase 2 revisión y validación de la información	30
Figura 16. Pestaña general visualizar equipos en SAP	31
Figura 17. Pestaña emplazamiento visualizar equipos en SAP	31
Figura 18. Pestaña organización visualizar equipos en SAP	32
Figura 19. Pestaña estructura visualizar equipos en SAP	32
Figura 20. Visualizar componentes asociados al equipo	33
Figura 21. Visualización datos técnicos del equipo	33

Figura 22.	Visualización puntos de medida del equipo	34
Figura 23.	Flujo de la orden de trabajo	35
Figura 24.	Pestaña posición de mantenimiento	37
Figura 25.	Hoja de ruta para el plan de mantenimiento preventivo	38
Figura 26.	Repuestos asociados al plan de mantenimiento	38
Figura 27.	Parámetros de programación del plan de mantenimiento	39
Figura 28.	Fecha de inicio del plan de mantenimiento	39
Figura 29.	Plan de mantenimiento creado	40
Figura 30.	Proyección anual planes de mantenimiento de motores a gas	40

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Pozos que componen las estaciones de campo Matachines	4
Tabla 2.	Equipos que componen el sistema de generación Campo Matachines	7
Tabla 3.	Pérdidas de producción cargadas a mantenimiento Matachines	10
Tabla 4.	Áreas del negocio de mantenimiento usualmente consideradas en los modelos de gestión	14
Tabla 5.	Porcentajes de cambio según estrategias	25
Tabla 6.	Técnicas de monitoreo a equipos generación eléctrica	41

ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Formato levantamiento información equipo mecánico	50
ANEXO B. Formato levantamiento información equipo eléctrico	51
ANEXO C. Formato levantamiento información equipo instrumentación	52
ANEXO D. Formato actualización datos equipos en SAP	53
ANEXO E. Rutinas de mantenimiento preventivo motores según fabricante	54

RESUMEN

TÍTULO: ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA LOCAL CON MOTORES A GAS PARA CAMPOS PETROLEROS

AUTOR (ES): CAMILO ERNESTO GALLEGO GUTIÉRREZ, OMAR ALEXIS PANTANO DÍAZ

PALABRAS CLAVES: GERENCIA ESTRATÉGICA, MOTORES A GAS, MODELOS DE GESTIÓN, OUTSOURCING.

DESCRIPCIÓN: Petrobrás tiene como propósito alcanzar un estándar de Mantenimiento Clase Mundial, buscando balancear el desempeño de sus plantas, mediante la reducción de pérdidas de producción; la optimización de costos y minimizando los riesgos para proteger las personas y el medio ambiente; y para ello a implementado metodologías de evaluación como la Matriz de la Excelencia y ha elaborado planes a mediano y largo plazo tendiente a implementar modelos de gestión que ayuden a cumplir estos objetivos.

La Evaluación de Mantenimiento es utilizada para comparar el estado actual contra un estado final deseado en el área de confiabilidad de equipos y efectividad de los procesos de mantenimiento.

El desarrollo y utilización de procesos de trabajo eficientes, tales como la planeación y programación de trabajos de mantenimiento, son claves para el mejoramiento continuo de la eficiencia de la fuerza de trabajo de la compañía.

El uso de procesos y prácticas de mantenimiento basadas en el conocimiento, es esencial para mejorar la confiabilidad de los equipos y la optimización de los costos de mantenimiento de los equipos de las plantas y los pozos de producción. Estos procesos incluyen el Análisis de Causa Raíz (RCA), el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y estrategias de mantenimiento basadas en confiabilidad como el Monitoreo Basado en Condición (CBM)

Por todo lo anterior, hemos querido aportar nuestro conocimiento y experiencia desarrollando este proyecto tratando de colaborar con el buen diseño de los cimientos de la pirámide de procesos de una buena Gerencia Estratégica.

Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Director: Magdiel Falla . Ingeniero Mecánico

SUMMARY

TITLE: STRATEGY FOR MAINTENANCE OF GENERATION SYSTEMS WITH LOCAL ELECTRIC MOTORS FOR GAS & OIL FIELDS

AUTHOR (S): CAMILO ERNESTO GALLEGO GUTIERREZ, OMAR ALEXIS PANTANO DIAZ **

KEY WORDS: STRATEGIC MANAGEMENT, DRIVERS TO GAS, MODELS OF MANAGEMENT, OUTSOURCING.

DESCRIPTION: Petrobras aims to achieve a standard of World Class Maintenance, seeking to balance the performance of its plants by reducing production losses; optimizing costs and minimizing risk to protect people and the environment, and to that end to implement assessment methodologies such as Matrix for excellence and has developed plans in the medium and long term aimed at implementing management models that help meet these objectives.

Maintenance assessment is used to compare the current state against a desired end state in the area of reliability and effectiveness of equipment maintenance processes.

The development and use of efficient work processes, such as planning and scheduling maintenance work, are keys to the continuous improvement of the efficiency of the workforce of the company.

The use of processes and maintenance practices based on knowledge is essential to improve the reliability of equipment and optimizing maintenance costs of equipment and plants producing wells. These processes include the Root Cause Analysis (RCA), Reliability Centered Maintenance (RCM) and maintenance strategies based on reliability as the Monitoring Based on condition (MBC)

For the foregoing reasons, we wanted to bring our knowledge and experience to develop this project trying to work with the proper design of the foundation of the pyramid processes of a good Strategic Management.

* Monograph.

** School of Mechanical engineering. Maintenance management specialization.
Director: Magdiel Falla. Mechanical Engineer

INTRODUCCIÓN

Para cualquier empresa operadora y comercializadora de crudo que cuentan con sistemas de generación eléctrica en cada uno de sus campos y facilidades de producción, es necesario implementar programas y estrategias de mantenimiento a todos sus activos y equipos, los cuales ayuden a realizar la medición de desempeño y costos de actividades ejecutadas.

En las diferentes empresas y compañías operadoras y comercializadoras de crudo la implementación de sistemas de información y administración de mantenimiento (CMMS) es necesario e indispensable el cargue de planes de mantenimiento para cada uno de los equipos que conforman los diferentes sistemas y procesos de cada campo o planta, ya que estos planes son la base de datos principal de cada empresa para realizar la respectiva medición y control de los diferentes indicadores, los cuales son designados según el departamento o área de trabajo de la empresa como es el caso de mantenimiento.

Para la compañía Petrobrás Colombia Limited es necesario realizar la implementación de un programa y estrategia de mantenimiento preventivo, predictivo y por condición de sus equipos de generación eléctrica (moto-generadores a gas) ya que las inversiones efectuadas en actividades de mantenimiento no se han reflejado en el sistema de información y administración de mantenimiento con algún tipo de mejora y el cual sigue generando gastos que no han sido justificados de forma concreta por intermedio de su sistema de información y administración de mantenimiento (CMMS) SAP. Actualmente la información de planes de mantenimiento para esta clase y sistema de equipos no es muy clara y a la fecha no se ha realizado algún tipo de mejora y actualización en las diferentes técnicas predictivas aplicables que aporten valor agregado a la manutención y conservación de esta clase de equipos.

El propósito fundamental de este documento es realizar una estrategia de mantenimiento base y con variables aplicables para la actualización de los planes de mantenimiento preventivo, predictivo y por condición de los moto-generadores a gas en el modulo de mantenimiento del sistema corporativo de información y administración (CMMS) PM-SAP de los equipos principales que conforman los sistemas de generación eléctrica aplicable a los diferentes campos donde tienen sus operaciones Petrobrás Colombia Limited, los cuales generen beneficios y resultados óptimos a mediano y largo plazo.

1. MARCO CONTEXTUAL

1.1 LA EMPRESA

Petrobrás Colombia Limited es una de las diez (10) unidades de negocios con las cuales cuenta Petrobrás Braspetro International en el mundo. Petrobrás Colombia Limited llega a Colombia e inicia sus operaciones con el contrato Río Meta en el campo Guarimena ubicado en la zona del Casanare con un porcentaje de participación del quince por ciento (15%), aproximadamente por cinco años.

Para inicios de la década de los noventa la compañía realiza estudios de viabilidad para la exploración y operación de diferentes campos y facilidades de producción de la compañía multinacional ESSO ubicados en los departamentos del Huila y Arauca, los cuales finalmente para el año 1995 deciden realizar su adquisición. En el departamento del Huila toman la participación de ESSO en el campo Río Ceibas del contrato Caguan con una participación del 22,73% y el campo Yaguará del contrato Hobo con una participación del 50%. En el departamento de Arauca toman la totalidad del campo Arauca del contrato que lleva el mismo nombre.

Para el año de 1998 Petrobrás Colombia Limited realiza la compra de la totalidad de los activos de la compañía Lasmco Oil la cual tenía sus operaciones en el departamento de Sucre con el campo Guepaje con un porcentaje de participación del 42% del contrato Magangue, en el departamento del Tolima los campos Purificación y Matachines con un porcentaje de participación del 30% del contrato Espinal, en el departamento del Casanare los campos Santiago y Trompillos con un porcentaje de participación del 50% y 100% respectivamente del contrato Upia B y finalmente también el departamento del Casanare el campo Trinidad con un porcentaje de participación del 50% del contrato Yalea.

En el año 2000 la compañía en el departamento del Tolima realiza su primer hallazgo en cuanto a exploración con el campo Guando entrando al negocio de explotación del crudo junto con Ecopetrol participando en treinta por ciento de la totalidad de su producción. Para los periodos 2004 y 2005 Petrobrás Colombia Limited realiza los contratos de asociación para las exploraciones de Tierranegra en el Casanare, Boquerón profundo en Tolima con porcentajes de participación de 70% y 60% respectivamente. A finales del año 2006 la compañía adquiere un nuevo contrato de asociación para la exploración Off-Shore de uno de los bloques territoriales del Tayrona en aguas de la costa atlántica colombiana con un porcentaje de participación del 40% junto a British Petroleum, ExxonMobil y Ecopetrol.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL CAMPO

En el año 1987 se inicia la explotación sísmica, a finales de 1990 se perfora Venganza 1 y se prueba en enero de 1991 como pozo productor de petróleo. En el año 1992, se perfora el pozo Venganza 2 el cual no resulta productor. En el año 1994, se perforaron los pozos Revancha 1 y Revancha 2 los cuales resultaron productores; en ese mismo año se declara la comercialidad del campo Matachines.

A principios del año 1996 se termino la construcción del oleoducto Matachín – PPF. En el año de 1996 se inicia la construcción de facilidades para las estaciones denominadas Matachín Norte que maneja los pozos Venganza y Matachín Sur que maneja los pozos Revancha.

En el año 1997, se perforan los pozos: Revancha 3 y Venganza 3, los cuales resultan productores. En el año 1998 se coloca en producción de prueba el pozo Venganza 3 para solicitar comercialidad. En el año 1999, se perfora el pozo Venganza 4H, el cuál hace parte de Matachín Norte, resultando productor. Se inicia sísmica 3D en la cuál se involucra a Municipio de Purificación, Prado y Suárez. En el año 2000, se perforan dos pozos que resultan productores; el pozo Venganza 8H y Venganza 6H. En el año 2001, se perforan 6 pozos en total, Venganza 5H, Venganza 9H, Venganza 12H, Revancha 4H, Revancha 5H y Revancha 7H; Este último no resulta productor. En el año 2002 se perforo Revancha 9H resultando productor.

El Campo Matachines se encuentra en el área rural del municipio de Purificación en el departamento del Tolima, ubicada en las estribaciones de la cordillera oriental, cerca de la represa de Río Prado. La estación Matachín Norte está ubicada en la vereda San Diego en el “cerro Perico”, aproximadamente a 15 Km. al oriente del casco urbano del municipio de Purificación. La estación Matachín Norte está dividida en dos plataformas; La altura sobre el nivel del mar de las plataformas superior e inferior es de 740 y 720 m, respectivamente. La estación Matachín Sur está ubicada en la vereda El Tambo a 6 Km. hacia el sur de la estación Matachín Norte.

Figura 1. Ubicación geográfica del campo Matachines



El campo Matachines está compuesto de los siguientes pozos como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Pozos que componen las estaciones de campo Matachines

ESTACIÓN	POZO	TIPO / Método levantamiento
Matachín Norte	VEN- 001 003 VEN-004H 005H 006H 008H 009H 012H	Inyector agua Productor (ESP)
Matachín Sur	REV 002 004 005 009 REV 003 REV 007	Productor (ESP) Inyector gas Inyector agua

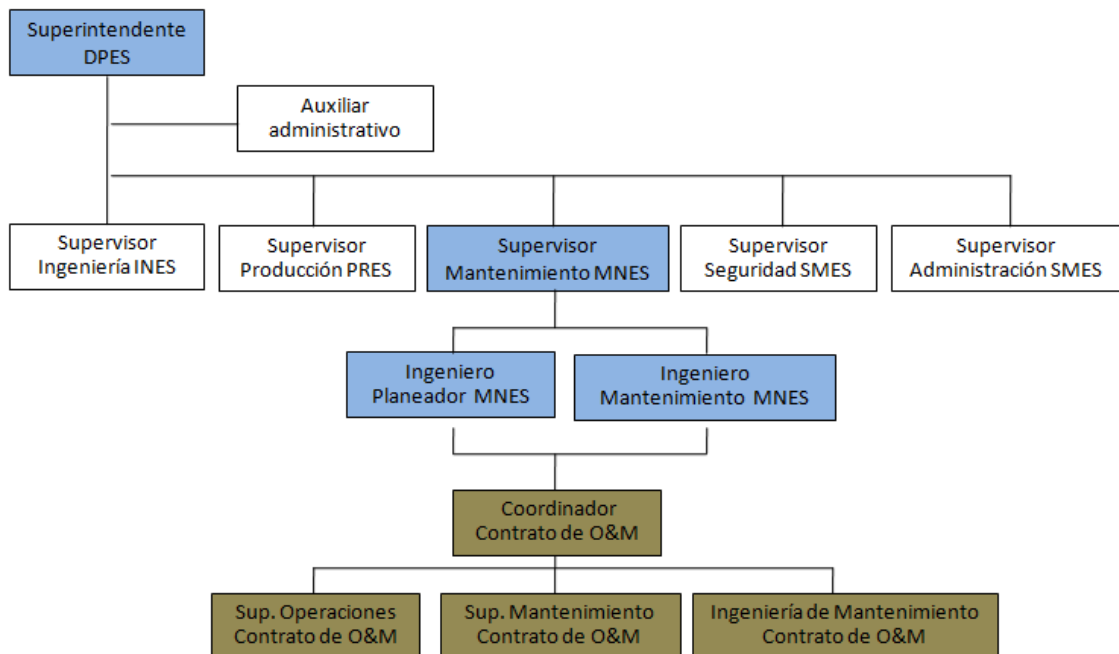
* Fuente Listado Pozos productores Matachines

1.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

El campo Matachines se encuentra dentro del contrato de participación de riesgos efectuado entre las empresas CEPESA, PETROBRÁS y ECOPETROL en la cual Petrobrás es la operadora y responsable del contrato CPR ESPINAL. El personal directo de Petrobrás cuenta con el contrato de operación y mantenimiento que atiende las cuatro estaciones entre ellas las que componen el campo Matachines establecidas en el contrato del CPR ESPINAL.

La estructura organizacional de se observa en la Figura 2. donde se observa la responsabilidad del área de mantenimiento y fiscalización del contrato de operación.

Figura 2. Estructura organización CPR ESPINAL



1.4 PROCESO PRODUCTIVO

En la estación Matachín Norte se maneja el aporte de los pozos Venganzas (VEN-004H, VEN-005H, VEN-006H, VEN-008H, VEN-009H y VEN-012H) que fluyen por líneas independientes y llegan a un Manifold de recibo para luego pasar al Slug Catcher, con el que se busca conseguir que el flujo sea laminar al llegar a los separadores.

Se tiene un Separador para prueba de pozos y dos separadores de producción general, una vez separado el crudo del agua, este llega al Gun Barrel donde es lavado optimizando su calidad para luego ser enviado a los tanques de recibo y posteriormente despachado al oleoducto Matachín-PPF por intermedio de tres (3) bombas centrífugas, pasando por un medidor de turbina.

El agua que es extraída del crudo en los separadores pasa a tres (3) tanques desnatadores, que reciben el agua recuperada del skimmer, el agua recuperada del tanque decantador, el agua proveniente de Matachín Sur y WPF que posteriormente y por gravedad el agua pasa al tanque de agua sucia que es de 5000 Bls de capacidad. Este tanque también recibe el agua proveniente de la operación del Gun Barrel, de este tanque toman el agua bombas centrífugas y la pasan a través de dos filtros compuestos por cascarilla de nuez, optimizando la calidad del agua, retirándole grasas y sólidos suspendidos; los filtros descargan el agua limpia al tanque de cabeza TK-107. El agua sucia producto del retrolavado de los filtros es enviada al tanque decantador en donde el agua con mayor cantidad de sólidos es enviada al tanque del skimmer y el agua más limpia pasa al tanque desnatador para que realice nuevamente el proceso de separación.

