

REVISIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y
PREDICTIVO DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS CRÍTICOS Y ESENCIALES DE
LAS PLANTA DE GAS Y ASFALTO DE LA SUPERINTENDENCIA DE
OPERACIONES APIAY

ALEXIS ALEXANDER FERRIGNO BERMUDEZ

DEICY PAOLA MARTINEZ VILLAR

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

2012

REVISIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y
PREDICTIVO DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS CRÍTICOS Y ESENCIALES DE
LAS PLANTA DE GAS Y ASFALTO DE LA SUPERINTENDENCIA DE
OPERACIONES APIAY

ALEXIS ALEXANDER FERRIGNO BERMUDEZ

DEICY PAOLA MARTINEZ VILLAR

Monografía para optar el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director:

Mario Alexander Jaimes

Especialista en Gerencia de Mantenimiento

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

2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirnos llegar a estas etapas de nuestras vidas, a nuestras familias y parejas que nos apoyaron y acompañaron constantemente durante todo este proceso, a Mario Jaimes nuestro director que nos orientó para finalizar con esta propuesta hoy hecha realidad.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. CONTEXTO GENERAL DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES APIAY	15
1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA SOA	15
1.2 PLANTA DE GAS.....	17
1.3 PLANTA DE ASFALTO	18
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 MANTENIMIENTO	19
2.1.1 Objetivos del Mantenimiento	19
2.1.2 Historia de Mantenimiento.....	20
2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	23
2.2.1 Mantenimiento Correctivo.....	23
2.2.2 Mantenimiento Preventivo	23
2.2.3 Mantenimiento Predictivo	25
2.2.4 Mantenimiento Proactivo	27
2.3 HERRAMIENTAS DE MANTENIMIENTO.....	28
2.3.1 RCA – Análisis De Causa Raíz	28
2.3.2 RCM - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	30
2.3.3 RCM 2	31
2.3.4 TPM – Mantenimiento Productivo Total	31
2.3.5 PMO – Optimización del Mantenimiento Planeado	32
2.4 CRITICIDAD DE EQUIPOS	32
2.5 PLAN O PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	33
2.6 OPTIMIZACIÓN DE COSTOS	33
3. PROCESO DE REVISIÓN	35
3.1. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS	35

3.2. ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL	38
3.2.1. Costos por tipo de mantenimiento	38
3.2.3. Cálculo de la rata de fallas de los equipos (MTBF).....	40
3.2.4. Revisión de tareas de mantenimiento aplicadas a los equipos.	41
4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	46
4.1. INVESTIGACIÓN DE TÉCNICAS PREDICTIVAS DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES ELÉCTRICOS.	46
4.1.1. Mantenimiento predictivo basado en chequeos de máquinas eléctricas rotatorias energizadas (emax) y desenergizadas (mce).	46
4.1.2. Verificador dinámico	48
4.1.3. Termografía.....	51
4.1.4. Sverker.	53
4.2. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE TÉCNICAS DISPONIBLES	55
4.2.1. Comparación y selección de técnicas aplicadas.	55
4.3. CÁLCULO DE FRECUENCIAS DE TAREAS PREVENTIVAS Y PREDICTIVAS.....	56
4.3.1. Calculo de frecuencias de las rutinas preventivas de re lubricación.	57
4.3.2. Calculo de frecuencias de re lubricación.....	58
4.3.3. Calculo de frecuencias de las rutinas predictivas mecánicas (Vibración) y eléctricas (MCEmax y Termogradia).....	67
4.3.4. Método de calculo de frecuencias de monitoreo	67
4.4. Factor de Costo.....	68
4.5. Factor de Falla	69
4.6. Factor de Ajuste	69
4.6.1. Análisis de Frecuencias de Monitoreo Según Método Propuesto	71
4.7. CÁLCULO DEL COSTO DE LA IMPLEMENTACION DE LA NUEVA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO VS. LA ACTUAL	81
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	83
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS.....	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de causa raíz más importantes de planta de gas y asfalto.	36
Tabla 2. Listado de equipos críticos y esenciales de planta de gas.	37
Tabla 3. Listado de equipos críticos y esenciales de planta de asfalto.	37
Tabla 4. MTBF inferiores a un año.	41
Tabla 5. Listado de actividades por rutina de mantenimiento preventivo y predictivo.	42
Tabla 6. Costo de HH de la estrategia de mantenimiento preventivo y predictivo.	45
Tabla 7. Tipos de pruebas a realizar según la zona de falla.	50
Tabla 8. Tareas de las rutinas preventivas y las técnicas que se pueden emplear.	55
Tabla 9. Técnicas disponible vs fallas a mitigar.	56
Tabla 10. Parámetros para hallar el intervalo de re lubricación en rodamientos.	59
Tabla 11. Rutinas de re lubricación existentes.	60
Tabla 12. Calculo de la frecuencia de re lubricación y cantidades de grasa.	61
Tabla 13. Calculo de frecuencias de mantenimiento predictivo mecánico y eléctrico.	73
Tabla 14. Costo de la nueva estrategia para planta de gas y asfalto.	81
Tabla 15. Últimos RCA's con sus costos de equipos de planta de gas y asfalto.	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica campo Apiay.....	16
Figura 2. Vista panorámica campo Apiay	16
Figura 3. Vista panorámica planta de gas y refinería.....	18
Figura 4. Evolución de mantenimiento.....	21
Figura 5. Cambios en las técnicas de mantenimiento.....	23
Figura 6. Comparación entre distintos tipos de mantenimiento.	28
Figura 7. Costos del mantenimiento.	34
Figura 8. Matriz de criticidad (RAM) de la SOA.	35
Figura 9 .Fallas más relevantes de planta de gas y asfalto	36
Figura 10. Gráfica de Costos Por Tipo de Mantenimiento.	38
Figura 11. Análisis de Pareto de mantenimientos correctivos para componentes afectados.	39
Figura 12. Análisis de Pareto de mantenimientos correctivos por costos.	40
Figura 13. Imágenes del equipo MCEmax y su aplicación.	46
Figura 14. Imagen térmica de un conector eléctrico.	51
Figura 15. Inspección de un equipo mecánico utilizando una cámara de termografía.....	52
Figura 16. Imagen del equipo Sverker.....	54
Figura 17. Método grafico para el intervalo de re lubricación.	59

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A Matriz Estrategia Actual de Planta de Gas	86
ANEXO B Matriz Estrategia Actual de Planta de Asfalto.....	89
ANEXO C Matriz Estrategia Propuesta de Planta de Gas	90
ANEXO D Matriz Estrategia Propuesta de Planta de Asfalto	93

GLOSARIO

CMMS: Sistema computarizado de administración de mantenimiento.

CONFIABILIDAD: El término confiabilidad es usado generalmente para expresar un cierto grado de seguridad de que un dispositivo o sistema opera exitosamente en un ambiente específico durante un cierto período. La moderna concepción cuantitativa de la confiabilidad tuvo sus orígenes en la tecnología militar y espacial. Sin embargo, el incremento en la complejidad de los sistemas, la competitividad en el mercado, y la creciente competencia por presupuesto y recurso han originado la expansión de la disciplina a muchas otras áreas. Cuando la confiabilidad se define cuantitativamente puede ser especificada, analizada, y se convierte en un parámetro del diseño de un sistema que compite contra otros parámetros tales como costo y funcionamiento.¹

DISPONIBILIDAD: La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.

FALLA: Hace referencia a cuando un equipo deja de desempeñar la función para la cual fue diseñado, ó cuando no cumple las especificaciones mínimas deseadas para su operación ó a estándares.

¹ <http://es.wikipedia.org>

GESTIÓN: Del latín *gestio*, el concepto de gestión hace referencia a la acción y a la consecuencia de administrar o gestionar algo. Al respecto, hay que decir que gestionar es llevar a cabo diligencias que hacen posible la realización de una operación comercial o de un anhelo cualquiera. Administrar, por otra parte, abarca las ideas de gobernar, disponer, dirigir, ordenar u organizar una determinada cosa o situación.

MANTENIBILIDAD: A la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo, pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal[1] después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica la realización de unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción; se le denomina mantenibilidad. La normalidad del sistema al ser restaurado puede referirse a su cuerpo como a su función.

RESUMEN

TITULO: REVISION DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE LAS PLANTAS DE GAS Y ASFALTO DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES APIAY DE ECOPETROL.

AUTORES: ALEXIS FERRIGNO BERMUDEZ Y DEICY MARTINEZ VILLAR.

PALABRAS CLAVES: SISTEMAS, ESTRATEGIA, MANTENIMIENTO, PREDICTIVO, PREVENTIVO, CAUSA RAÍZ, MTBF, PARETO, CRITICIDAD.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Dado que el entorno de mantenimiento en ECOPETROL APIAY es dinámico, las condiciones de operación varían, los modos y efectos de fallas en algunas ocasiones cambian al igual que las tasas de fallas, hacen que la estrategia aplicada producto del RCM ya no sea efectiva, utilizando recursos extra donde ya no se requiere o dejando de lado equipos que se han convertido en críticos por su operación, incremento en costos de mantenimiento y pérdidas de producción.

Para esto se realizó la revisión de la estrategia de mantenimiento preventivo y predictivo de los equipos críticos y esenciales de planta de gas y asfalto, además de equipos cuyas fallas han incurrido en altos costo de mantenimiento y pérdida de producción.

Se realiza el cálculo de MTBF de todos los equipos, escogiendo los inferiores a un año para corroborar que efectivamente la mayoría de esos equipos afectados está en una criticidad inferior y que deben ser tenidos en cuenta para una revisión de criticidad.

Se realizaron análisis de Pareto para tipos de fallas y para costos por mantenimiento correctivos, encontrando que las fallas de rodamientos, sellos, aislamiento eléctrico y acometidas eléctricas son las que generan la mayoría de los costos por mantenimientos correctivos.

Se realiza la revisión de la estrategia actual, las tareas, frecuencias y duración en horas hombre para luego investigar con que técnicas predictivas podemos reemplazar las tareas encontradas.

En base al análisis de Pareto se decide revisar la frecuencia de rutinas de mantenimientos preventivos y predictivos que puedan evitar las fallas anteriormente mencionadas.

Se selecciona la metodología de cálculos de factores de fallas y costos para hallar las frecuencias de las técnicas predictivas en base al histórico de estas plantas y no de recomendaciones basadas en equipos de diferente entorno, funcionamiento y aplicación.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento,
Director: Mario Jaimes, Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE: STRATEGY REVIEW OF PREVENTIVE AND PREDICTIVE MAINTENANCE OF ROTATING EQUIPMENT GAS PLANT AND ASPHALT OF THE OPERATIONS SUPERINTENDENT APIAY OF ECOPETROL.

AUTHORS: ALEXIS FERRIGNO AND DEICY MARTINEZ

KEYWORDS: SYSTEMS, STRATEGY, MAINTENANCE, PREDICTIVE, PREVENTIVE, ROOT CAUSE, MTBF, PARETO, CRITICALITY.

SUBJECT OR DESCRIPTION:

Since the maintenance environment is dynamic in Apiay ECOPETROL, varying the operating conditions, the failure modes and effects sometimes change as failure rates, make the strategy applied RCM product is no longer effective, using extra resources which are no longer required or ignoring equipment have become critical for its operation, increased maintenance costs and production losses.

This was done for the review of the strategy of preventive and predictive maintenance of critical and essential equipment gas and asphalt plant, addition to equipment whose failures have incurred high maintenance costs and lost production.

Calculation is performed for all equipment MTBF, choosing the less than a year to verify that indeed most of such equipment are in a critical hit bottom and should be considered for a review of criticality.

Pareto analysis was performed for types of failures and corrective maintenance costs, finding that failures of bearings, seals, electrical insulation and electrical connections are those that generate most of the costs for corrective maintenance.

It performs a review of the present strategy, tasks, frequency and duration in man hours and then investigate predictive techniques that can replace tasks encountered.

Based on the analysis of Pareto decides to review the frequency of preventive and predictive maintenance routines that can avoid failures mentioned above.

Methodology is selected calculations fault and cost factors to find the frequencies of predictive techniques based on historic these plants and equipment recommendations based on a different environment, operation and application.

Calculations are performed for amount of oil and relubrication frequency for equipment considering bearing manufacturers recommendations.

Once established with the new frequencies, we calculate the cost of the routines and monitoring equipment, and then make the comparison of costs before and after.