El tanque de cabeza TK-107 abastece la succión de las bombas de transferencia, que envían agua hacia Matachín Sur en donde es recibida y posteriormente inyectada al pozo REV-007. Este mismo tanque abastece las bombas booster que suplen dos bombas multietapas horizontales que inyectan el agua en los pozos VEN-001 y VEN-003. Los separadores están provistos de medidores de platina en la salida de gas para efectos de medición. Las líneas de salida de gas convergen en una línea común de donde el gas es distribuido al resto del proceso que lo involucra.

De la línea común de gas se deriva una hacia el scrubber de succión del compresor; allí se le retiran los líquidos presentes en la corriente de gas, el compresor succiona el gas de esta vasija a treinta libras de presión (30 psi) y le eleva la presión a mil cien libras (1100 psi) aproximadamente. La descarga del compresor pasa a través de la planta deshidratadora donde se retira la humedad al gas, la salida de la planta deshidratadora se bifurca en dos (2) líneas una que sale hacia Matachín Sur, en donde el gas es recibido en un Scrubber para retiro de condensados y luego pasa al compresor de alta de donde es enviado al pozo REV-003 para su inyección final; La otra línea pasa por un sistema de reguladores para llegar al Scrubber de gas combustible que posee un Manifold de distribución que alimentan los motores Waukesha del compresor, generadores, bombas multietapas de inyección de agua y gas de cobertura de tanques; Además de ese punto sale una línea hacia la estación PPF para suministrar el gas combustible para los motores Waukesha de los generadores, caldera y como gas de cobertura de los tanques en esa estación.

De la línea común existe una derivación hacia el Scrubber de la tea donde se le retira los líquidos al gas para finalmente ser quemado, esta línea cuenta con un sistema

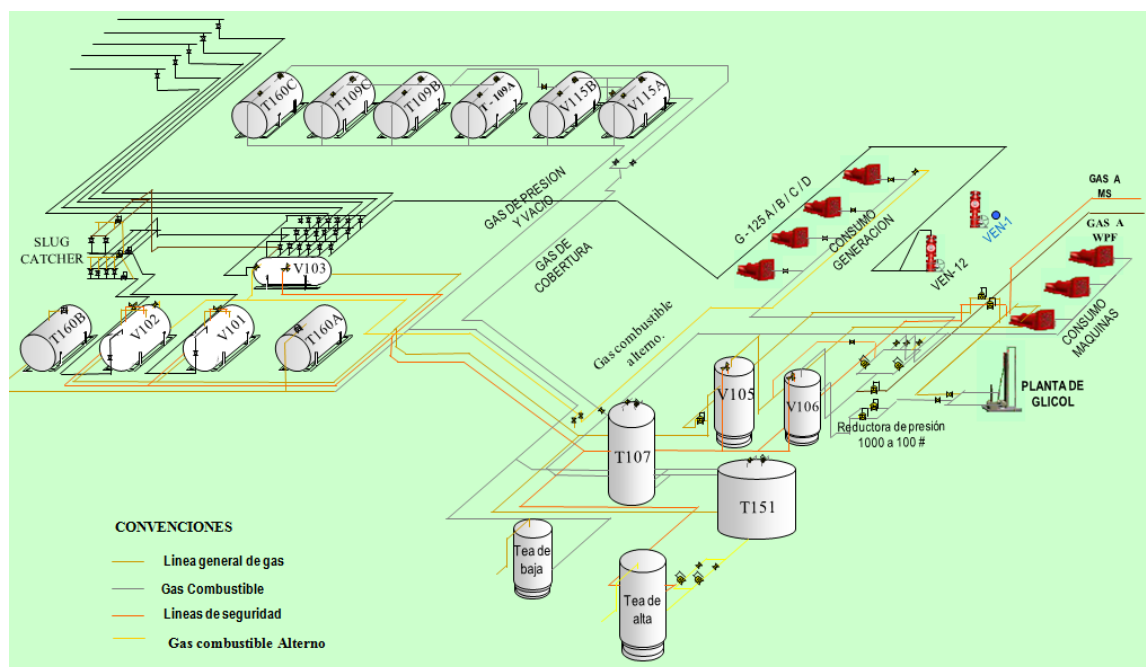
redundante de válvulas de control cuya función es mantener la presión aguas arriba (succión compresor y presión separadores) esto nos permite manejar el exceso de gas cuando se presente parada del compresor de gas.

Al Scruber de la tea también llega una línea que es la encargada de manejar los disparos de las válvulas de seguridad (PSV) de los equipos de la estación. Además se cuenta con un Scrubber y una tea de baja que son los encargados de manejar el gas proveniente de las válvulas de seguridad de los tanques de recibo de crudo y los tanques del sistema de tratamiento de agua.

En la estación Matachín Norte se realiza la generación de energía eléctrica requerida para la operación de todas las facilidades de producción del campo Matachines, para este fin se cuenta con cuatro (4) Moto-generadores a gas GEN-125 A/B/C/D de marca Waukesha cada uno con capacidad de generación de 950 KW a 480 Volt cada equipo. Los Moto-generadores trabajan en sistema paralelo y cuenta con una subestación y una red de transferencia eléctrica de 13.2 KV para distribuir la energía a las diferentes locaciones y puntos de consumo.

La necesidad de aire en el proceso (instrumentación electro-neumática) esta abastecida por cuatro (4) compresores de pistón, de los cuales dos (2) trabajan de forma permanente y los otros dos (2) se tienen como equipos de respaldo. La presión de aire en el sistema se maneja entre 125 y 150 psi.

Figura 3. Descripción plataforma estación Matachín Norte



1.5 SISTEMAS DE GENERACIÓN

La energía requerida para la operación de el campo Matachín es genera en la estación Matachín Norte. El ingreso de la energía proveniente de la red de transferencia cuenta con un Breaker de 1600 amp que energiza el barraje en común de donde se alimenta el CCM (Centro de control de motores) y un transformador de 480/220/110 VAC utilizado para servicios generales de la estación. El sistema de generación de la estación Matachín Norte esta compuesto por cuatro moto-generadores a gas marca Waukesha de la serie VHP con capacidad de 950 Kw. de potencia del cual suministra energía eléctrica a las facilidades de producción de las estaciones Matachín Norte y Matachín Sur junto con los pozos productores Venganzas y Revanchas.

Tabla 2. Equipos que componen el sistema de generación Campo Matachines

ITEM	CODIGO SAP	DESCRIPCION
1	30000206	MOTOGENERADOR G-125A
2	30000207	MOTOGENERADOR G-125B
3	30000208	MOTOGENERADOR G-125C
4	30000209	MOTOGENERADOR G-125D

* Fuente Listado SAP Moto-generadores Matachines

El sistema de generación local cuanta con un sistema de respaldo y auxiliar que se componen de motores diesel uno en cada estación con capacidades de 560 Kw. de potencia el cual brinda respaldo en los pozos con mayor producción de cada estación.

Los equipos principales del sistema de generación son los motores de combustión interna alimentados por gas que para este campo utilizan gas combustible proveniente de los pozos de producción y en que otras aplicaciones se utilizan para inyección a alta presión en pozos para recuperación secundaria de los yacimientos. Los motores se acoplan a generadores eléctricos marca Kato con capacidad de 950 Kw.

1.6 DIAGNÓSTICO

En el campo Matachines operado por Petrobrás no se tiene establecida una estrategia de mantenimiento que abraque los equipos del sistema de generación ya que para Petrobrás este sistema de equipos es el más crítico para su operación. Los motivos que representan la criticidad de estos equipos son las pérdidas de producción que se cargan al área de mantenimiento mensualmente y los costos que estos acumulan anualmente es cada una de sus reparaciones e intervenciones. A continuación se muestra las principales fallas en estos equipos en el periodo 2006.

1.6.1 Fallas comunes en el sistema de generación

Los motores a gas son equipos que están expuestos a la alta fricción y por consiguiente altas temperaturas en sus componentes que producen en su proceso de combustión. Los equipos de tipo reciprocantes y en especial motores a gas son susceptibles a fallas comúnmente por detonación y pre-ignición, lo cual causa daño en partes y componentes del sistema de potencia con frecuencia.

Figura 4. Moto-generador Waukesha P9390G



- ❖ Detonación: Este tipo de falla puede estar provocado por altas temperaturas, índice de detonación bajo (WKI), adelanto en el tiempo, relación de compresión alta, presión de entrada a la cámara más alta, alta temperatura del refrigerante, velocidad lenta del equipo y humedad atmosférica.

Figura 5. Daño en pistón por consecuencia de detonación



- ❖ Pre-ignición: es una mezcla de aire y combustible que se realiza antes de generarse la chispa, la cual puede estar ocasionada por depósitos en el cilindro, rango de calor de bujía incorrecto, válvula sobrecalentada y pistón sobrecalentado. “La detonación puede causar pre-ignición y viceversa”.

Figura 6. Daño en válvula por pre-ignición



- ❖ Falla de aislamiento en generadores: las fallas en la resistencia de aislamiento de los generadores eléctricos se deben en muchos casos a defectos de sus protecciones o designaciones IP para las cuales fueron seleccionados para un trabajo específico. La medición de resistencia de aislamiento no se considera como una prueba de diagnóstico de la degradación del aislamiento, aunque en ciertos casos y condiciones sí puede serlo.
- ❖ El valor absoluto de la resistencia de aislamiento y el índice de polarización se usan para determinar la condición de aislamiento en cuanto a suciedad y humedad del mismo y decidir si el devanado es apto para operar o realizarle pruebas con tensiones elevadas. También es prueba de rigor para determinar si existe falla a tierra o entre fases en el devanado después de ocurrir un disparo del generador.

1.6.2 Pérdidas generadas

En los equipos de generación eléctrica y en especial los motores a gas (equipos recíprocos) se presentan fallas y salidas del sistema debido a insuficiente control de sus componentes de medición y control (instrumentación). Para términos de esta investigación se toman los datos de operación y producción del primer semestre del año 2006 del campo Matachines como ejemplo de una visualización de los costos y pérdidas de producción por falla en los equipos que componen el sistema de generación.

Tabla 3. Pérdidas de producción cargadas a mantenimiento Matachines

Mes	Perdidas Mtto Bls	Causa
Enero	471	Altas temp. Salidas Sistema Generación
Febrero	15	Preventivos y Oscilaciones en G-125A
Marzo	258	Redes Eléctricas 13.2KV
Abril	66	Altas temp. Salidas Sistema Generación
Mayo	132	Falla en VSD
Junio	113	Falla en transformador

Para el primer semestre del 2006 se contabilizaron 552 barriles de pérdidas de producción por fallas en el sistemas de generación, lo cual representaba para el campo perdidas aproximadas de U\$ 46920 dólares. A estas fallas presentadas se debe incluir el costo por reparación y cada una de las intervenciones.

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 Objetivo general

Establecer una estrategia de mantenimiento, la cual genere resultados benéficos a mediano plazo para un departamento o área de mantenimiento donde sean los encargados y directamente responsables del cumplimiento de la función de sistemas de generación local por medio de moto-generadores a gas.

1.7.2 Objetivos específicos

- ❖ Identificar los modelos básicos para la gestión de mantenimiento en sistemas de generación.
- ❖ Establecer cuáles pueden ser las técnicas de apoyo que ayuden a identificar fallas y problemas en equipos y componentes.
- ❖ Emplear una técnica o metodología que ayuden a mejorar y optimizar la gestión de mantenimiento preventivo.
- ❖ Estructurar y actualizar la base de datos en información técnica de los equipos mediante el sistema de administración de mantenimiento que tenga la compañía.
- ❖ Establecer rutinas óptimas de monitoreo de condición de los equipos mediante modernas técnicas predictivas.
- ❖ Asociar y establecer indicadores claves para el seguimiento de la gestión de mantenimiento.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PLANEACIÓN ESTRATÉGICA

La estrategia de mantenimiento para equipos de generación eléctrica local mediante motores a gas debe tener una visión a mediano plazo que abarque modelos básicos de gestión de mantenimiento que generen beneficios para el área o departamento de mantenimiento que sean responsables de esta clase de equipos.

2.1.1 Misión

Maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos que suministran energía eléctrica a los procesos de producción de crudo del campo Matachines CPR ESPINAL mediante la aplicación de modelos, planes y programas de mantenimiento, empleando técnicas modernas con personal capacitado y comprometido con las metas establecidas por la supervisión de mantenimiento.

2.1.2 Visión

La organización de mantenimiento será un equipo de clase mundial con aplicación integral de costos competitivos del sector empresarial para aumentar la disponibilidad y confiabilidad de equipos de generación energética en las instalaciones de Petrobrás DPCE, apoyándonos en técnicas modernas de mantenimiento preventivo y predictivo y funcionales de mejoramiento del estado de los equipos, disminuyendo el mantenimiento reactivo, mediante la planeación y programación de todas las actividades en el sistema de administración de mantenimiento empleado por la compañía en la actualidad (CMMS-SAP/R3).

2.1.3 Objetivos estratégicos

- ❖ Consolidar la estructura organizacional y de procesos para el desarrollo de una gestión de mantenimiento Clase Mundial.
- ❖ Desarrollar el plan a corto plazo para la implementación y sostenimiento de los procesos esenciales de la estrategia y gestión de mantenimiento.
- ❖ Proyectar a mediano y largo plazo el plan de mejoramiento de la estrategia de Mantenimiento.
- ❖ Mejorar los procesos de planeación y programación, al punto que todas las actividades de Operación & mantenimiento estén soportadas por dichos procesos y uso correcto del CMMS SAP R/3.
- ❖ Implementar las técnicas de mantenimiento predictivo y por condición, con base en la criticidad de equipos en busca de fortalecer el mantenimiento basado en condición con disminución del mantenimiento correctivo y aumento de la frecuencia de algunas rutinas de Preventivo.

2.2 NIVELES DE MANTENIMIENTO

Según el enfoque sistémico que se le quiere dar a mantenimiento, el área de generación no es ajeno a dicho enfoque, por tal razón, queremos evidenciar como logramos implementar estos niveles al momento de mejorar la estrategia de mantenimiento de los equipos de este sistema.

Nivel 1. Instrumental. Se incluyen todo el conjunto de acciones simples necesarias a la explotación del medio y realizadas sobre los elementos de fácil acceso para dicho operador, de manera tal de que no se produzca riesgo alguno por parte de este al realizar esta actividad, pudiendo o no ser con la ayuda de herramientas o medios auxiliares que se encuentran incorporados en el medio.

Se incluyen, también, las regulaciones y controles o inspecciones necesarias a la explotación, las operaciones elementales de mantenimiento preventivo (puesta a nivel de líquido (aceite, combustibles, etc.), el reemplazo de los artículos consumibles o de accesorios (cordones, pilas, etc.)

Este tipo de intervenciones, deberá ser efectuada por el operador del medio debidamente formado y con la ayuda de instructivos de realización en caso de ser necesario ya que no siempre el operador del medio tiene la instrucción profesional necesaria (estudios secundarios y / o superiores) como para poder ejecutar dicha actividad sin la ayuda de instructivos. Es necesario destacar que si bien este conjunto de actividades, se hallan conformadas por tareas simples tales como limpieza, regulación, inspección, son tan importantes como otro tipo de actividad ya que el no cumplimiento de las mismas puede llegar a afectar la ejecución de las demás actividades.

Abarca todos los elementos físicos y de procedimientos que requiere el personal para efectuar las actividades de mantenimiento de los equipos de generación. Para ello se elaborara un plan detallado con entregables, responsables y fechas de cumplimiento para el levantamiento en campo de los Data Sheet (Ficha técnica) de cada equipo, jerarquizando los equipos hasta los componentes del mismo, definiendo los procedimientos de mantenimiento por frecuencias y equipos, elaborando el listado de repuestos requeridos por cada mantenimiento y por cada área de trabajo, mecánica, electricidad e instrumentación. (Ver formato de levantamiento de Data Sheet de los motores a gas Anexo A.)

Nivel 2. Operacional. Se incluyen todo el conjunto de acciones que necesitan de procedimientos simples y/o de equipos de soporte. En este caso podemos incluir los controles de performance, regulaciones, reparaciones por intercambio estándar de subconjuntos (reemplazo fácil)

Este tipo de acciones de mantenimiento pueden ser efectuadas por personal habilitado con los procedimientos detallados y el equipo necesario definido en las instrucciones de mantenimiento.