* Project grade

** Faculty of Mechanical Physical and Engineering. Maintenance Management Specialization,
Director: Mario Jaimes, Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

La Superintendencia de operaciones Apiay ha hecho esfuerzos en mejorar la gestión sobre sus activos por lo que a lo largo del tiempo ha realizado diferentes talleres de RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) para los sistemas y equipos, en las diferentes disciplinas de mantenimiento, obteniendo una estrategia de mantenimiento con actividades y frecuencias acordes a las condiciones de operación y a los modos de fallas que se presenten, sin embargo, en la actualidad se hace necesario reforzar varios aspectos en la estrategia que están impactando económicamente la organización, calidad del servicio e imagen del Departamento de Mantenimiento, como parte fundamental del mejoramiento continuo.

El plan de actualización de la estrategia de mantenimiento permite actualizar las rutinas optimizando recursos, planteando nuevas técnicas costo efectivas y migrando el mantenimiento preventivo a predictivo cuando así se requiera, mejorando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

De las anteriores consideraciones se obtiene el tema central de esta propuesta, sobre cómo se podría mejorar las estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo de los equipos rotativos de planta de gas y asfalto de Apiay en términos de actividades, técnicas aplicadas y frecuencias, se escoge planta de gas y asfalto dado que en estas plantas están ubicados equipos y sistemas complejos más críticos para la operación y la falla de estos equipos representan pérdidas económicas importantes para Ecopetrol S.A., al igual que se escoge para realizar este análisis el área de mantenimiento predictivo (CBM) por los costos que implica la aplicación de estas técnicas.

1. CONTEXTO GENERAL DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES APIAY

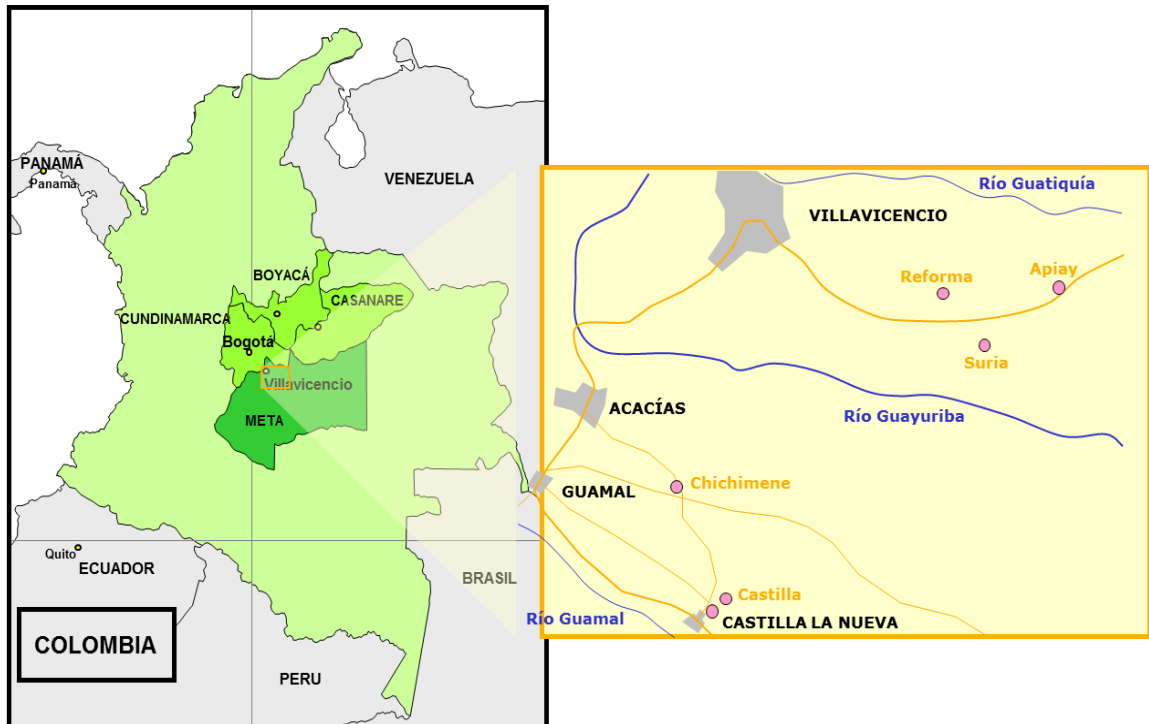
El 1° de agosto de 1989 la Empresa Colombiana de Petróleos, Ecopetrol, inició labores directas en la región de los Llanos Orientales de Colombia, con la Superintendencia de Operaciones Apiay en lo que hoy es la Estación de Recolección Apiay, explotando los pozos del campo recién descubierto en la vereda Quennane, a 32 kilómetros de Villavicencio.

En el 2010 la Superintendencia de operaciones central se dividió conformando la SOA (superintendencia de operaciones Apiay) que comprende las estaciones Apiay, Suria y Reforma y las plantas de gas y asfalto, la SOC (superintendencia de operaciones Castilla – Chichimene) que comprende las estaciones Castilla I, Castilla II, Chichimene y Acacias y estas a su vez conforman la Gerencia Regional Central.

1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA SOA

Localizada en el departamento del Meta, municipio de Villavicencio en la vereda Apiay, en el Km 32 vía Villavicencio - Puerto López.

Figura 1. Localización geográfica campo Apiay



Fuente: Ecopetrol, 2008

Figura 2. Vista panorámica campo Apiay



Fuente: Ecopetrol, 2008

1.2 PLANTA DE GAS

Recibe el gas proveniente de los separadores trifásicos de crudo/agua/gas ubicados en los campos Suria, Reforma - Libertad y Apiay, se envía a la planta de Gas y se comprime en tres etapas, en los compresores C-601 A / B y C, El gas es enfriado después de cada etapa de compresión, en los intercambiadores E-601, E-602 y E-603 y los líquidos condensados en este enfriamiento, son separados en los tambores D-601, D-602, D-603 y D-604, Luego de su compresión, el gas pasa a la unidad de secado. El gas seco que sale por el fondo del secador va a los filtros F-601 A/B donde se retiran partículas sólidas que hayan sido arrastradas, posteriormente el gas rico fluye hacia el adsorbedor de Mercurio D-613 y de allí va al filtro F-607. Una vez el gas sale de esta etapa, pasa a la sección de refrigeración.

En la Caja Fría el gas rico intercambia calor con tres corrientes de proceso y propano refrigerante, pasa al intercambiador E-604A que utiliza igualmente propano refrigerante y de allí continúa al separador de alta presión D-605. El ciclo refrigerante consiste de un circuito cerrado en el cual, propano líquido proveniente del D-651, se evapora al enfriar las corrientes de los diversos usuarios (E-604, E-604 A y E-605), luego este vapor producido es comprimido de 14.7 PSIA hasta 264 PSIA, por los compresores C-650 A o B (uno en operación y otro en reserva) en dos etapas, para ser condensado nuevamente. El líquido se lleva a los acumuladores D-652 A y B y de allí al D-651, repitiéndose el ciclo.

1.3 PLANTA DE ASFALTO

El objetivo de la planta es atender parte de la demanda nacional de asfalto 60-70 y de los productos blancos obtenidos, que son: Bencina, Gasóleo y ACPM (mezcla de Kerosene y ACPM). La planta fue diseñada para cargar 2.500 BPD de crudo Castilla de gravedad 13.2° API, y obtener como productos terminados: Nafta, Kerosene, ACPM y Asfalto 60 - 80 como producto principal, mediante fraccionamiento en una unidad de destilación atmosférica y una torre correctora de chispa al vacío. La unidad tiene flexibilidad para operar desde 60% hasta 110% de su capacidad nominal.

La torre atmosférica T-501, separa el crudo en varias fracciones útiles de rangos de ebullición específicos, tales como Nafta, Kerosene, ACPM y crudo reducido. La torre de vacío T-504 o correctora de chispa, separa el crudo reducido en tres corrientes menores: una pequeña corriente de cima que se separa en el D-525, que básicamente es un ACPM pesado, un flujo mayor de gasóleo en la parte media de la torre y el producto de fondo y principal que es el asfalto.

Figura 3. Vista panorámica planta de gas y refinería



Fuente: Ecopetrol

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MANTENIMIENTO

Son todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible y con el máximo rendimiento². Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

Las palabras confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, forman parte de la cotidianidad del mantenimiento. Si se analiza la definición moderna de mantenimiento, se verifica que la misión de este es “garantizar” la disponibilidad de la función de los equipos e instalaciones, de tal modo que permita atender a un proceso de producción o de servicio con calidad, confiabilidad, seguridad, preservación del medio ambiente y costo adecuado³.

2.1.1 Objetivos del Mantenimiento

El objetivo principal de la función de mantenimiento es asegurar que todos los recursos físicos de la empresa cumplan la función para la cual fueron diseñados. “Según Albert Ramond la función principal de mantenimiento es maximizar la disponibilidad que se requiere para la producción de bienes y servicios, al

² <http://www.slideshare.net/fernandobarroso1/introduccion-a-la-gestion-del-mantenimiento>

³ KARDEK, A., NASCIF, J. Mantenimiento, Función Estratégica, CIP Brasil, Rio de Janeiro, 2002; Citado por DAIRO H. MESA GRAJALES LA CONFIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD Y LA MANTENIBILIDAD, DISCIPLINAS MODERNAS APLICADAS AL MANTENIMIENTO.

preservar el valor de las instalaciones. Para minimizar el deterioro de los equipos, lo cual se debe lograr con el menor costo posible y a largo plazo”⁴.

Los objetivos del mantenimiento se pueden resumir en:

- Asegurar la disponibilidad y confiabilidad planeadas de la función deseada,
- Cumpliendo con todos los requisitos del sistema de calidad de la empresa,
- Cumpliendo con todas las normas de seguridad y medio ambiente y
- Al máximo beneficio global.

2.1.2 Historia de Mantenimiento

La evolución del mantenimiento ha ido de la mano con la evolución industrial de la humanidad, a finales del siglo XIX, con la mecanización de las industrias surgió la necesidad de las reparaciones, en éstas se evidenciaba abuso y desconocimiento de los equipos⁵, y eran reparados o atendidos por los mismos operadores. Posteriormente con la implementación de la producción en serie de Ford, las fábricas implementaron programas de producción lo cual hizo necesario reducir los tiempos de reparaciones a las máquinas conformando un grupo cuyo objetivo básico era la ejecución de mantenimientos correctivos y dependía exclusivamente de la producción.

Luego de que se revaluaran los tiempos y los costos de las reparaciones se centraron esfuerzos no sólo en reparar las fallas, ahora también en prevenirlas, analizar causas y efectos, conformando grupos que se dedicaran a analizar las fallas, incorporar programas para buscar la forma de planificar y controlar los

⁴ MORA, Alberto. MANTENIMIENTO Planeación, ejecución y control.

⁵ Administración moderna del mantenimiento.

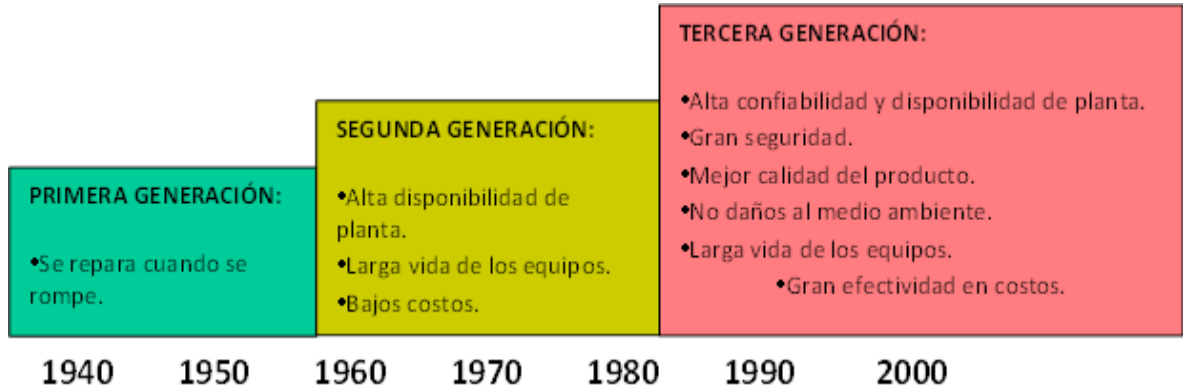
costos del mantenimiento preventivo, siempre buscando viabilizar la producción, minimizando pérdidas por averías, se introdujo un nuevo término Fiabilidad o Confiabilidad. Con el tiempo se fueron estructurando estrategias y herramientas que permitían realizar el seguimiento a las tendencias, realizar estudios, implementación y seguimiento de indicadores e incorporar el mantenimiento basado en condición, así mismo se reforzó la investigación y desarrollo de herramientas que se enfocaban en el diagnóstico de los equipos, así como herramientas para realizar una administración efectiva del mantenimiento.