No se debe confundir con las tareas del 1° nivel de mantenimiento, ya que en este caso las tareas representan una complejidad superior y los procedimientos de ejecución no son tan simples como en el caso anterior.

En este caso las tareas ya no son efectuadas por el operador del medio, sino que son efectuadas por personal “de mantenimiento”, es decir, personal que conoce muy bien la operación del medio y que ha sido debidamente formado a los fines de poder efectuar estas tareas.

Este nivel comprende las acciones hechas en los mantenimientos y partimos de los procedimientos elaborados por los técnicos que se destinaron para tal fin y se han ido adecuando con respecto a las sugerencias emitidas por el personal.

Nivel 3. Táctico. Se incluyen todo el conjunto de acciones que necesitan de procedimientos complejos y/o de equipos de monitoreo.

Se incluyen, también, los procedimientos generales, operaciones de mantenimiento sistemático delicadas, las reparaciones por intercambio de subconjuntos y/o componentes.

Este tipo de operación de mantenimiento puede ser efectuada por un técnico calificado con la ayuda de procedimientos detallados y de equipos avanzados previstos en las instrucciones de mantenimiento.

En este nivel podemos definir grupos de tareas de mantenimiento que se realizan con un fin claro y para ello se estipuló una matriz donde se muestra las técnicas a aplicar a los motores a gas para llevar su mantenimiento basado en su condición.

Nivel 4. Estratégico. En este nivel desarrollamos metodologías tendientes a medir y evaluar el éxito logrado con las técnicas propuestas, como indicadores de Disponibilidad y Confiabilidad de los equipos, indicador de acertividad de las técnicas. Con ellos se quiere dejar la base para poder realizar FMECA y modelamiento de confiabilidad.

Figura 7. Niveles de Mantenimiento



2.3 MODELOS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Las actividades de mantenimiento tienen lugar frente a la constante amenaza que implica la ocurrencia de una falla o error en un sistema, maquinaria, o equipo. Existe además la necesidad de optimizar el rendimiento de los unidades y componentes industriales (mecánicos, eléctricos, y electrónicos) de los procesos dentro de las instalaciones de una planta industrial.

El objetivo buscado por el mantenimiento es contar con instalaciones en óptimas condiciones en todo momento, para asegurar una disponibilidad total del sistema en todo su rango de performance, lo cual está basado en la carencia de errores y fallas. El mantenimiento debe procurar un desempeño continuo y operando bajo las mejores condiciones técnica, sin importar las condiciones externas (ruido, polvo, humedad, calor, etc.) del ambiente al cual este sometido el sistema. El mantenimiento además debe estar destinado a:

- ❖ Optimizar la producción del sistema
- ❖ Reducir los costos por averías
- ❖ Disminuir el gasto por nuevos equipos
- ❖ Maximizar la vida útil de los equipos

Los procedimientos de mantenimiento deben evitar las fallas, por cuanto una falla se define como la incapacidad para desarrollar un trabajo en forma adecuada o simplemente no desarrollarlo. Un equipo puede estar “fallando” pero no estar malogrado, puesto que sigue realizando sus tareas productivas, pero no las realiza con la misma performance que un equipo en óptimas condiciones. En cambio un equipo malogrado o averiado no podrá desarrollar faenas bajo ninguna circunstancia. Además el costo que implica la gestión y el desarrollo del mantenimiento no debe ser excedida, más bien debe estar acorde con los objetivos propios del mantenimiento, pero sin denotar por ejemplo, un costo superior al que implicaría el reemplazo por maquinaria nueva. Entre los factores de costo tendríamos: mano de obra, costo de materiales, repuestos, piezas nuevas, energía, combustibles, pérdidas por la no producción.

Tabla 4. Áreas del negocio de mantenimiento usualmente consideradas en los modelos de gestión

GENTE	PROCESOS	TECNOLOGIA
Organización	Planificación	Tecnología de Información
	Programación	Ingeniería de Confiabilidad
	Materiales	
	Ejecución y Control	
	Evaluación	
	Mejora Continua	
	Gerencia de la Información	

Fuente. Modelo Gerencial de Mantenimiento – Fundamento Filosófico

Inevitablemente todo equipo, maquinaria, instrumento, o edificación se va a deteriorar por el paso del tiempo. Una medida útil para aproximar el costo del desarrollo del mantenimiento esta dado por la siguiente expresión:

Donde el Costo de mantenimiento esta dado por el valor en dinero gastado en las operaciones desarrolladas; y los activos fijos mantenibles son aquellos equipos, maquinarias, y construcciones revaluados a precios corrientes y correspondientemente depreciados.

El momento ideal para ser llevado a cabo cada actividad puede ser determinado desde muchos puntos de vista, a los cuales les va a corresponder un determinado tipo de mantenimiento; teóricamente existe la llamada “curva de falla”, la cual indica la probabilidad de la ocurrencia de fallas y averías para determinadas etapas de operación de la planta en función del factor tiempo. Así tenemos:

- ❖ Riesgo elevado en la etapa de implementación de la planta y puesta en marcha de los equipos.
- ❖ Riesgo bajo en la etapa de operación de la planta (siempre que los equipos reciban los cuidados y reparaciones adecuadas)
- ❖ Riesgo elevado en la etapa de operación de la planta luego que ha cumplido el ciclo de vida de los equipos (los cuales si reciben un óptimo mantenimiento podrían operar sin la presencia de fallas).

2.3.1 Mantenimiento correctivo CVO

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento reactivo”, tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el sistema. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas de corrección de errores. Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

- ❖ Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- ❖ Afecta las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- ❖ Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado
- ❖ La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.

2.3.2 Mantenimiento preventivo PVO

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento planificado”, tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos. Presenta las siguientes características:

- ❖ Se realiza en un momento en que no se esta produciendo, por lo que se aprovecha las horas ociosas de la planta.

- ❖ Se lleva a cabo siguiente un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios “a la mano”.
- ❖ Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.
- ❖ Esta destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.
- ❖ Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.
- ❖ Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.

2.3.3 Mantenimiento predictivo PDM

Consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo. El sustento tecnológico de este mantenimiento consiste en la aplicaciones de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. Tiene como objetivo disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipos, en instrumentos, y en contratación de personal calificado. Técnicas utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo:

- ❖ Analizadores de Fourier (para análisis de vibraciones)
- ❖ Endoscopia (para poder ver lugares ocultos)
- ❖ Ensayos no destructivos (a través de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas, entre otros)
- ❖ Termovisión (detección de condiciones a través del calor desplegado)
- ❖ Medición de parámetros de operación (viscosidad, voltaje, corriente, potencia, presión, temperatura, etc.)

Frecuentemente llamado también “mantenimiento basado en condición”. El mantenimiento predictivo busca reemplazar los intervalos de tiempo arbitrario con mantenimientos programados solamente cuando la condición del equipo lo requiere. La diferencia fundamental con el mantenimiento basado en condición es la extrapolación de los parámetros medidos, es decir, el mantenimiento basado en condición trabaja fundamentalmente con la información a tiempo presente, y el mantenimiento predictivo busca establecer la condición a tiempo futuro con la información presente y de tendencia para determinar su evolución utilizando frecuentemente modelamientos estadísticos y matemáticos.

El incremento en el costo por la aplicación de técnicas predictivas es pequeño comparado con la reducción de inspecciones y mantenimientos innecesarios (propios del mantenimiento preventivo). El mantenimiento predictivo continúa también reduciendo el costo y la frecuencia de las fallas inesperadas de máquinas. La información generada de un programa de mantenimiento predictivo puede ser usada para mejorar la eficiencia del personal, ayudar a tomar decisiones de reparación contra mantenimiento y monitorear la calidad de las reparaciones de equipos.

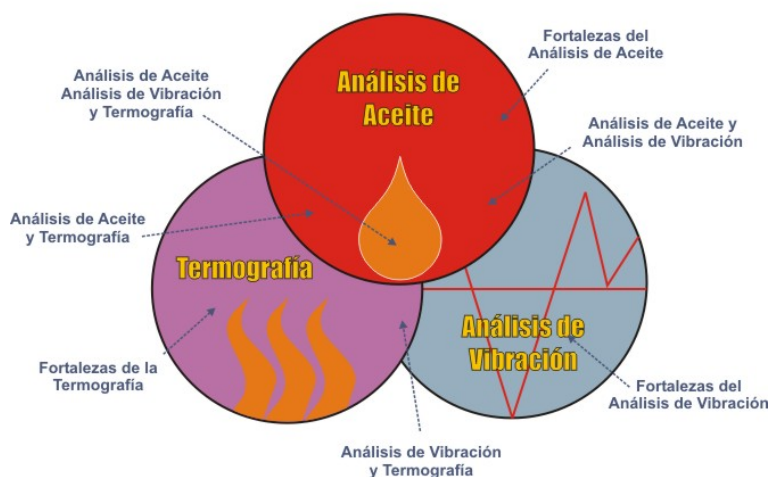
2.3.4 Mantenimiento basado en condición CBM

Es una filosofía de mantenimiento más segura y más atractiva. En muchas plantas el costo del mantenimiento por caballo de potencia en un año disminuye tras la implementación de un programa de mantenimiento basado en condición. Esto es generalmente debido a la reducción en mantenimiento directo, a la extensión de los periodos de overhauls, más efectos secundarios como, la reducción de repuestos en el almacén.

Gracias al monitoreo de condición, los planes de mantenimiento y los requerimientos de materiales son dirigidos hacia esas áreas deficientes identificadas. La evaluación de la condición de maquinaria requiere del soporte y compromiso de la gerencia.

Los recursos deben ser invertidos para tener acceso a técnicas que permitan evaluar la condición. Además la documentación y los archivos históricos deben ser establecidos y mantenidos. Finalmente el personal debe ser entrenado para implementar y mantener el programa. Como dato concluyente, un estudio de EMRI¹ de 1995 concluyó que el mantenimiento correctivo costaba a una planta industrial un promedio de U\$ 17–18 por caballo de potencia instalado por año, el mantenimiento preventivo U\$ 11–13/Hp/año y el mantenimiento basado en condición U\$ 7-9/Hp/año.

Figura 8. Esquema Monitoreo basado en condición CBM



2.3.5 Mantenimiento proactivo PRO

Este tipo de mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar consientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento. Cada individuo desde su cargo o función dentro

¹ EMRI *Evaluation et Maîtrise des Risques à l'International*

de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente.

El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el Plan Estratégico de la Organización. Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores. Este tipo de mantenimiento debe contar también con la colaboración del personal de operaciones el cual debe brindar primeros auxilios al equipo y tomar nota de todo lo acontecido en cualquier eventualidad del equipo, también soportar al grupo de condición sobre la sintomatología que se evidencie del equipo.

2.4 TÉCNICAS DE APOYO

Para establecer una buena estrategia de mantenimiento se debe adoptar técnicas que ayuden a identificar las causas de los problemas y las mismas fallas, también se deben aplicar metodologías que analicen las posibles causas de falla en componentes. Una vez realizado la implementación y ejecución de la estrategia de mantenimiento en sistemas de generación se debe realizar una auditoría y evaluación de las actividades desarrolladas durante toda la estrategia, dando como resultado una evaluación a todo el proceso de implementación del mantenimiento preventivo mediante una optimización de sus actividades y rutinas.

A continuación se enunciarán las técnicas más apropiadas para utilizar durante la ejecución y una vez terminado un periodo de implementación de la estrategia de mantenimiento establecida para los equipos del sistema de generación eléctrica.

2.4.1 Análisis de causa raíz RCA

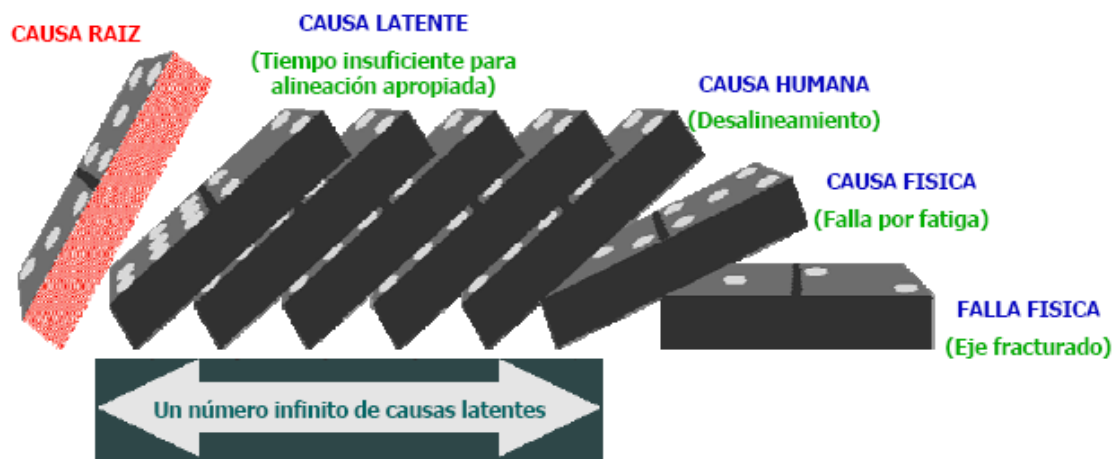
El análisis de causa raíz (RCA) es un riguroso método de solución de problemas, para cualquier tipo de falla, que utiliza la lógica y un árbol de causas raíz (fallas). El árbol de fallas consiste en una representación visual de un evento de falla, en el cual el razonamiento por deducción y la verificación de los hechos conducen a las causas originales. El análisis de causa raíz es una herramienta de confiabilidad utilizada para determinar hasta tres niveles de causas raíz para cualquier evento específico de falla. Es una técnica de análisis que permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir los síntomas.

Actualmente se evidencian dos tipos de fallas: Las fallas crónicas (repetitivas), como fallas de equipos (generalmente problemas de mantenimiento) y las fallas esporádicas (una vez), como paradas de emergencia, incendios, explosiones, muertes, lesiones importantes o fallas graves poco frecuentes en los equipos.

Con este tipo de análisis se obtienen oportunidades para identificar las deficiencias en los programas de entrenamiento y procedimientos operativos – Mantenimiento Proactivo, también los aspectos de mantenimiento como los esfuerzos de reducción de costos en el mantenimiento rutinario, en la duración y los costos de producción en las instalaciones, aspectos operativos como el descongestionamiento, interrupciones en la operaciones,

reducción de uso de energía, de gastos operativos, corridas más largas, mejoramiento de calidad y definición de incidentes ambientales.

Figura 9. Proceso de Análisis de Causa Raíz RCA



Cuando se implementan las recomendaciones, se recupera el dinero invertido en entrenamiento y en horas hombre comprometidas en una investigación. Como consecuencia solo se investiga las fallas más relevantes y al identificar y corregir todas las causas raíz, no solo debe evitarse la recurrencia del problema inicial, sino que pueden eliminarse numerosos problemas con causas raíz similares.

- ❖ Ayuda a proporcionar la capacidad de reconocer un patrón de fallas.
- ❖ Mejora las condiciones de seguridad industrial y ambiental y evita tiempos improductivos innecesarios.

Una falla crónica es la falla típica repetitiva que afecta las operaciones en el corto plazo o las actividades de mantenimiento que por lo general no resulta dramática. Generalmente aceptada como uno de los costos del negocio. Ejemplo: fallas en rodamientos, sellos, correas, engranajes, sistema de control, etc.

El nivel de “operación aceptable” por lo general se cumple a pesar de estas fallas. La eliminación de fallas crónicas llevará las operaciones regulares al punto máximo de una operación normal aceptable y elevará el nivel promedio esperado del desempeño.

Una falla esporádica es por lo regular una falla repentina, dramática e inesperada que algunas veces lleva todo el proceso a detenerse. Están por fuera del rango normal, con frecuencia, es altamente visible dentro de la Unidad de Negocios o de la compañía. Por lo general tiene un costo muy alto en dinero y se adelanta una investigación formal o informal de la causa.

Generalmente, la eliminación de una falla esporádica llevará las cosas de nuevo a un rango aceptable. Los ejemplos más visibles de Fallas Esporádicas: fugas importantes en el proceso, explosiones, incendios, incidentes ambientales graves, muertes o lesiones

graves, paradas de emergencia, etc. En ocasiones también califican las fallas de equipo únicas. En el caso de falla crónica y esporádica se debe poder clasificar dentro de la matriz de riesgos empleada por la compañía, y así poder evaluar el tipo de daño o evento sucedido.

Los pasos básicos y claves en desarrollo de un análisis de causa raíz son los siguientes:

PASO 1. RESPONDER A UN INCIDENTE Y CONSERVAR LA EVIDENCIA

Responder: Lo primero que se debe atender son los resultados del evento de falla. La más alta prioridad son la atención al personal lesionado y el poner las instalaciones en una condición segura.