Con el desarrollo de estas herramientas y durante toda la evolución del mantenimiento se ha centrado en el objetivo final de reducir los costos directos por la intervención a los equipos, así como los costos asociados a la pérdida de producción por el paro no deseado de los equipos. Bajo este entorno se debe revalida el concepto pasando a “Gestión de Mantenimiento” donde se trata de optimizar los recursos (materiales y mano de obra) que se emplean, esto llevó a la aparición de nuevas técnicas, nuevos desarrollos que incluyen:

- Herramientas soporte a decisión: análisis de modos y efectos de fallas, cálculo de disponibilidad y Confiabilidad, administración de mantenimiento, gestión de activos, y herramientas futurísticas⁶ (distribuciones probabilísticas).
- Técnicas de Diagnóstico: monitoreo por condición.
- Diseño de equipos con mayor énfasis en la confiabilidad y mantenibilidad.
- Trabajo en equipo y multidisciplinario.

⁶ Mantenimiento Planeamiento, ejecución y control, Alberto Mora Gutiérrez

Figura 4. Evolución de mantenimiento

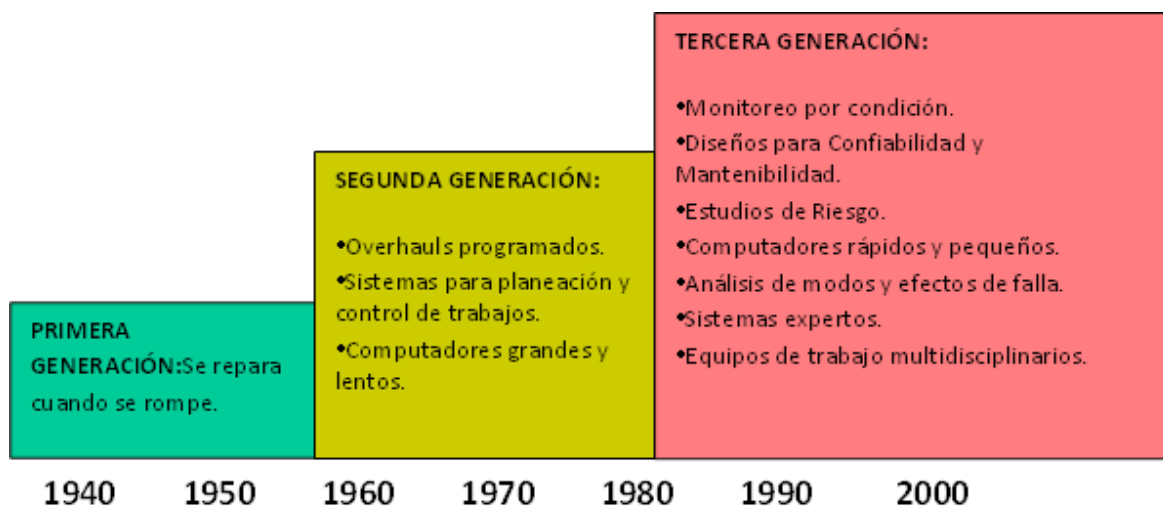


Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

Durante toda la evolución que ha tenido el mantenimiento ha requerido de cambios culturales no solo en los mantenedores, también en los operadores y proveedores, lo que ha llevado a la búsqueda de un crecimiento y evolución continua, a tomar conciencia hacia cuales fallas de equipos afectan la seguridad y el medio ambiente, un crecimiento de la conciencia sobre la relación entre Mantenimiento y la Calidad del producto, y la presión también creciente hacia el logro de una alta disponibilidad de planta y hacia la restricción en los costos.⁷

⁷ Introducción al mantenimiento centrado en confiabilidad, John Moubray

Figura 5. Cambios en las técnicas de mantenimiento



Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

2.2.1 Mantenimiento Correctivo

En un principio, el mantenimiento quedaba relegado a intervenciones como consecuencia de las averías y con los consiguientes costes de reparación (mano de obra, piezas de repuesto,...), así como los relativos a los costes por las paradas de producción. Este tipo de mantenimiento se conoce como mantenimiento correctivo.

2.2.2 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo surge de la necesidad de mejorar los costos derivados de bajas disponibilidades de los equipos y de las consiguientes paradas

de producción. Llevando a establecer revisiones periódicas para evitar o reducir la probabilidad de falla.

El Mantenimiento Preventivo puede ser realizado en dos áreas. Una es el cuidado y alimentación de los equipos, el cual incluye la lubricación, limpieza, calibración, etc. El otro abarca las tareas de Mantenimiento Preventivo, que son requeridas por los equipos o para la seguridad, el medio ambiente, el aseguramiento u otras regulaciones gubernamentales.⁸

Este tipo de mantenimiento genera incertidumbre en el costo o sobrecosto por actividades que posiblemente estén sobredimensionadas, para esto es necesario que el “sistema sea dinámico, y que establezca algunas interrelaciones con algún mecanismo de revisión, para asegurar que las tareas son todavía válidas y ver si pueden ser reemplazadas por una tarea predictiva”.

La característica principal de este tipo de Mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno. Con un buen Mantenimiento Preventivo, se obtiene experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones, máquinas, etc.

Ventajas del Mantenimiento Preventivo:

Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento. Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas. Mayor duración, de los equipos e instalaciones. Disminución de existencias en Almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo. Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a una programación de actividades. Menor costo de las reparaciones.

Fases del Mantenimiento Preventivo:

⁸ Los componentes de la confiabilidad, Rick Wheaton

Inventario técnico, con manuales, planos, características de cada equipo.
Procedimientos técnicos, listados de trabajos a efectuar periódicamente. Control de frecuencias, indicación exacta de la fecha a efectuar el trabajo. Registro de reparaciones, repuestos y costos que ayuden a planificar.

2.2.3 Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento surge como consecuencia de las incertidumbres que presenta el mantenimiento preventivo y con el apoyo del desarrollo tecnológico, se desarrolló un nuevo concepto de mantenimiento basado en la condición o estado de la máquina, este tipo de intervención se conoce como mantenimiento predictivo, y se anticipa a la avería por medio del conocimiento del comportamiento de la máquina y de cómo debería comportarse, evalúa el estado de los componentes mecánicos, eléctricos, mediante técnicas de seguimiento y análisis, conociendo de este modo previamente qué elemento puede fallar y emitir un tiempo o fecha probable de falla si no se interviene. Así se puede programar una intervención sin afectar al proceso productivo, con las consiguientes optimizaciones en costes de producción, mano de obra y repuestos. Se evitan de este modo grandes y costosas averías agilizando las intervenciones.