Conservar la evidencia: Al igual que en la escena de un crimen, la evidencia durante y después de una falla comenzará a desaparecer con el tiempo. Una obtención de evidencia es especialmente crucial con las fallas esporádicas, puesto que el equipo solamente tiene una oportunidad para obtenerlas.

Dependiendo de la magnitud del problema, puede ser mejor despejar el área hasta que se haya recogido toda la evidencia, sin iniciar reparaciones hasta que se haya terminado la investigación. Esto se puede hacer, por ejemplo, después de un caso de muerte o de incendio grave. De otra parte, la recolección de las pruebas de fallas crónicas se puede realizar simultáneamente con la realización de las reparaciones, pero se debe organizar apropiadamente.

Para obtener un buen inicio en el análisis de causa raíz se deben conservar la siguiente evidencia:

❖ PARTES

Para fallas esporádicas, se debe acordonar el área según sea lo necesario, de manera que la evidencia no se manipule, mueva, “pierda”, etc... Se congela el área hasta que se haya recogido toda la información conocida.

Para fallas crónicas (y fallas en las que las partes puedan ser ocultadas, tal como sucede en el caso de un motor), la evidencia se debe recoger cuidadosamente puesto que ya se han iniciado las reparaciones. Un miembro del equipo investigador debe ser testigo del momento en que se descubre la evidencia siempre que sea posible.

❖ POSICION

Las posiciones de todas las partes y otras evidencias se deben fotografiar o filmar en video, siempre que sea posible. Se deben hacer diagramas mostrando lo que se encontró y donde, con orientación y distancias desde un punto fijo de referencia.

La ubicación de las válvulas, interruptores, indicadores, personas, equipo, se deben anotar. Las condiciones del tiempo y ambientales (incluyendo iluminación, niveles de ruido y clima) y los aspectos de “orden” también se deben anotar.

❖ PERSONAS

Las entrevistas se deben realizar individualmente, poco después de que haya ocurrido un evento y antes de que los testigos conversen entre ellos, siempre que sea posible. Los testigos oculares que estuvieron involucrados antes o durante el evento de falla algunas veces constituyen la evidencia más frágil. Las entrevistas pueden incluir a los operadores de campo o abordó, mecánicos, supervisores, bomberos, etc.

Recuerde, la idea no es la de asignar culpas, sino la de determinar los hechos para el posterior análisis de la causa raíz. Las entrevistas NO se deben efectuar a título de “cacería de brujas”.

❖ PAPELES

El papel también puede ser una forma frágil de evidencia. Por consiguiente, también se debe recopilar muy pronto después de ocurrida una falla. Esto se aplica a aspectos tales como las tendencias de las condiciones del proceso en el computador (temperaturas, presiones, flujos, niveles) y tendencias de vibración. Otras formas de papel incluyen las impresiones de las alarmas, libros de registro, cuadros, procedimientos operativos (incluyendo arranque y parada), instrucciones operativas estándar, hojas de instrucción diaria, notas de trabajo, planos del sitio, el P&ID o diagramas de flujo del proceso, dibujos y procedimientos de montaje del equipo, registros de mantenimiento y entrenamiento, resultados de prueba de laboratorio, registros de inspección, etc.

PASO 2. ORGANIZAR EL GRUPO DE RCA

Equipo interfuncional de RCA: La conformación del equipo variará dependiendo de la falla que se esté analizando y puede variar desde tres a ocho personas y contar con recursos externos adicionales. Entre los miembros regulares de un equipo se pueden incluir operador, técnico, supervisor, ingeniero, metalúrgico, inspector, diversos especialistas, proveedores, etc. Al menos una persona del equipo debe ignorar los eventos de la falla y actuar como crítico constructivo o abogado del diablo, con respecto a una de las teorías y posibilidades que surjan de la tormenta de ideas. Se debe promover el pensamiento no encasillado. El equipo debe determinar su misión y lo que desean lograr.

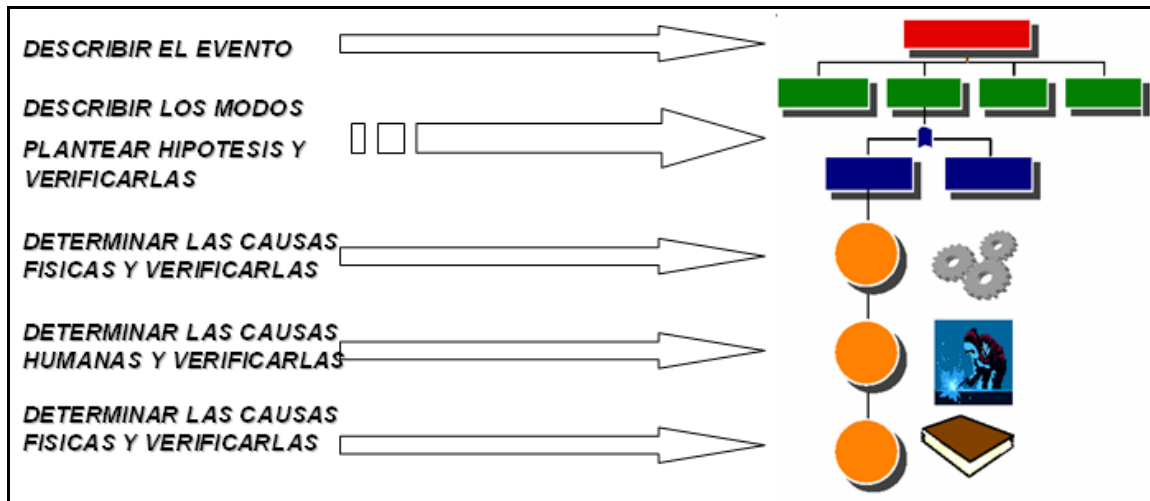
PASO 3. REALIZAR ANÁLISIS DE FALLA Y VALIDAR HIPÓTESIS

Metodología disciplinada que permite identificar las causas físicas, humanas y latentes de cualquier tipo de evento, falla o incidente que podría ocurrir o que ocurre una o varias veces permitiendo adoptar las acciones correctivas que reduzcan los costos del ciclo de vida útil del proceso, mejora la seguridad, la calidad y confiabilidad de los activos permitiendo obtener una óptima Gerencia Integral del Activo.

PASO 4. COMUNICAR LOS RESULTADOS

Un informe formal por lo general ayuda a obtener compromiso de la gerencia a resolver las fallas concentrándose en las causas raíz determinadas en la investigación.

Figura 10. Niveles de una árbol lógico de falla



El costo de implementar los resultados se debe sopesar frente al costo de la falla (multiplicado por la frecuencia de la falla)

Generalmente se derivará un ahorro sustancial de la eliminación de las fallas recurrentes o fallas esporádicas de importancia mediante la implementación de las recomendaciones.

Los informes altamente técnicos deben incluir un resumen ejecutivo y un informe detallado. El resumen ejecutivo debe contener:

- ❖ La definición de la falla utilizada en el análisis.
- ❖ Una breve explicación de los principales factores que contribuyeron (modos y causas) y que condujeron a las causas raíz físicas humanas y del sistema.
- ❖ Las recomendaciones para cada una de las causas raíz físicas, humanas y del sistema que eliminarán o reducirán las consecuencias de la falla.
- ❖ “Los deseos” que no se relacionan con las causas raíz por lo general no se deben incluir en el informe.
- ❖ El costo por año de la falla y el costo de implementación.
- ❖ Este informe puede estar firmado por el equipo de RCA o por el facilitador.

PASO 5. SEGUIMIENTO A LAS RECOMENDACIONES

Las recomendaciones se deben implementar de manera que resulte efectivo el mejoramiento continuo. Esto implica proacción en lugar de reacción ante la próxima falla.

El seguimiento de los resultados es por lo general el aspecto más ignorado en el proceso RCA y es uno de los más importantes.

Los sistemas de seguimiento se deben colocar en sitio visible e incluir puntos tales como:

- ❖ Lista de recomendaciones que hayan sido aprobadas.
- ❖ Lista de personas asignadas a cada punto de acción.
- ❖ Mostrar las fechas estimadas de completamiento y su estado actual.

Publicar los éxitos y mostrar los ahorros netos. Buscar un campeón (preferiblemente un miembro influyente de la gerencia) quien asegure que se retiren los obstáculos del camino con miras al éxito del RCA

2.4.2 Análisis de modos y efectos de falla FMEA

Tradicionalmente, la confiabilidad se ha alcanzado con la prueba y el uso extenso de técnicas tales como modelamiento de la confiabilidad. Éstas son técnicas hechas en las últimas etapas del desarrollo de los equipos.

El análisis de los modos y de los efectos de falla (FMEA) es metodología para analizar problemas potenciales de la confiabilidad temprano en el ciclo de desarrollo donde está más fácil tomar acciones para superar estas ediciones, de tal modo realizando confiabilidad con diseño. El análisis de los modos y de los efectos de falla (FMEA) se utiliza para identificar modos de fallo potenciales, para determinar su efecto sobre la operación del producto, y para identificar acciones para atenuar las faltas.

Un paso crucial está anticipando qué pudo ir mal con un producto. Mientras que anticipar cada modo de fallo no es posible, el equipo del desarrollo debe formular una extensa lista de los modos de fallo potenciales como sea posible. El uso temprano y constante del análisis de modos y efectos de falla (FMEA) en el proceso del diseño permite que el ingeniero diseñe fuera de faltas y produzca productos agradables confiables, seguros, y del cliente. El análisis de modos y efectos de falla (FMEA) también captura la información histórica para el uso en la mejora futura del producto.

Hay varios tipos de análisis FMEA, algo se utiliza mucho más a menudo que otros. FMEA debe ser hecho siempre que las faltas significaran daño o lesión potencial al usuario del artículo del extremo que es diseñado. Los tipos de FMEA son:

- ❖ Sistema - focos en funciones globales del sistema
- ❖ Diseño - focos en componentes y subsistemas
- ❖ Proceso - focos en procesos de la fabricación y de ensamblajes
- ❖ Servicio - focos en funciones del servicio
- ❖ Software - focos en funciones del software

El uso del análisis FMEA en los ingenieros ha hecho el buen trabajo de evaluar las funciones y la forma de productos y de procesos en la fase del diseño. No han hecho siempre tan bien en diseñar en confiabilidad y calidad. El ingeniero utiliza factores de seguridad como manera de cerciorarse de que el diseño trabajará y protegió a menudo a usuario contra producto o falta del proceso.

Según lo descrito un factor de seguridad grande no traduce necesariamente a un producto confiable. En lugar, conduce a menudo a re-diseño del producto con problemas de la confiabilidad. El análisis FMEA provee al ingeniero una herramienta que pueda asistir el abastecimiento confiable y seguro, los productos agradables y los procesos del cliente.

Un grupo de análisis desarrollan los métodos y los procedimientos para desarrollar y para probar el producto/proceso para asegurarse de que las faltas se han eliminado con éxito. Sigue y maneja los riesgos potenciales en el diseño.

Figura 11. Análisis modos y efecto de falla FMEA

ELABORADO POR:	CONFIPETROL	EQUIPO:	MOTOR A GAS	FUNCION:	Generar movimiento rotativo
FECHA:	JUNIO 20 DE 2006	SISTEMA:	LUBRICACION	FUNCION:	Lubricar partes en movimiento
REVISADO POR:		SUB-ENSAMBLE:		FUNCION:	

COMPONENTE	MODO DE FALLA		CAUSA DE FALLA		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA Y SINTOMA	VALORACION FMECA			TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	
	FUNCION	CODIGO	DESCRIPCION	CODIGO			DESCRIPCION	SEVERIDAD	OCURRENCIA			DETECCION
Intercambiador de Calor (Casco y tubos)	LOO	Baja Eficiencia	PLU	Obstrucción de Tuberías	Mal funcionamiento	Por Operaciones	5	5	4	100	Realizar monitoreo de Temperatura del aceite a la entrada y la salida.	Diariamente
											Aplicar inhibidor de corrosión al sistema de refrigeración	Trimestral
			Realizar Flushing en las tuberías.	Ei anual								
			Aplicar inhibidor de corrosión al sistema de refrigeración	Trimestral								
			BKG	Rotura de Tubos	Parada del equipo	Por Operaciones	7	3	6	126	Toma de muestras y Análisis Físico-Químico del Aceite	Mensual
BOMBA DE ACEITE	LOO	Baja Eficiencia	VER	Desgastes anormales en dientes de piñones o placa ajuste axial	Mal funcionamiento	Por Operaciones	7	5	6	210	Monitoreo de Presión y Temperatura de Aceite	Diariamente
			OTH	Desajuste valvula de control de presión	Mal funcionamiento	Por Operaciones	7	5	6	210	Ajustar y/o calibrar valvula de control de presión de aceite	Ei anual
	VIB	Alta Vibración	VER	Desgastes anormales en rodamientos	Mal funcionamiento	Por Operaciones	7	5	5	175	Monitoreo de Vibraciones en Rodamientos y	Mensual

2.4.3 Optimización de mantenimiento preventivo PMO

El departamento de mantenimiento tiene uno de los mayores costos operativos controlables en la industria intensiva en capital. Es a su vez, una función crítica del negocio que impacta sobre el riesgo comercial, volumen de producción, calidad de producción, costos operacionales, seguridad y riesgo medioambiental. Por eso el mantenimiento, es visto, en organizaciones líder, no sólo como un costo que debe ser evitado, sino en conjunto con la Ingeniería de Confiabilidad, como una función impulsora de los negocios. Está considerado como un aporte valioso asociado al negocio, que contribuye a la productividad de los activos y al mejoramiento continuo del desempeño de los mismos.

El dilema que la mayoría de nosotros encaramos (y normalmente, no es de nuestro entorno de responsabilidades); consiste en que somos gestores, que aisladamente debemos mejorar la confiabilidad, dentro de organizaciones que escasamente disponen de recursos suficientes para mantener las plantas en funcionamiento. En este caso, los escasos recursos de mantenimiento son racionados y las fallas los consumen. El mantenimiento preventivo se lesiona, resultando inevitablemente en una mayor frecuencia de fallas, generando un círculo vicioso.

Adicionalmente, a la pérdida de productividad debido a un mantenimiento no planificado, la mentalidad de reparar rápidamente promueve un “mantenimiento apaga incendios”, o mantenimiento temporal, que comúnmente agrava la situación. Las reparaciones temporales requieren trabajo adicional para su corrección definitiva, o en el peor de los casos, fallan antes de ser corregidas.

A menudo el esfuerzo de bajar costos, se recurre a reducciones de personal, con lo que declina la moral, el personal restante se deja consumir por la desesperación y tensión, conduciendo a una baja de los estándares del trabajo. El círculo vicioso gradualmente se alimenta a si mismo llevando a las organizaciones a ser casi totalmente reactivas.

Figura 12. Circulo vicioso del mantenimiento



Hoy en día, los gerentes de activos exitosos, son aquellos que rompen el círculo vicioso, logrando mejorar el proceso de mantenimiento e incrementando la productividad de los activos y del recurso humano. Existen estudios desarrollados por Dupont que dan recomendaciones para resolver el conflicto, aparte de buscar formas para realizar cambios culturales, los gerentes de activos deben enfocarse en áreas claves, como:

- ❖ Desarrollo de políticas de mantenimiento reales y bien enfocadas
- ❖ Mejorar la planeación y la programación del mantenimiento bajo políticas revisadas
- ❖ Enfocar los esfuerzos en la eliminación de las fallas repetitivas

La Tabla 5 muestra como DuPont ha modelado el efecto de varias estrategias de mantenimiento a la disponibilidad de una planta en operación. Estrategia de Mantenimiento y porcentaje (%) de cambio de disponibilidad La tabla muestra diferentes estrategias de mantenimiento y sus efectos en la disponibilidad de una planta. Tomado de Manufacturing Game – (Ledet 1994) www.manufacturinggame.com

Tabla 5. Porcentajes de cambio según estrategias

Estrategia de Mantenimiento	%Cambio Disponibilidad	Disponibilidad
Reactivo		83,5%
Solo Planeación	+ 0,5%	
Solo Programación	+ 0,8%	
Solo Preventivo / Predictivo	- 2,4%	
Las tres estrategias	+ 5,1%	88,6%
Mas eliminación de fallas (RCA)	+14,8%	93,3%

El análisis de DuPont muestra que una empresa enfocada únicamente en mejorar la planeación, su disponibilidad mejorara en un 0,5%. Si sólo se enfoca en la programación de mantenimiento, la disponibilidad mejorara en un 0,8%. Si sólo se orienta hacia el mantenimiento preventivo y predictivo, la disponibilidad disminuirá 2,4% debido a exceso de mantenimiento. Si la organización trabaja en los tres aspectos, habrá una mejora del 5.1% en la disponibilidad.