A continuación se citan algunas técnicas de mantenimiento mayormente utilizadas:

- **Análisis de vibraciones:** Técnica de mantenimiento basado en condición más utilizada, se basa en el estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas a través del comportamiento de sus vibraciones, para esto es indispensable conocer ciertos datos de la máquina como lo son: su velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de correas, el número de alabes,

palas. El análisis de espectros de frecuencia se pueden evidenciar en forma prematura mal funcionamiento de un equipo o un elemento específico.

- **Análisis por Ultrasonido:** está basado en el estudio de las ondas de sonido de alta frecuencia producidas por las máquinas cuando presentan algún tipo de problema. Las ondas de ultrasonido tienen la capacidad de atenuarse muy rápido debido a su corta longitud, esto facilita la detección de la fuente que las produce a pesar de que el ambiente sea muy ruidoso.
- **Boroscopias:** herramienta que permite al ingeniero ver al interior del equipo determinando el desempeño de funcionamiento conllevando a predicción de fallas.
- **Termografías:** método de inspección de equipos eléctricos y Mecánicos mediante la obtención de imágenes de su distribución de temperatura. La energía que las máquinas emiten desde su superficie viaja en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz; esta energía es directamente proporcional a su temperatura, lo cual implica que a mayor calor, mayor cantidad de energía emitida. Un incremento de esta variable, por lo general representa un problema de tipo electromecánico en algún componente de la máquina.
- **Análisis de aceites:** este tipo de técnica permite evidenciar desgaste por desprendimiento de partículas, determinar el estado del aceite y maximizar el periodo de vida útil de los componentes y de las piezas de los equipos intervenidos. La técnica de análisis de aceites permite cuantificar el grado de contaminación y/o degradación del aceite por medio de una serie de pruebas que se llevan a cabo en laboratorios especializados sobre una

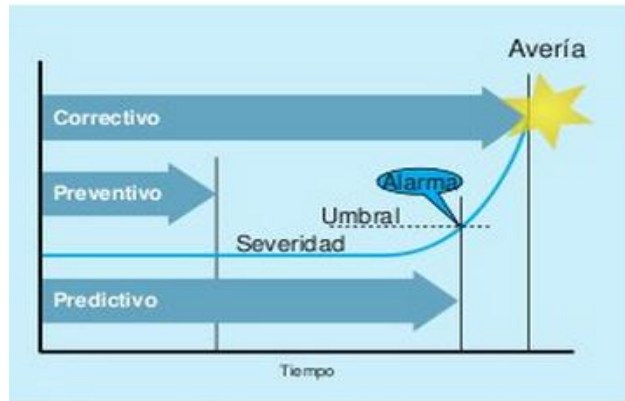
muestra tomada de la máquina cuando está operando o cuando acaba de detenerse.

- Inspecciones visuales: consiste en la localización y tipificación de los deterioros y fallos de los firmes sobre todo a nivel superficial, para identificar y caracterizar las degradaciones superficiales, siendo también un buen indicador del estado estructural.
- Lectura de indicadores: Realizar seguimiento en el tiempo al cambio de parámetros que presente un equipo.

2.2.4 Mantenimiento Proactivo

Se ha desarrollado como complemento a la evolución del mantenimiento predictivo. Este concepto engloba los tipos de mantenimiento detallados anteriormente elevándolos a otra dimensión; el análisis de causas. El mantenimiento predictivo puede determinar si algún elemento de la máquina puede fallar, pero no estudia la causa raíz del fallo. El mantenimiento predictivo no responde a la causa por la cual un rodamiento falla repetidamente aunque si nos indique cuando puede fallar. Para cubrir esta incertidumbre, el mantenimiento proactivo o también conocido como fiabilidad de máquina analiza la causa raíz de la repetibilidad de la avería, resolviendo aspectos técnicos de las mismas.

Figura 6. Comparación entre distintos tipos de mantenimiento.



Fuente: www.sinais.es

2.3 HERRAMIENTAS DE MANTENIMIENTO

En la actualidad existen muchas metodologías que sirven como herramienta a mantenimiento para optimizar la gestión sobre sus activos, mejorar la confiabilidad y optimizar los costos, a continuación se nombran algunas de estas:

2.3.1 RCA – Análisis De Causa Raíz

El RCA es un riguroso método de solución de problemas empleado para analizar p p cualquier tipo de falla. Utiliza la lógica deductiva y un árbol lógico de falla. El árbol lógico 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, se puede determinar hasta tres niveles de causas raíz para cualquier evento específico de falla.

Esta técnica permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir los síntomas.

Es comúnmente empleado cuando:

- Existen fallas crónicas o repetitivas.
- Fallas esporádicas, tales como paradas no planeadas, incendios, explosiones, muertes, lesiones importantes, o fallas graves poco frecuentes en los equipos.
- Oportunidades para identificar las deficiencias en los procedimientos operativos y de mantenimiento.

Ventajas de utilizar el RCA:

- Cuando se implementan las recomendaciones, se pueden recuperar más de \$100 por cada \$1 invertido en entrenamiento y en horas hombre comprometidas en una investigación. Ello supone que las fallas específicas que se investigan son las más relevantes.
- 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.

2.3.2 RCM - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM es una metodología de análisis sistemática, objetiva y documentada, que puede ser aplicada a cualquier tipo de instalación industrial; útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de Mantenimiento.

El objetivo principal está enfocado a garantizar la función que realizan los equipos más que los equipos mismos, analiza cada sistema y como estos pueden fallar funcionalmente, se busca que los equipos tengan las condiciones suficientes para realizar bien su función, al igual que se deben conocer todo aquello que dificulte su operación.

El RCM hace énfasis en las fallas como en las características técnicas de las mismas:

- Integra una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Mantiene la atención en las actividades de mantenimiento que más incidencia tienen en el desempeño o funcionamiento de las instalaciones. Esto garantiza que cada peso gastado en mantenimiento se gasta donde más beneficio va a generar.

Mediante el análisis que se realiza por la metodología RCM se obtienen las pautas para realizar una adecuada selección del tipo de mantenimiento a utilizar, permite tener una base firme para establecer políticas de trabajo, y decidir qué repuestos se deben tener en el inventario.

2.3.3 RCM 2

Es considerado la evolución del RCM, este proceso es usado para asegurarse de que cualquier activo, proceso o sistema continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, estas características definen los parámetros principales de ejecución, tales como producción, información, velocidad, alcance y capacidad de transporte.

El proceso RCM 2 define lo que los usuarios quieren en términos de riesgo (seguridad e integridad ambiental), calidad (precisión, exactitud, consistencia y estabilidad), control, comodidad, contención, economía, servicio al cliente, entre otros.

Finalmente, el proceso RCM 2 busca identificar una apropiada política del manejo de fallas para tratar cada modo de falla a la luz de sus consecuencias y características técnicas. Las opciones de la política del manejo de fallas incluyen:

- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento preventivo
- Búsqueda de fallas
- Cambio del diseño o configuración del sistema
- Cambio de la forma en que es operado el sistema
- Operarlo para que falle

2.3.4 TPM – Mantenimiento Productivo Total

Combina las prácticas americanas del mantenimiento predictivo con los conceptos japoneses de control de calidad total involucrando al empleado totalmente; dando como resultado un sistema de equipos de mantenimiento optimizado y efectivos. Promoviendo la autonomía del operador mantenedor en las actividades del día a

día. La filosofía del TPM hace parte de enfoque hacia la calidad total pero hace énfasis en la prevención, es una filosofía a nivel de la compañía, soportada por varias estrategias de desarrollo entrelazadas para maximizar la efectividad global del equipo y eliminar las pérdidas relacionadas con el mismo.

2.3.5 PMO – Optimización del Mantenimiento Planeado

Proceso estructurado para optimizar los resultados de los planes de mantenimiento existente, es un método mediante el cual se busca la actualización de los planes de mantenimiento basándose en el historial de fallas, información técnica, cambios de procesos de operaciones y actualizaciones de las diferentes técnicas de mantenimiento predictivo. Con el PMO se obtiene:

- Reconocimiento de los problemas con información exacta y así mismo su resolución.
- Efectivo uso de los recursos.
- Mejora de la productividad de los operarios.
- Adaptabilidad a las situaciones y los objetivos de cada empresa.

La fuerza fundamental de un programa de PMO es que todas las acciones de mantenimiento tienen valor agregado, y que el sistema mejora la administración de los activos físicos, aparte de los análisis básicos de mantenimiento.

2.4 CRITICIDAD DE EQUIPOS

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la

toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

La selección se haría en base a los siguientes ítems de relevancia: Importancia dentro del proceso. Impacto a la seguridad y el medio ambiente Costo de mantenimiento Rata de fallas.

2.5 PLAN O PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Hace referencia al conjunto de acciones o programas a ejecutar sobre un equipo o máquina, atiende a recomendaciones del fabricante, costo y criticidad tanto para el proceso como para la seguridad de las personas (mantenedores y operadores de la planta) y el medio ambiente; en esta se agrupan las tareas a ejecutar, se detallan procedimientos, se le asignan plazos/frecuencias y se detallan los repuestos a utilizar, se determina qué criterio se va a utilizar. La previsibilidad y el impacto de las fallas sobre el negocio, apuntan hacia el tipo de estrategia a ser adoptada, según la importancia de las unidades de la planta.

2.6 OPTIMIZACIÓN DE COSTOS

Es uno de los objetivos de mantenimiento, se basa en determinar los intervalos óptimos de mantenimiento, para aumentar la productividad de los equipos y minimizar los costos del departamento. Se busca llegar al nivel óptimo, es el punto en el que el que los costos totales, que combina los costos directos, tiempo perdido y deterioro excesivo, son mínimos, y se presenta cuando los costos directos se aproximan a los costos indirectos⁹.

⁹ GARCÍA PALENCIA, Oliverio Administración del mantenimiento y sistemas de control. U.P.T.C 1992

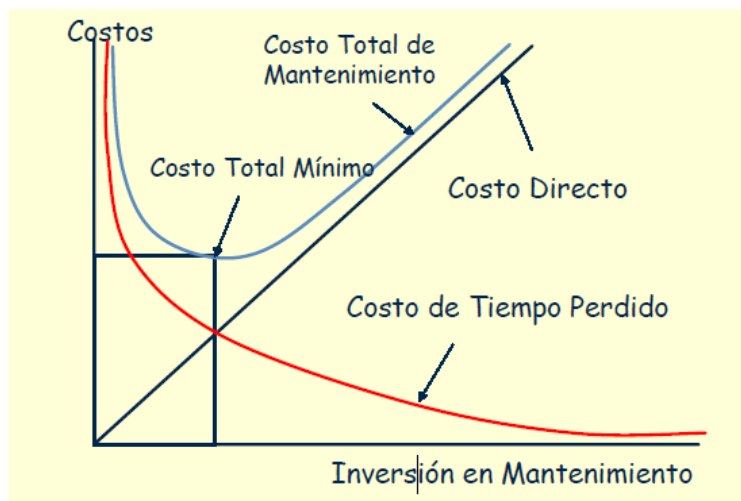
2.6.1 Metodología de Optimización Costo – Riesgo

Metodología que permite lograr una combinación óptima entre los costos asociados al realizar una actividad, tomar decisiones y los logros obtenidos y los costos – riesgos de no hacerlo, empleada para Gerencia de activos, permite tomar decisiones bajo el concepto del mínimo impacto al negocio¹⁰.

Dentro de las características generales para este estudio se encuentra:

- Permite evaluaciones en corto plazo con resultados certeros.
- Optimiza frecuencias y costos de actividades.
- Permite evaluar posible extensión de la vida útil.

Figura 7. Costos del mantenimiento.



Fuente: García Oliverio Administración del mantenimiento 1992

¹⁰ DURÁN J, PERDOMO J. y SOJO L., Aplicación de la técnica “Optimización Costo Riesgo”.

3. PROCESO DE REVISIÓN

3.1. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS

Para el inicio de esta investigación, se dividirán los equipos en tres grupos clasificados según su criticidad. La criticidad de los equipos de la SOA se determinó con el análisis de RCM utilizando la matriz RAM corporativa, evaluando la probabilidad de ocurrencia de la falla de un equipo junto con su impacto (HSE, Económico, Ambiental), lo que genera una consecuencia (Valoración RAM), la cual corresponde a la criticidad del equipo.

Como se mencionaba anteriormente, los equipos se dividieron en tres grupos:

- Equipos críticos
- Equipos esenciales
- Equipos con propósito general.