El problema más común con los programas de mantenimiento de las plantas maduras que no fueron diseñados solidamente desde un principio, es que entre el 40% y 60% de las tareas de Mantenimiento Preventivo hacen muy poco por el desempeño de la planta (Moubray 1997). Las conclusiones de varios estudios de PMO Optimización de planes de mantenimiento son:

- ❖ Existen tareas duplicadas
- ❖ Algunas tareas se hacen muy frecuentemente y otras muy tarde
- ❖ Algunas tareas no generan beneficios
- ❖ Algunas tareas son intrusivas o basadas en overhauls, cuando deberían ser basadas en condición
- ❖ Se presentan muchas fallas que son costosas y fácilmente prevenibles

Dentro del diseño estratégico de mantenimiento para los sistemas de generación se realizara la revisión de la estrategia de mantenimiento desarrollada durante los últimos meses y se realizaran los respectivos ajustes y modificaciones según la metodología empleada por el subproceso de PMO:

Paso 1 Recopilación de Tareas

Se realizara la recopilación de las tareas de mantenimiento preventivo desarrolladas en el último año por parte del grupo de operación y mantenimiento.

Paso 2 Análisis de Modos de Falla (FMA)

Se crearan grupos de trabajo donde se analicen cuales tareas de mantenimiento atacan los diferentes modos de falla.

Paso 3 Racionalización y Revisión del FMA

Se realiza el ordenamiento de los diferentes modos de falla analizados y se completan con tareas de mantenimiento aquellos modos de falla que no los tengan con el apoyo de instructivos técnicos.

Paso 4 Análisis Funcional (Opcional)

Este Paso es opcional y se justifica en caso de que se deban realizar análisis a equipos y componentes bastante críticos o muy complejos, en donde es esencial el entendimiento detallado de todas las funciones del equipo.

Paso 5 Evaluación de Consecuencias

En este Paso cada modo de falla es analizado para determinar si las fallas son ocultas o evidentes. Para aquellas fallas evidentes se realiza un análisis de riesgos y consecuencias operacionales.

Paso 6 Definición de la Política de Mantenimiento

La filosofía moderna de mantenimiento se basa en la premisa que los programas de mantenimiento exitosos se enfocan más en las consecuencias de las fallas que en los activos en si. En este Paso, cada modo de falla es analizado bajo los principios del mantenimiento.

Paso 7 Agrupación y Revisión

Una vez el análisis de las tareas haya finalizado, el equipo de trabajo establece el método más eficiente y efectivo para administrar el mantenimiento de los activos teniendo en cuenta limitantes de producción y otros. En este paso es posible que haya transferencia de responsabilidades en la ejecución de las tareas de PM entre los especialistas de mantenimiento y los operadores para lograr eficiencia y ganancias en producción

Paso 8 Aprobación e Implementación

El resultado del análisis se presenta a la alta dirección para su revisión y comentarios.

Paso 9 Programa Dinámico

Durante el desarrollo de los Pasos 1 al 9, el proceso de PMOptimisation ha establecido una estructura racional y costo efectivo de PM. En el "Programa Dinámico", el plan de PM se consolida y se toma control de la planta, cuando se reemplaza el mantenimiento reactivo por uno planeado. De este punto en adelante el mejoramiento puede acelerarse fácilmente y los recursos que se liberan pueden enfocarse a corregir defectos de diseño o limitaciones inherentes a la operación.

Durante este paso, varios de los procesos vitales de la Gestión de los Activos pueden afinarse mientras la rata de mejoramiento se acelera. Estos procesos son:

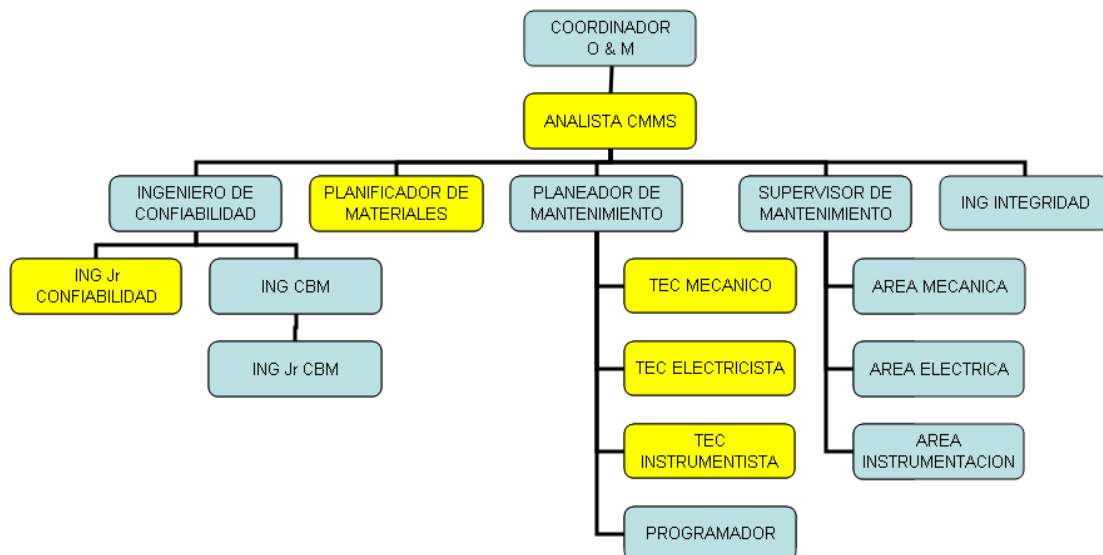
- ❖ Estrategia de Producción y Mantenimiento
- ❖ Medición de Desempeño
- ❖ Reportes y Eliminación de Fallas
- ❖ Planeación y Programación
- ❖ Gestión de Inventarios
- ❖ Workshops y Prácticas de Mantenimiento

3. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

3.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICA

Para el desarrollo de este proyecto se implementó una metodología de trabajo que básicamente consistió en el levantamiento de información en sitio de los equipos, comparación de información recolectada en campo con la existente en el sistema de información, consecución de catálogos faltantes en Internet y con los proveedores, búsqueda de información faltante de los Data Sheet en catálogos, recopilación de información de repuestos en catálogos e Internet, verificación de rutinas de mantenimiento en catálogos y comparación con la información existente en el sistema de información.

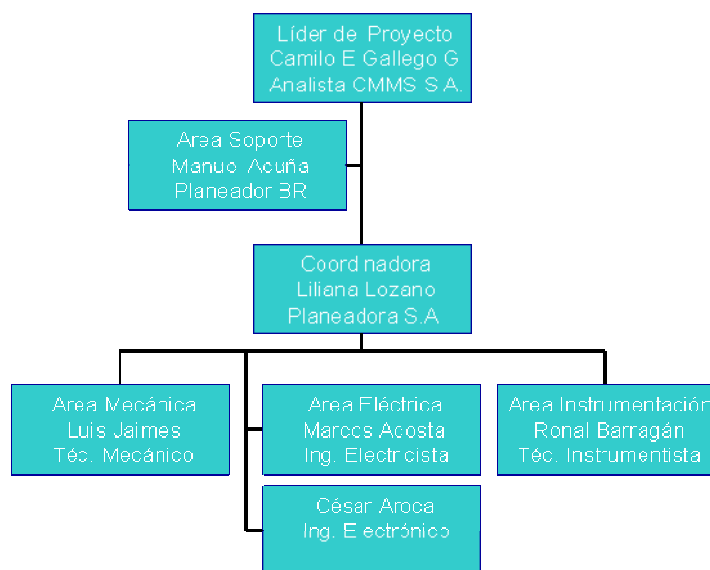
Figura 13. Organigrama general del proceso de mejoramiento de la información.



Para la recolección de la información en campo se diseñaron formatos específicos por cada clase de equipo, es decir, un formato para levantamiento de información de motores a gas, uno para el generador eléctrico, uno para válvulas, instrumentos, etc., todo con el fin de mejorar la jerarquización de los equipos en el sistema de información y así poder efectuar en el futuro una trazabilidad de componentes y generar planes de mejora puntuales.

Adicionalmente, se contó con la colaboración de personal técnico para efectuar esta labor, a quienes se les explicó claramente cuáles eran sus roles y sus responsabilidades en este proyecto. En la figura siguiente se observa el organigrama planteado para esta fase del proyecto.

Figura 14. Organigrama fase 1 levantamiento de la información en campo.



- 3.1.1 Área mecánica. En el área mecánica se realizó el levantamiento de los Data Sheet de los motores a gas Waukesha P9390G, se realizó todo el levantamiento de repuestos y se consiguieron catálogos y manuales. (Anexo A.)
- 3.1.2 Área eléctrica. En el área eléctrica el levantamiento de información se realizó a los generadores eléctricos Kato y al tablero de control Waukesha Control. De igual forma se consiguieron catálogos y se realizó el levantamiento de repuestos. (Anexo B.)
- 3.1.3 Área de instrumentación y control. Siendo una parte muy importante del equipo, se hizo énfasis en el levantamiento de información de esta área, además que era el área de la que menos datos se tenía. La información recolectada fue la de las válvulas SLV, reguladores Fisher PRV, transmisor de presión Wika, sensores de alarma por vibración y sobre velocidad, switch de nivel y temperatura, e instrumentación del scrubber de gas como interruptores de presión y reguladores de entrada de gas. (Anexo C.)

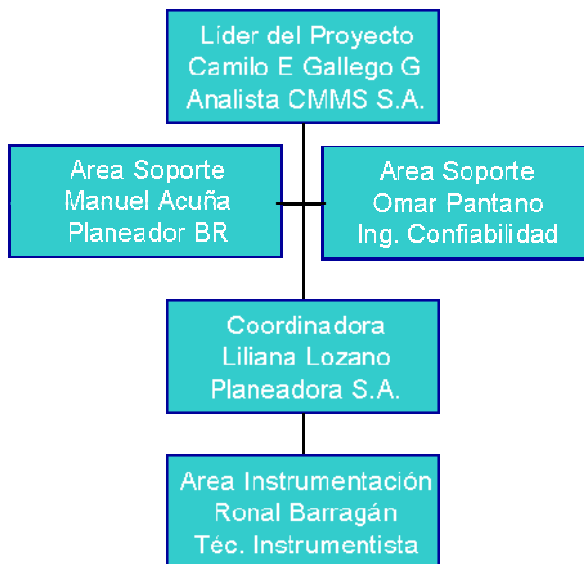
3.2 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN

Toda la información recolectada por los técnicos, fue revisada, analizada y validada por el personal seleccionado para ello (Figura 15.), se adecuó en un formato diseñado para solicitar el cargue de dicha información al sistema de información (Anexo D.)

3.2.1 Ingreso de la información al sistema de administración de mantenimiento CMMS.

Luego de la validación de la información, el equipo de trabajo mostrado en la figura anterior, cargó dicha información al CMMS, que para Petrobrás es SAP módulo PM (Plant Maintenance) A continuación copiamos imágenes emitidos por el software, con el seguimiento del cargue y una breve descripción del proceso.

Figura 15. Organigrama fase 2 revisión y validación de la información.



3.2.2 Creación del equipo en sistema de administración de mantenimiento CMMS

Todo equipo nuevo que sea instalado en las facilidades deberá ser creado en la funcionalidad Equipo, para que sea sujeto a actividades de mantenimiento, siguiendo el siguiente proceso.

Ejecute la transacción IE01

- Tipo de equipo: Haga clic en el Match Code y seleccione si es un equipo eléctrico, instrumento, mecánico ó electromecánico si es un equipo padre. (Enter)
- Denominación: Denominación del equipo en forma de texto breve, incluye clase de equipo, marca y tag.

Pestaña General

- Clase de Objeto: Haga clic en el Match Code y seleccione la clase de equipo, Ej. Generador eléctrico, Motor a gas, Tablero de control, etc.
- Fabricante: Nombre de la marca del equipo.
- Denominación. Tipo: Modelo del equipo.
- Fabricante. N°-serie: Serie del equipo.

Pestaña Emplazamiento

- Ce. Emplazamiento: Código asignado por Petrobras a cada uno de sus campos productores, Ej. Matachines C152.
- Área de Empresa: Código asignado por Petrobras para ubicar un Equipo de acuerdo al área a que pertenece, Ej. Generación a Gas GAG, etc. Haga clic en el match code y selecciónelo.
- Indicador ABC: Campo asignado para determinar la criticidad del equipo. Haga clic en el Match Code y selecciónela.

Figura 16. Pestaña general visualizar equipos en SAP

Visualizar equipo : General

Resumen clases PtosMedida/Contador

Equipo: 10000440 Tipo M MECANICOS
 Denominación Motor a Gas Waukesha del G-125B
 Status AEQS
 Válido de 18.09.2006 Validez a 31.12.9999

General Emplazamiento Organización Estructura

Datos generales
 Clase MOTOR_COMB_GAS Motor de Combustión a Gas
 Clase de objeto FM108 MOT. COMB. GAS
 N° inventario 01149 PstaEnServDesde

Datos de aprovisionamiento
 Valor adquis. 492.110.585 CDP Fecha adquis.

Datos de fabricación
 Fabricante WAUKESHA País productor US
 Denomin.tipo P9390G Año/Mes const. /
 Fabr. N°-serie C-94246-2

Figura 17. Pestaña emplazamiento visualizar equipos en SAP

Visualizar equipo : Emplazamiento

Resumen clases PtosMedida/Contador

Equipo: 10000440 Tipo M MECANICOS
 Denominación Motor a Gas Waukesha del G-125B
 Status AEQS
 Válido de 18.09.2006 Validez a 31.12.9999

General Emplazamiento Organización Estructura

Datos de emplazamiento
 Ce.emplazam. C152 Matachines Producción
 Emplazamiento 731 Area de Generadores Matachin Norte
 Area de empresa 646 Generación Gas
 Indicador ABC B Critico Producción
 Campo clasif.

Pestaña Organización

- Centro coste: Código asignado por Petrobras para definir a qué cuenta van los costos que incurran al realizar el mantenimiento. Haga clic en el Match Code y selecciónelo.
- Pto.tbjo.resp.: Haga clic en el Match Code y seleccione el puesto de trabajo responsable por ejecutar el mantenimiento de acuerdo al Tipo de Equipo; Ej. Mecánico MECA, Eléctrico ELEC. , Instrumentista INST.

- Perfil Catálogo: Código asignado a los Equipos de acuerdo a la norma ISO 14224, relacionado con la Clase de Equipo; Ej. Motores de Combustión a Gas CEGE, etc. Haga clic en el Match Code y selecciónelo.

Figura 18. Pestaña organización visualizar equipos en SAP

Pestaña Estructura


- Ubicación Técnica: Haga clic en el icono  de Mod.lug.montaje, para montar el Equipo en una Ubicación Técnica si es un Equipo Padre; si es un Equipo hijo digite el código SAP del Equipo Padre en la casilla de Equipo Superior.
- N° Identificación técnica: Digite el Tag que le fue asignado al Equipo.

Figura 19. Pestaña estructura visualizar equipos en SAP

Equipo	S...	Denominación	Categ equi...	Fabricante	De
40003553	<input type="checkbox"/>	Valvula SLV-01 MG-125B	FM016	ASCO	
40003554	<input type="checkbox"/>	Valvula SLV MG-125B	FM123	PARKER S...	
40003555	<input type="checkbox"/>	Regulador Fisher PRV MG-125B-HL	FM016	FISHER CO...	S21
40003556	<input type="checkbox"/>	Regulador Fisher PRV MG-125B-HR	FM016	FISHER CO...	S21
40003557	<input type="checkbox"/>	Transmisor de Presión PT G-125-B	FM016	WIKA	84-

Figura 20. Visualizar componentes asociados al equipo

Visualizar equipo: Lista de estructura

Nivel hacia arriba Detalles completos Clases de material

Equipo	10000440	Válido de	23.04.2008
Denominación	Motor a Gas Waukesha del G-125B		
10000440	Motor a Gas Waukesha del G-125B		
37	Componente Motor Waukesha L7042GS1	I	1,00 PZA
40	Componente Motor Waukesha L5790GS1	I	1,00 PZA
42	Componente Motor Waukesha P9390 6SI	I	1,00 PZA
13701	O-Ring, Turbo ABB, RR 180-4, PN 94009	L	1,00 UND
11151	Bomba, Agua, Auxiliar P/N 169561 J.L	L	1,00 PZA
11158	Piñon, Impuls, Magneto, Waukesha, PN 169839	L	1,00 PZA
11157	Buje, Tapa, Bomba aceite, PN 169806A	L	1,00 PZA
11156	Retenedor, Bola, Balancin, PN 169690B	L	1,00 PZA
11155	Inserto, Brazo balancin, PN 169669A	L	1,00 PZA
11154	Rodamiento, Esf, Magneto, PN 89641 (6203)	L	1,00 PZA
11144	Válvula, Svias, Bomba pré-lub, PN 209223A	L	1,00 PZA
11152	Empaque, Mariposa adms, PN 169568A	L	1,00 PZA
11162	Enfriador, Completo P/N 169960E	L	1,00 PZA
11150	Interruptor, Ignición, Magneto, PN 69504A	L	1,00 PZA
11149	O-ring, Sup, Camisa cilindro, PN 1193976	L	1,00 PZA
11148	Adaptador, Magneto, Comp1, PN E199390	L	1,00 PZA
11147	Empaque, Tapa, Accion, magneto, PN 199389A	L	1,00 PZA
11146	Elemento Filtrante, Aire, PN 209364	L	1,00 PZA
12798	Pasador, Guia, Polea, Waukesha, PN 26547	L	1,00 PZA
11153	Espaciador, Rodaa, Bomba agua, PN 159576A	L	1,00 PZA

Adicionalmente a las anteriores pestañas, SAP posee la opción de ingresar datos técnicos del equipo (Figura 21), crear puntos de medida para llevar tendencias de las variables operacionales del equipo (Figura 22.)

Figura 21. Visualización datos técnicos del equipo

Visualizar equipo : Clasificación

Objeto
Equipo: 10000440 Motor a Gas Waukesha del G-125B
Categoría clase: 602 Clase de equipo

Asignaciones

Clase	Denominación	Cla.	S.	tc.	Pos
MOTOR_COMB_GAS	Motor de Combustión a Gas	✓	1	✓	10

Entrada 1 / 1

Val. de Clase MOTOR_COMB_GAS - Objeto 10000440

General

Denom. característica	Valor
AJUSTE CARBURADOR	
ALTITUD LIMITE	1.148 PIE
COMBUSTIBLE	GAS NATURAL
FACTOR DE SERVICIO	
LUBRICANTE	PE GASUS 305 MOBIL
MODELO	P9390G
RELACION	10 A 1
RPM	
RPM MAX	1.200 RPM
RPM MIN	

Inconsistencia

Figura 22. Visualización puntos de medida del equipo

The screenshot shows a software window titled "Visualizar puntos de medida: resumen". At the top, there are navigation tabs: "Planes de mantenimiento" and "Documentos de medición", with "Ultimo docum.medid" selected. Below the tabs, the equipment details are displayed: "Equipo: 10308448" and "Denominación: Mulur a Gas Waukesha del 0-125B".

The main content is a table titled "Puntos de medida" with the following columns: "PtoMedida", "Posición de medida", "Tp.", "Nombre caract.", "Gr.cód.", "T", "Contador", and "Unidad". The table lists 11 measurement points with checkboxes in the "PtoMedida" column.

PtoMedida	Posición de medida	Tp.	Nombre caract.	Gr.cód.	T	Contador	Unidad
<input type="checkbox"/> 1612		M	VACIO				INH2O
	Vacio L en pulgadas de agua		PTO-MED		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 1613		M	VACIO				INH2O
	Vacio R en pulgadas de agua		PTO-MED		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 1614		M	PRESION_DE_TRABAJO				PSI
	Presion de aceite motor		PTO-MED		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 1615		M	PORCENTAJE				%
	Nivel de tanque de reposicion		PTO-MED		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 1616		M	PORCENTAJE				%
	Nivel de liquido Refrigerante		PTO-MED		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 1617		M	GENERAL				Unidad
	Viscosidad 40°C, cSt		PTO-MED		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 1618		M	TEMPERATURA_DE_TRABAJO				°F
	Temperatura main bearing		PTO-MED		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 1619		M	TEMPERATURA_DE_TRABAJO				°F
	Temperatura refrigerante cooler		PTO-MED		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 1620		M	TEMPERATURA_DE_TRABAJO				°F
	Temperatura de aceite		PTO-MED		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

3.3 PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

Para una optima estrategia de mantenimiento se debe tener presente la planeación de las actividades porque ello incurre en menor consumo de horas hombre, disminución de inventarios, menor tiempo de parada de equipos, ahorro en costos, entre otras.

Por estrategia podemos entender como los métodos a emplear en un horizonte de mediano o largo plazo para alcanzar los resultados esperados, y Planeación estratégica son los programas, subprogramas y proyectos orientados hacia el logro de los objetivos corporativos.

3.3.1 Niveles de mantenimiento

Según el enfoque sistémico que se le quiere dar a mantenimiento, el área de generación no es ajeno a dicho enfoque, por tal razón, queremos evidenciar cómo logramos implementar estos niveles al momento de mejorar la estrategia de mantenimiento de los equipos de este sistema.

Nivel 1. Instrumental. Abarca todos los elementos físicos y de procedimientos que requiere el personal para efectuar las actividades de mantenimiento de los equipos de generación. Para ello se elaboro un plan detallado con entregables, responsables y fechas de cumplimiento para el levantamiento en campo de los Data Sheet de cada equipo, jerarquizando los equipos hasta los componentes del mismo; definiendo los procedimientos de mantenimiento por frecuencias y equipos, elaborando el listado de repuestos requeridos por cada mantenimiento y por cada área de trabajo, mecánica, electricidad e instrumentación.

Nivel 2. Operacional. Este nivel comprende las acciones hechas en los mantenimientos y partimos de los procedimientos elaborados por los técnicos que se destinaron para tal fin y se han ido adecuando con respecto a las sugerencias emitidas por el personal.

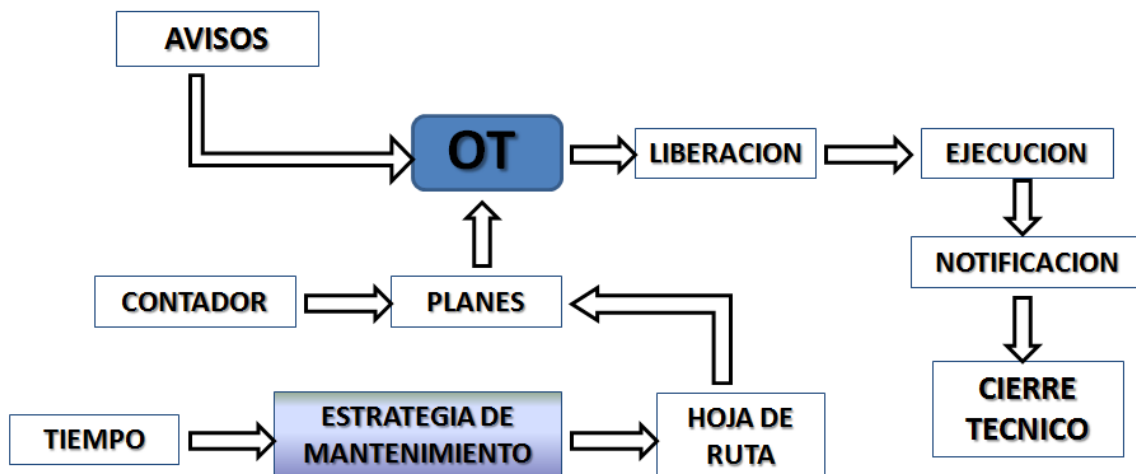
Nivel 3. Táctico. En este nivel podemos definir grupos de tareas de mantenimiento que se realizan con un fin claro y para ello se estipuló una matriz donde se muestra las técnicas a aplicar a los motores a gas para llevar su mantenimiento basado en su condición.

Nivel 4. Estratégico. En este nivel desarrollamos metodologías tendientes a medir y evaluar el éxito logrado con las técnicas propuestas, como indicadores de Disponibilidad y Confiabilidad de los equipos, indicador de acertividad de las técnicas. Con ellos se quiere dejar la base para poder realizar FMECA's y modelamiento de confiabilidad.

3.3.2 Modelos de gestión

Petrobrás, en el Campo Matachines había implementado como estrategia de mantenimiento para los motores a gas efectuar Mantenimiento Preventivo de acuerdo a lo especificado por el fabricante, es decir, cambios de aceite a las 1000H con las actividades que conlleva. Este mantenimiento era generado por un CMMS donde se especificaba las actividades a realizar pero no incluía repuestos asociados a él. Estos eran solicitados a bodega por experiencia de los técnicos. El flujo de la orden de trabajo típica se observa en la Figura 23.

Figura 23. Flujo de la orden de trabajo



El software posee un módulo llamado de "Avisos" en donde se reporta las Actividades Correctivas que se le realizan a los motores a gas y con los que también posteriormente se podrán calcular los indicadores de Disponibilidad y Confiabilidad, porque allí se puede registrar las paradas de los equipos, tanto, programadas como no programadas.

Revisando el histórico de los motores a gas ubicados en Matachín Norte, encontramos una base de datos pobre en información por lo que nos llevó a plantear esta Estrategia de mantenimiento, comenzando con la recolección en campo de los datos de placa; en catálogos, manuales e Internet, si fuere necesario, datos nominales de operación, listado

de repuestos y Check List por cada mantenimiento, enfocando nuestro proceso siempre a una mejora continua.

Se empezaron a llevar tendencias a las condiciones del aceite analizado en laboratorio y de allí surge la recomendación de ampliar la frecuencia del cambio de aceite y lógicamente del mantenimiento a las 1250H, iniciando una nueva etapa del mantenimiento basado en condición.

Teniendo la información más completa de los equipos y el aval para el incremento de la frecuencia del aceite se procedió a realizar los cambios en el CMMS para que así se pudiera implementar la nueva Estrategia.

3.3.3 Programa mantenimiento preventivo

Se presenta una propuesta de extensión de operación y uso de aceite lubricante MOBIL PEGASUS 805 utilizado en los motores WAUKESHA de los generadores del campo Matachines. Para ello se propone iniciar una prueba piloto al generador G-125A, recomendado por la asesoría técnica del distribuidor del lubricante de Exxon Mobil.

Se seleccionó el equipo G125-A por presentar un puntaje de 28.9 en el ranking de condición de CBM. Además se tuvo en cuenta ya que su intervención de TOP Overhaul fue realizado en Enero de 2008.

Se tuvo muy en cuenta también, para la selección de este equipo los últimos resultados de aceite y los históricos de falla en los últimos dos meses.

Para un periodo anual se realizarían 8.7 mantenimientos en frecuencias de 1000 horas, se realizarían 7 mantenimientos en frecuencias de 1250 horas y finalmente se realizarían 5.8 mantenimientos en frecuencias de 1500 horas a lo que se debe llegar para el 2009.

Es lógico, si se realiza el cambio de prolongación a un 50% de tiempo más (1500 horas) se disminuirían de 8 a 5 mantenimientos al año por cada equipo. Actualmente el campo Matachines cuenta con 4 equipos con motores a gas WAUKESHA lo cual nos representaría 12 mantenimientos menos al año.

Finalmente se presenta el cálculo de ahorro para este equipo en cuanto a cambio de aceite. Para motores a gas Waukesha de la serie P9390G se realiza un cambio de 165 galones de aceite lubricante por cada mantenimiento.

Según PM SAP los valores de cambio de aceite para el generador G-125A es de \$ 2.178.660 por mantenimiento por lo que el ahorro al año, con frecuencia de 1250 horas es de \$2.178.660, pero si ampliamos este cambio para este equipo a 1500 de uso del aceite en el 2009 tendríamos un ahorro de \$6.535.980.

3.3.4 Creación del plan de mantenimiento en el CMMS

Una vez se tiene la información correctamente elaborada y aprobada el Planeador de Mantenimiento, y el Ingeniero de Confiabilidad deben ingresar a SAP, al módulo PM y seguir los siguientes pasos para la creación del plan de mantenimiento preventivo:

- **PM:** Campo que se debe completar con el nombre de la PM, contiene un campo de descripción corto y un campo crear texto para una descripción más completa en caso de ser necesario. Estos campos se deben completar sin ellos SAP no procesara la información.
- **UBICACIÓN TÉCNICA:** Localización a la cual se le ha generado la PM, el sistema lo completará automáticamente.
- **EQUIPO:** Equipo al que se le ha generado la PM. Este campo es de carácter obligatorio sin él sistema no procesará, se debe buscar dando clic en el Match Code.
- **CLASE DE ORDEN:** Se debe escoger que tipo de OT se generará, si una preventiva MPV o una predictiva MPD.
- **PTO TRABAJO RESPONSABLE:** Indica el grupo de mantenimiento encargado de la PM. Completar este campo es de carácter obligatorio, sin él SAP no procesará la información.
- **PRIORIDAD:** Prioridad de la orden de trabajo por defecto la prioridad de un PM es 03 (Medio)
- **CLASE DE ACTIVIDAD:** El tipo de esta OT es 001 programado.
- **HOJA DE RUTA:** En la sección hoja de ruta de clic sobre los binóculos para seleccionar la hoja de ruta que se adapte a dicho plan, que puede ser:

Figura 24. Pestaña posición de mantenimiento

The screenshot displays the SAP PM Position Maintenance interface. At the top, there are navigation tabs: 'Resumen de posiciones', 'Posición', 'Lista objeto posición', 'Emplazamiento posición', and 'Llamadas...'. The 'Posición' tab is active, showing the position number '7686' and the description 'Mtto Pvo Motor a Gas G-125B'. Below this, there are several data entry sections:

- Objeto de referencia:** Includes 'Ubicación técn.' (UC-DCE-ES-VE-MAN-), 'Equipo' (10000440), and 'Corjunto'.
- Datos de planificación:** Includes 'Centro planif.' (C152 Matachines Producción), 'Clase de orden' (MPV Preventiva), 'Pto. bjo. resp.' (MECA / C152 MECANICOS), 'Prioridad' (medio), 'Grupo planif.' (6PM Mantenimiento en p), 'Clase actividad PM' (001 Programado), and 'Norma de liquidación'.
- Hoja de ruta:** Shows a table with columns 'Tp.', 'GrHRuta', 'CGrHR', and 'Descripción'. The first row is highlighted with a blue background, showing 'Mantto Pvo Motor a gas P0390G'.

Dentro del plan de mantenimiento se carga la hoja de ruta o Check List para dicho mantenimiento (Figura 25.), donde se evidencia también los tiempos a emplear el personal y los materiales o repuestos necesarios para cada operación a ejecutar en el mantenimiento (Figura 26.).

Figura 25. Hoja de ruta para el plan de mantenimiento preventivo

Visualizar instrucción: resumen operaciones

GrHRuta 239 Manito Pvo Motor a gas P9390G ContGrpoHR 4

Resumen general operación

Cp.	SOp	PuesTrab	Ce.	Ctrl	Descripción operación	T.	Tbio.	Un.	Ctd	Dur.	Un.
0302	MECA		C152	PM01	Mantenimiento Preventivo 1000H	<input type="checkbox"/>	0,0		0	0,0	
0304	MECA		C152	PM01	Mantenimiento Preventivo 2000H	<input type="checkbox"/>	0,0		0	0,0	
0306	MECA		C152	PM01	Mantenimiento Preventivo 4000H	<input type="checkbox"/>	0,0		0	0,0	
0307	MECA		C152	PM01	Mantenimiento Preventivo 8000H	<input type="checkbox"/>	0,0		0	0,0	
0310	MECA		C152	PM01	Diligenciar permiso de trabajo	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0	H	1	0,0	H
0315	MECA		C152	PM01	Lavar prefiltro de aire	<input type="checkbox"/>	0,0		0	0,0	
0320	INST		C152	PM01	Cambiar prefiltro de aire	<input type="checkbox"/>	0,0	H	1	0,0	H
0330	INST		C152	PM01	Limpiar/Cambiar filtro de aire	<input type="checkbox"/>	0,0	H	1	0,0	H
0340	MECA		C152	PM01	Cambiar lubricante	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0	H	1	0,0	H
0350	MECA		C152	PM01	Cambiar filtros de aceite	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0	H	1	0,0	H
0360	MECA		C152	PM01	Limpiar filtro Strainer	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0	H	1	0,0	H

Figura 26. Repuestos asociados al plan de mantenimiento

Instrucción PM Visualizar: Resumen componentes

GrHRuta 239 Manito Pvo Motor a gas P9390G ContGrpoHR 4

Operación 0235 **Cambiar kit de regulador de gas**

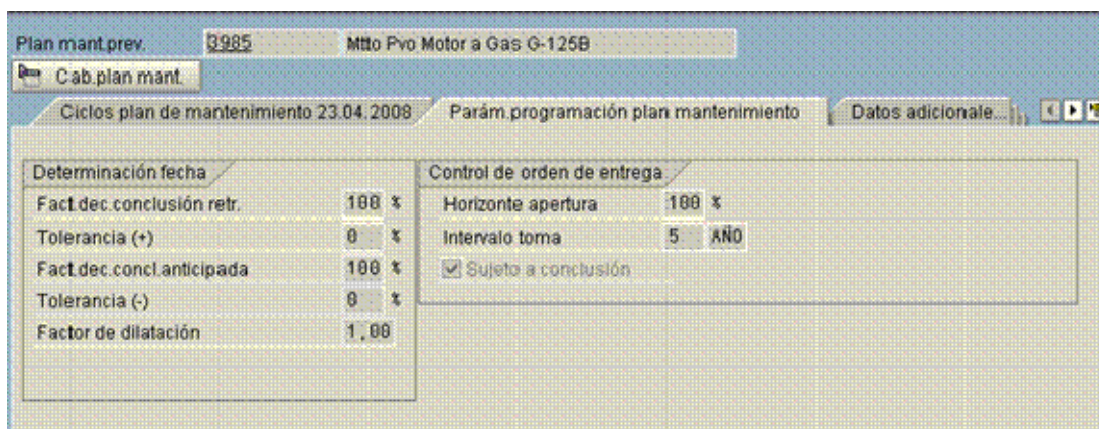
Selección componentes Catálogo

Asign. componentes

Material	Cantidad	UM	R.	R.	Den. componente
11136	2,000	PZA	<input type="checkbox"/>		Empaque,Carburador,Waukesha,PN 189905
11372	4,000	PZA	<input type="checkbox"/>		Diafragma,Carburador,Waukesha,PN 499222
17649	2,000	EA	<input type="checkbox"/>		Empaque,Carburador,Waukesha,PN 493646
23978	2,000	EA	<input type="checkbox"/>		Diafragma,Reg,Sist. gás comb,PN 499251

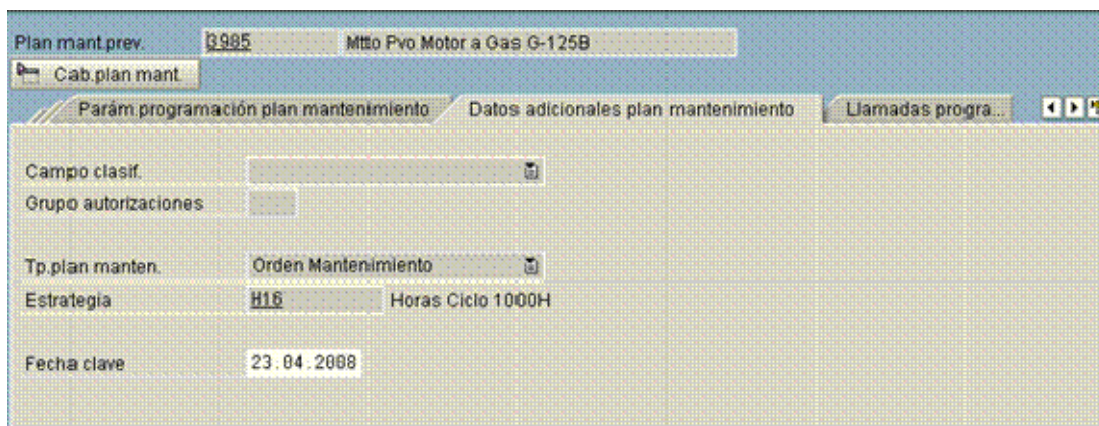
- En la pestaña parámetros programación plan de mantenimiento se debe seleccionar: sujeto a conclusión, lo que nos indica que el plan se dispara si la anterior intervención OT se ha cerrado.
- Intervalo de toma: campo que nos define en días hasta donde queremos proyectar nuestro plan de mantenimiento.

Figura 27. Parámetros de programación del plan de mantenimiento



- Fecha clave: se debe ingresar la última fecha de mantenimiento, la cual servirá como punto de partida para la programación del plan. Si es por tiempo o el horómetro del último mantenimiento si el plan es por horómetro (H), posteriormente le damos clic en el ícono disquete para guardar el plan.

Figura 28. Fecha de inicio del plan de mantenimiento



3.3.5 Programación del plan de mantenimiento.

Una vez creado el plan (Figura 29.), el sistema lo lleva a la pantalla de crear plan, en ella en el menú seleccione plan de mantenimiento preventivo y luego de clic sobre programar el último plan creado.

Estando en programar plan haga clic sobre el ícono iniciar, por default trae la fecha u horómetro incluido como último mantenimiento, de clic sobre aceptar y el sistema le proyecta el plan a un año. (Figura 30.)

Figura 29. Plan de mantenimiento creado

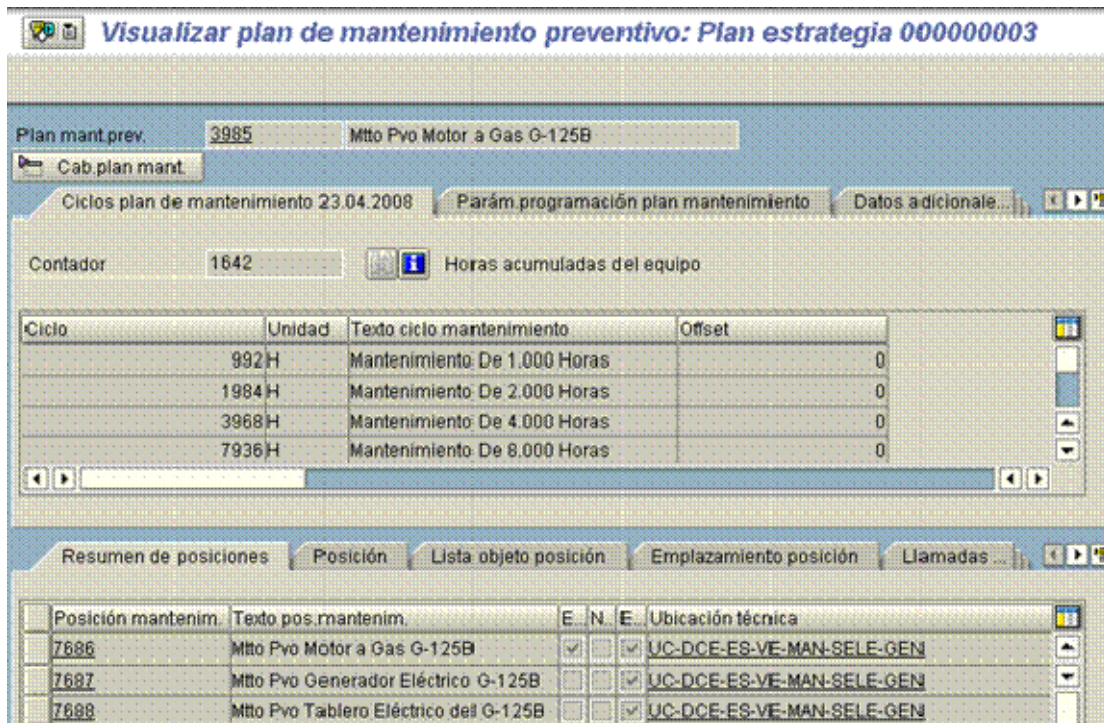
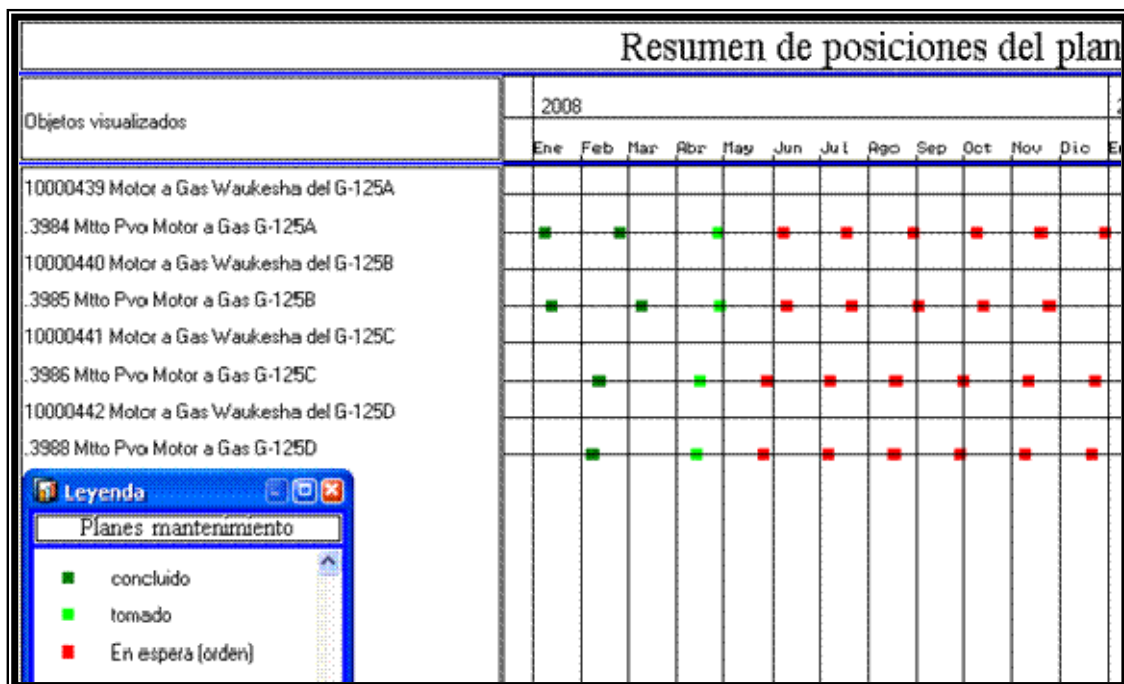


Figura 30. Proyección anual planes de mantenimiento de motores a gas



3.3.6 Rutinas de monitoreo

Para los equipos que conforman el sistema de generación eléctrica es necesario e indispensable el monitoreo continuo de condición tanto en motor recíprocante como en generador eléctrico. Dentro de las técnicas modernas de monitoreo de condición para esta clase de equipo se destacan:

- ❖ Análisis de vibraciones, ultrasonido y desempeño en equipo recíprocante mayor a través del equipo RECI-TRAP. La técnica de análisis de maquinaria recíprocante evalúa la condición por medio de capturas de vibración, ultrasonido, temperatura, presión e ignición, para así mediante el análisis de ondas en el tiempo y espectros en el dominio de la frecuencia, evaluar la condición de los componentes de la maquinaria.
- ❖ Análisis de vibraciones en equipo rotativo a través del equipo Commtest. Define los niveles de vibración dentro de los equipos rotativos utilizando espectros en el dominio de la frecuencia (FFT) y del tiempo.
- ❖ Termo grafías. Esta técnica utiliza una imagen térmica con la cual se identifican puntos de concentración de calor dentro de un componente.
- ❖ Análisis de aceites. Permite llevar un control, identificando el tipo de lubricante para cada máquina, y con este llevar tendencias sobre los niveles de desgaste (viscosidad, nitración, oxidación, partículas,...) y así evaluar el tiempo de vida útil del aceite. Este tipo de análisis se realiza con el apoyo de los resultados de laboratorio del proveedor de lubricantes.

A continuación se presenta las técnicas más apropiadas para el monitoreo de condición en equipos del sistema de generación eléctrica.

Tabla 6. Técnicas de monitoreo a equipos generación eléctrica

COMPONENTE	TECNICA CBM	FRECUENCIA
Motor a Gas (Equipo Recíprocante)	Análisis Físico-Químico de Aceite	Cada 350 horas
	Análisis Físico-Químico de Agua del Sistema de Refrigeración	Dependiendo de la calidad del agua suministrada. Agua con alto Cloruro, Impurezas, etc (15 días o 1 mes)
	Análisis de Datos Operacionales (DOP)	Seguimiento Diario
	Vibración Total	Si se cuenta con un Vibrotip portátil. Efectuar rutina semanales
	Vibración en FFT	Depende de la Frecuencia establecidas en el contrato. (Frecuencia máxima cada 8 semanas).
	Desempeño Recíprocante	Depende de la Frecuencia establecidas en el contrato. (Frecuencia máxima cada 8 semanas).
	Flujometría de Calor	Depende del grado de contaminación del medio donde opera el equipo. Frecuencia máxima cada 6 meses.
Generadores	Vibración en FFT	Depende de la Frecuencia establecidas en el contrato. (Frecuencia máxima cada 8 semanas).
	Resistencia del Bobinado.	(Frecuencia mínima cada 6 meses).
	Medición del Nivel de Aislamiento	(Frecuencia mínima cada 6 meses).
	Medición de Índice de Polarización.	(Frecuencia mínima cada 6 meses).
	RIC (Chequeo de la Influencia del Rotor).	(Frecuencia mínima cada 6 meses).
	Absorción Dieléctrica.	(Frecuencia mínima cada 6 meses).
	Termografías	(Frecuencia mínima cada 6 meses).

Fuente. Matriz CBM Distrito Espinal 2008.

4. SISTEMA DE INFORMACIÓN

La gestión de mantenimiento ha evolucionado en forma dinámica y permanente, hacer mantenimiento implica estar acorde con nuevos desarrollos tecnológicos y nuevos retos para los sectores industrial, comercial y de servicio. Los nuevos retos están asociados con la necesidad de optimizar la eficiencia y eficacia en la producción de bienes y/o en la prestación de los servicios y el mejoramiento de la calidad.

Estas tendencias tienen directas repercusiones sobre la gestión del mantenimiento y han generado procesos evolutivos en torno a la producción de técnicas y estrategias de mantenimiento, centradas no sólo en las intervenciones a los equipos, sino también en una verdadera gestión que aborde, desde una perspectiva gerencial y sistémica, una acertada relación con el trabajo administrativo, técnico y operativo del área de mantenimiento.

Ello requiere la aplicación de procesos de mantenimiento que, mediante el uso de herramientas informáticas faciliten la toma de decisiones, a través del suministro de información, sobre aspectos técnicos y económicos, planes de mantenimiento, control de trabajos, diagnóstico de condición de equipos y estadísticas de comportamiento y falla.

La función mantenimiento no es ajena a los procesos de masificación de tecnologías de la información y telecomunicaciones, porque ellos le permiten afianzar el logro de sus objetivos tales como: asegurar la calidad de los productos y servicios y mantener la empresa en los niveles adecuados de competencia.

Las áreas de mantenimiento deben tener herramientas que permitan que los procesos estandarizados, (escritos, sistematizados, o no escritos), estar integrados, agrupados a procesos para suministrar información confiable y oportuna para el desarrollo de la gestión y la toma de decisiones acertadas.

Un sistema de información de mantenimiento más que un software, es una metodología de gestión y administración de mantenimiento, que permite a las empresas obtener resultados en cuanto a:

- ❖ Definición de procesos óptimos
- ❖ Normalización de procedimientos.
- ❖ Análisis de eventos.
- ❖ Conocimiento de los costos.
- ❖ Obtención de indicadores de gestión.

4.1 SEGUIMIENTO A MANTENIBILIDAD DE EQUIPOS

Para la estrategia de mantenimiento que se establece para esta clase de equipos es indispensable la base de datos y el histórico de actividades y eventos sucedidos en cada uno de los componentes que lo conforman. Los registros e información que se debe almacenar deberá ser específica y acorde a los trabajos que se realicen en el equipo. Los

parámetros de operación deben estar almacenadas y capturada por parte del grupo de operación de la planta ya que ellos son las personas que más tiempo permanecen con el equipo y deben conocer la tendencia de variables según la sea la función para la cual fue diseñado y montado en la planta.

A continuación se relacionan dos (2) de los documentos más importantes y relevantes que deben ser almacenados por parte del área de mantenimiento que ayudan a identificar y analizar problemas en periodos que se determinan por la gerencia de la compañía.

4.1.1 Hojas de vida

Las hojas de vida de los equipos del sistema de generación son los documentos que registran la historia clínica del equipo y de los mismos componentes. Las hojas de vida de los equipos deberán contener información clave como la ficha técnica del equipo (Ver Anexo A.) y la documentación de las órdenes de trabajo.

La ficha técnica de cada equipo se describe como la especificación detallada de la configuración del equipo según su marca, modelo y serie. En una ficha técnica se deben consignar las capacidades nominales, el tipo de combustible o suministro energético y los tipos de lubricante que debe utilizar.

El las hojas de vida de los equipos se deben anexar los planes de mantenimiento designados por el fabricante (Ver Anexo E.) los cuales en su gran mayoría se expresan en horas. Para cada clase y marca de equipos es muy común que los planes o rutinas de mantenimiento recomendadas por ellos sean de gran costo y con frecuencias muy cortas para su ejecución, por tal motivo es de gran exigencia y compromiso la documentación de las ordenes de trabajo designadas a cada frente de trabajo, ya que esta gestión documental es la base para el análisis de falla y problemas que se llegarían a presentar ante cualquier eventualidad.

Para una estrategia de mantenimiento es indispensable que cada equipo posea una carpeta o archivo propio ya que el almacenamiento y la búsqueda no requieran mucho esfuerzo. En sistemas modernos de administración de mantenimiento (CMMS) el almacenamiento y la búsqueda de la información de cada equipo es mucho mas ágil y en algunos casos permite gran capacidad de almacenamiento como es el caso de la herramienta corporativa del CPR ESPINAL (PM SAP).

4.1.2 Reportes de análisis predictivo

Para los equipos del sistema de generación eléctrica se establecieron técnicas modernas de monitoreo predictivo descritas en el capítulo anterior como lo fueron especialmente:

En motor

- ❖ Análisis de vibración (Desempeño recíprocante)
- ❖ Análisis de vibración (FFT- Transformada rápida de Fourier)
- ❖ Análisis de flujometría de calor
- ❖ Análisis de agua refrigerante
- ❖ Análisis de aceite lubricante

En generador

- ❖ Resistencia de la bobina
- ❖ Análisis de vibración (FFT- Transformada rápida de Fourier)
- ❖ Medición de índice de polarización
- ❖ Medición de nivel de aislamiento
- ❖ Termografía

Una vez efectuado las inspecciones, revisiones y análisis de cada una de la técnicas aplicadas en los equipos del sistema de generación, el especialista o profesional en la técnica deberá entregar informe del resultado obtenido de dicha inspección el cual debe ir en documento claro para el personal de ingeniería de mantenimiento y supervisión de mantenimiento para realizar la respectiva retroalimentación al grupo técnico que realizara el seguimiento o corrección en cada intervención preventiva o por oportunidad.

El informe de análisis de técnicas de monitoreo deberá llevar:

- ❖ Encabezado. Este encabezado debe contener los datos básicos del equipo como clase, capacidad, descripción de la función, ubicación y codificación interna. Este encabezado deberá llevar la fecha de monitoreo, la fecha de entrega de informe y por supuesto las condiciones en las cuales se monitoreo el equipo.
- ❖ Objetivo del reporte. Es el propósito principal del análisis, si es realizado después de una intervención de mejora o corrección o si es de simple cumplimiento y seguimiento a monitoreo del equipo para observar la tendencia de su condición.
- ❖ Procedimiento del análisis. Este procedimiento deberá explicar cómo se analizan los datos desde su captura de información en campo en el equipo. Además el procedimiento deberá enunciar el estándar internacional, nacional o interno con el cual se realizara el respectivo análisis.
- ❖ Resultados. El analista o especialista deberá describir el resultado del monitoreo y especificar la condición en la cual se encuentra y opera el equipo de acuerdo a sus criterios y experiencia con los datos capturados y analizados.
- ❖ Recomendaciones. El analista o especialista emitirá unas recomendaciones las cuales el ingeniero de condición o mantenimiento deberán ejecutar y posteriormente validar con el personal técnico durante su revisión o aplicación.
- ❖ Priorización. De acuerdo a alguna norma o estándar interno de la empresa se establecerá un tiempo mínimo de atención de acuerdo a los resultados y recomendaciones emitidas.

Finalmente el ingeniero de condición y mantenimiento realizaran estricto seguimiento a las recomendaciones emitidas en estos informes de acuerdo a un consecutivo y a realizar un almacenamiento de datos para observar la tendencia y vida del equipo. Es de entera importancia que se lleve control a la actividad que tenga como hallazgo para observar la destreza y experiencia del analista o especialista que realiza este trabajo.

4.2 INDICADORES DE DESEMPEÑO

Para la función de mantenimiento, esto significa una constante búsqueda de nuevas y novedosas formas de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de plantas y equipos industriales, siempre a través de un control efectivo de costes.

El Modelo de Mantenimiento, a través del sistema de administración de mantenimiento (CMMS) permite la clasificación y caracterización de la información, para que ésta sea agrupada y consultada de acuerdo a los requerimientos específicos de cada usuario, lo cual facilita los procesos de análisis y toma de decisiones, tan importantes en las áreas de costes y confiabilidad.

La gerencia de mantenimiento está sustituyendo los viejos valores por paradigmas de excelencia de mayor nivel. La práctica de ingeniería de confiabilidad, la gestión de activos, la medición de los indicadores y la gestión de la disponibilidad; así como la reducción de los costes de mantenimiento constituyen los objetivos primordiales de la empresa enfocados a asegurar la calidad de gestión de la organización de mantenimiento. Los indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento.

Para los equipos del sistema de generación eléctrica estos son los indicadores claves de seguimiento y evaluación de la efectividad de la estrategia establecida.

4.2.1 Disponibilidad de equipos.

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el tiempo promedio para fallar (TPPF) y el tiempo promedio para reparar (TPPR), es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.

La disponibilidad de equipo se puede definir mediante la siguiente formulación:

$$A = \frac{[T_o - (E_p - E_n)]}{T_o} \times 100\%$$

Donde:

A = Disponibilidad
To = Tiempo de operación
Ep = Eventos planeados
En = Eventos no planeados

Este indicador es aplicable a periodos o tiempos de operación en diario, semanal, mensual o anual.

4.2.2 Confiabilidad de equipos

Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.

La confiabilidad de equipo se puede definir mediante la siguiente formulación:

$$R = \frac{(T_o - E_n)}{T_o} \times 100\%$$

Donde:

R = Confiabilidad

To = Tiempo de operación

En = Eventos no planeados

Este indicador es aplicable a periodos o tiempos de operación en diario, semanal, mensual o anual.

4.2.3 Tiempo promedio entre fallas.

El tiempo promedio entre fallas indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento "fallo". Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información.

El análisis de fallos es el paso más importante en la determinación de un programa de mantenimiento óptimo y éste depende del conocimiento del índice de fallos de un equipo en cualquier momento de su vida útil.

$$TPEF = \frac{T_o}{\# Fallas}$$

Donde:

TPEF = Tiempo promedio entre fallas

To = Tiempo de operación

#Fallas = Numero de fallas en el periodo evaluado

4.2.4 Acertividad en predictivo

Este indicador sirve para llevar el seguimiento de la destreza y experiencia en los análisis de aplicación de técnicas predictivas. Este tipo de indicador aunque puede usarse en forma mensual lo recomendable es que sea utilizado de forma semestral.

$$Acert = \frac{\# \text{Re comendcomprobadas}}{\# \text{Re comendemitidasejecutadas}} \times 100\%$$

En los periodos de tiempo mensuales o semestrales, el especialista o analista de técnicas predictivas emite una cantidad de recomendaciones las cuales una vez realizada la intervención se comprueba si fueron acertadas o no, esto indica la acertividad del análisis y del mismo monitoreo de condición de los equipos.

5. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este documento se pueden llegar a las siguientes conclusiones de acuerdo a los temas establecidos en cada uno de los capítulos de los cuales se destacan:

- ❖ Se identificaron los modelos básicos de aplicación en la estrategia de mantenimiento para esta clase de equipos que componen sistemas de generación eléctrica.
- ❖ Se establecieron técnicas de apoyo como lo es el análisis de causa raíz (RCA) para identificación de las fallas y problemas en la gestión de mantenimiento. También se cuenta con la técnica de análisis de modos y efectos de falla (FMEA) para especificar tareas de mantenimiento en subsistemas y componentes.
- ❖ Se establece una metodología que revisa e identifica las actividades innecesarias en las labores rutinarias de mantenimiento preventivo. Para la estrategia de mantenimiento es importante aplicar esta metodología anualmente para conocer y realizar toma de decisiones en presupuesto y cargas de trabajo en gestión de mantenimiento preventivo.
- ❖ Para esta clase de equipo se establecieron técnicas y rutinas de monitoreo predictivo que determinan la condición de operación de los equipos y realizar seguimiento o intervenciones oportunas mediante los análisis y presentación de informes.
- ❖ Se asocian y establecen indicadores de seguimiento al desempeño de los equipos que conforman el sistema de generación, de tal forma que se pueda realizar la medición en periodos de tiempo semanal, mensual y anual.
- ❖ Se integran modelos, metodologías y técnicas que aseguran una buena estrategia de mantenimiento a equipos que componen el sistema de generación eléctrica de una campo de producción petrolera y aplicable a campos de similar operación y composición de equipos.

BIBLIOGRAFÍA

MANZANO Rodrigo, MERCADO Oscar, Desarrollo de una estrategia gerencial de mantenimiento predictivo en motores y compresores a gas natural, Bucaramanga, 2002. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.

GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2001.

GONZÁLEZ JAIMES, Isnardo. Seminario I: La Investigación Científica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1998.

MUÑOZ, Jesús Antonio. Planeación Estratégica. Editado en la Universidad de los Andes 1994.

PÉREZ, Jaramillo Carlos Mario. Organizaciones del mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica.

RUEDA, Gómez Gustavo. Principios de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica

TAMAYO, Domínguez Carlos Mario. Mantenimiento Preventivo. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica.

TRUJILLO, C. Gerardo. Monitoreo de Condición, Una estrategia de integración de tecnologías. 1er Congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento. León, México. Octubre 2003.

PÉREZ, Jaramillo Carlos Mario. Tendencias en el desarrollo de CMMS. Soporte y Cía. Ltda.

MORA, Gutiérrez Alberto. Control y medición internacional estandarizados de la gestión y operación de mantenimiento industrial bajo la metodología terotecnológica RAM. Universidad EAFIT. Medellín Colombia.

ANEXOS

ANEXO A. Formato levantamiento información equipo mecánico.

Servicios Asociados		Fecha	_ / _ / _
		Hora	_ : _ : _
Caracterización de Componentes		Recolecta	_
		Verifica	_
MOTOR DE COMBUSTION INTERNA G-125A			
TAG	G-125A		
UBICACIÓN	MATACHIN NORTE	area de generacion	
DATOS DE PLACA EN MOTOR			
FABRICANTE:	WAUKESHA		
MODELO	P 9390		
COMPRESION RATIO	10 / 1		
SERIAL NUMBER	C-61841 / 1		
TIPO DE COMBUSTIBLE:	GAS NATURAL		
TYPO ASPIRACION	NATURAL		
NUMERO CILINDROS :	12 CILINDROS		
TIPO DE ARRANQUE:	NEUMATICO		
	PRYMARY		SECUNDARY

ANEXO B. Formato levantamiento información equipo eléctrico.


				Fecha	__/__/__
				Hora	__:__:__
Caracterización de Componentes				Recolecta	__
				Verifica	__
PLANTILLA ARRANQUE NEUMATICO G-125B					
TAG	G-125B				
UBICACIÓN	Matachin NORTE	area de geneacion			
MARCA	INGERSOLL RAND				
MODELO	SS815GB03R31-23C	P/N En SAP 209180F	27781 SAP	208479A SAP 11121	
SERIES	SP10416019				
MAX PRESS	150 PSI				
KIT DE MANTENIMIENTO					
TIPO DE MOTOR	SS810 PAR LINES				
CILINDRO KIT P/N	SS800_K3	SAP 17660			
ROTOR P/N	SS825-53	SAP 1618 SIX SIX5			
KIT PALETAS P/N	SS800K2	SAP 21853			

Página 1

ANEXO C. Formato levantamiento información equipo instrumentación.

Servicios Asociados				Fecha	_ / _ / _
				Hora	: : _
Caracterización de Componentes				Recolecta	_
				Verifica	_
PLANTILLA PARA REGULADOR FISHER					
TAG	PRV-MG125B-LH	PRV-MG125B-RH			
UBICACIÓN	LADO IZQUIERDO MOTOR G-125B	LADO DERECHO MOTOR G-125B			
SERVICIO	regulación de gas Banco izquierdo Motor G-125B	regulación de gas Banco derecho Motor G-125B			
MARCA	fisher controls	fisher controls			
MODELO (TYPE)	S201S	S201S			
SERIE	N/A	N/A			
SPRING RANGE	3.5 / 6.5 "WC	3.5 / 6.5 "WC			
DATE	3-04	3-04			
PORT SIZE	1"	1"			
MAX INLET PRESS	25 psi	25 psi			
MAX OPERATING OUTLET	30 "WC	30 "WC			

ANEXO D. Formato actualización datos equipos en SAP

	SERVICIOS ASOCIADOS LTDA. Servicios Técnicos y Profesionales	Formato Actualización datos de Equipo en SAP ES-OMI-PL-1	Consecutivo <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>
OBJETO :			
ADICIONAR EQUIPO <input type="checkbox"/> ELIMINAR EQUIPO <input type="checkbox"/> MODIFICAR DATOS DEL EQUIPO <input checked="" type="checkbox"/> REUBICAR EQUIPO <input type="checkbox"/> OTRA RAZON (Especifique) <input type="checkbox"/>		HAY DATOS ANEXOS <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
DETALLES DEL EQUIPO			
CODIGO SAP EQUIPO (8 Caracteres)		10000440	
DESCRIPCION DEL EQUIPO (70 Caracteres)		Motor A Gas Waukesha del G-125B	
DESCRIPCION DEL EQUIPO PADRE (70 Caracteres)		30000207 (Motogenerador G-125B)	
UBICACIÓN FISICA DEL EQUIPO		Generacion M. Norte	
UBICACIÓN TECNICA SEGUN SAP		UC-DCE-ES-VE-MAN-SELE-GEN	
SISTEMA AL QUE PERTENECE		Generacion M. Norte	
ESTADO DEL EQUIPO NUEVO <input type="checkbox"/> REPARADO <input type="checkbox"/> USADO <input checked="" type="checkbox"/>			
TIPO DE EQUIPO	MECANICOS	NUMERO DE CILINDROS	16 EA
CLASE DE EQUIPO	MOTOR_COMB_GAS (Motor de Combustión a Gas)	TIPO DE ARRANQUE	NEUMATICO
No. INVENTARIO	01149	ALTITUD LIMITE	1.148 PIE
PUESTO EN SERVICIO DESDE		COMBUSTIBLE	GAS NATURAL
VALOR ADQUISICION	492.110.585	TIPO DE REFRIGERANTE	AGUA
FECHA ADQUISICION (dd.mm.aa)		CAUDAL	
FABRICANTE	WAUKESHA	DESCARGA	
PAIS PRODUCTOR	US	DIAMETRO_IMPELER	
DENOMIN TIPO (Modelo)	P9390G	FASES	
AÑO/MES CONSTRUCCION		FRECUENCIA	
SERIE No.	C - 94246 - 2	LUBRICANTE	PEGASUS 805 MOBIL
CENTRO DE EMPLAZAMIENTO	C152 (Matachines Producción)	CANTIDAD DE ACEITE	165 GAL
EMPLAZAMIENTO	701	POTENCIA	1.366 HP
AREA DE EMPRESA	GAG (Generación Gas)	PRESION	
INDICADOR ABC (Criticidad)	B (Critico Producción)	RPM	1200 RPM
ACTIVO FIJO	100003244	SUCCION	
CENTRO DE COSTO	P152316 (Sistema Gener.y Cond)	TAMAÑO	
PUESTO DE TRABAJO	MECA (MECANICOS)	TEMPERATURA_DE_TRABAJO	100 F
PERFIL DE CATALOGO	CEGE (Motores de Combustión A Gas)	VOLTAJE	
No. IDENTIFICACION TEC (Tag)	E30MNIME MG-G125B	RELACION COMPRESION	10 A 1
INICIO GARANTIA (dd.mm.aa)		PUESTA A TIERRA	
FINAL GARANTIA (dd.mm.aa)		TENSION	

ANEXO E. Rutinas de mantenimiento preventivo motores según fabricante

ITEM	SERVICE	DAILY OR AS REQUIRED	250 HRS.	500 HRS.	720 HRS.	1,500 HRS.	2,500 HRS.	4,000 HRS.	8,000 HRS.
Air Cleaner Filter Element	Check/Clean or Replace	•							
Air Starter Lubricator	Check/Fill	•							
Control Rod Ends and Linkage	Clean/Lubricate	•							
Cooling Systems Fluid Level (Jacket and Auxiliary)	Check/Fill	•							
Crankcase Oil Level	Check/Fill	•							
Governor Oil Level	Check/Fill	•							
Governor Synchronizer or Speed Control	Adjust	•							
Oil Filter	Release Trapped Air	•							
Pre-Cleaner Element	Check/Clean or Replace	•							
Prelube Motor Reservoir	Check/Fill	•							
Power Take-off	Lubricate	•							
Engine Oil & Filter * (ISO Standard or Continuous Duty)	Change Oil and Filter					•			
Engine Oil & Filter * (ISO Standard or Continuous Duty With Microspin)	Change Oil and Filter						•		
Engine Oil & Filter * (Excess of ISO Standard or Continuous Duty)	Change Oil and Filter			•					
Engine Oil & Filter * (Light Load Operation)	Change Oil and Filter					•			
Engine Oil & Filter * (Standby Duty) (Annually or 250 hours, whichever is reached first)	Change Oil and Filter		•						•
Engine Oil * (Analysis)	Analysis				•				