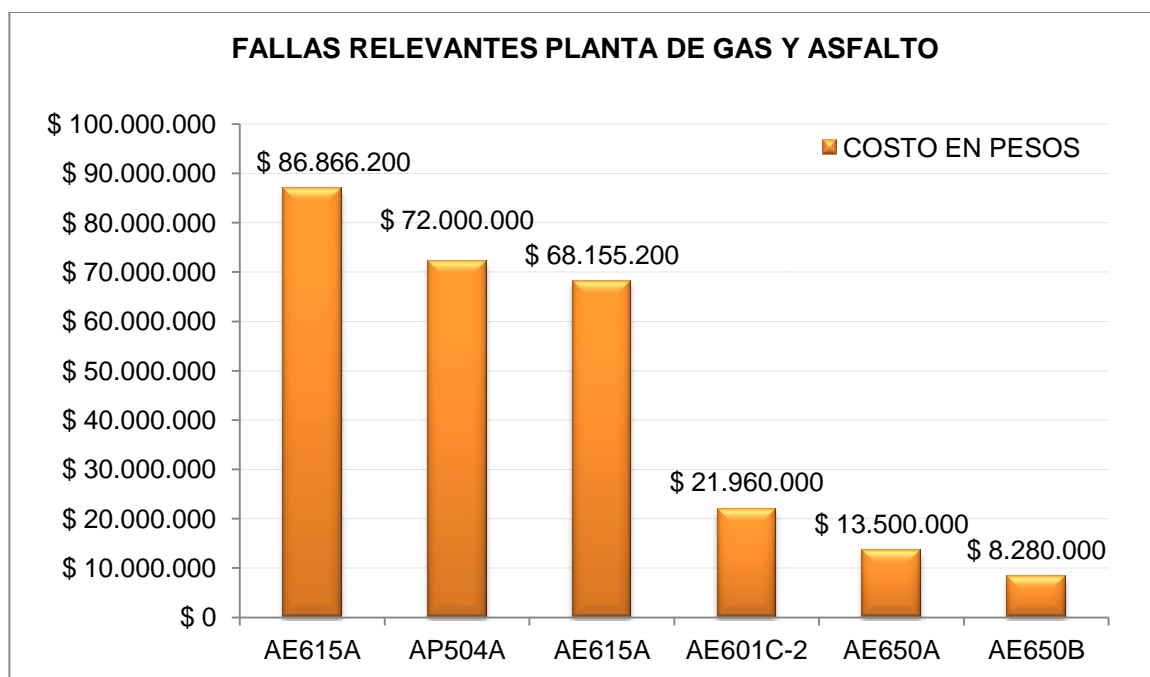
Figura 8. Matriz de criticidad (RAM) de la SOA.

		ETBF	RRM Criticality Class				
Probability Class	H	0 - 0.5 y	L	H	E	X	X
	M	0.5 - 4 y	L	M	H	E	X
	L	4 - 20 y	N	L	M	H	E
	N	> 20 y	N	N	L	M	H
Economics (USD)			Slight Damage <10k	Minor Damage 10-100k	Local Damage 0.1-1M	Major Damage 1-10M	Extensive Damage >10M
Health and Safety			Slight injury	Minor injury	Major injury	Single Fatality	Multiple Fatalities
Environment			Slight Effect	Minor Effect	Localised Effect	Major Effect	Massive Effect
Consequence Class			N	L	M	H	E

Fuente: RELINE, Ecopetrol.

El objetivo general de esta investigación tiene como alcance los equipos críticos y esenciales de la Planta de Gas y Asfalto, sin embargo se adicionaran algunos equipos para considerar aumentar su criticidad ya que han presentado fallas con grandes costos de mantenimiento y de producción, en la tabla 1 se muestran los último análisis causa raíz con el impacto económico en producción.

Figura 9 .Fallas más relevantes de planta de gas y asfalto




Fuente: los autores

Tabla 1.Análisis de causa raíz más importantes de planta de gas y asfalto.

EQUIPO	FALLA	COSTO EN PESOS
AE615A	Falla de rodamientos del motor	\$ 86'866.200
AP504A	Falla en el incrementador	\$ 72'000.000
AE615A	Falla de aislamiento eléctrico	\$ 68'155.200
AE601C-2	Falla ventilador	\$ 21'960.000
AE650A	Falla de chumaceras	\$ 13'500.000
AE650B	Falla de chumaceras	\$ 8'280.000

Fuente: RELINE, Ecopetrol

Tabla 2. Listado de equipos críticos y esenciales de planta de gas.

 MATRIZ DE CRITICIDAD DE EQUIPOS DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO PLANTA DE GAS				
UNIDAD/TAG	DESCRIPCIÓN	CRITICIDAD	FECHA	REVISIÓN
AP690A	BOMBA DE DESPACHO Y TRASVASO DE GLP	CR	19/11/2007	1
AP690B	BOMBA DE DESPACHO Y TRASVASO DE GLP	CR	19/11/2007	1
AP602A	BOMBA DE REFLUJO DE LA T602	ES	19/11/2007	1
AP602B	BOMBA DE REFLUJO DE LA T602	ES	19/11/2007	1
AP602C	BOMBA DE REFLUJO DE LA T602	ES	19/11/2007	1
AP601A	BOMBA DE REFLUJO DE LA T601	ES	19/11/2007	1
AP601B	BOMBA DE REFLUJO DE LA T601	ES	19/11/2007	1
AP601C	BOMBA DE REFLUJO DE LA T601	ES	19/11/2007	1

Fuente: Ecopetrol, ellipse.

Tabla 3. Listado de equipos críticos y esenciales de planta de asfalto.

 MATRIZ DE CRITICIDAD DE EQUIPOS DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO PLANTA DE ASFALTO				
UNIDAD/TAG	DESCRIPCIÓN	CRITICIDAD	FECHA	REVISIÓN
AP525A	BOMBA DE REPROCESO SLOP PESADO	ES	14/05/2008	1
AP525B	BOMBA DE REPROCESO SLOP PESADO	ES	14/05/2008	1
AP511A	BOMBA DESPACHO DE GASOLEO	CR	14/05/2008	1
AP501A	BOMBA DE CARGA CRUDO A REFINERIA	CR	14/05/2008	1
AP501B	BOMBA DE CARGA CRUDO A REFINERIA	CR	14/05/2008	1
AP517	BOMBA RECUPERACION ACEITE ABA501 A ATK508	CR	14/05/2008	1
AP507A	BOMBA DE ACPM PRODUCTO	ES	14/05/2008	1
AP507B	BOMBA DE ACPM PRODUCTO	ES	14/05/2008	1
AP508A	BOMBA DE QUEROSENE PRODUCTO	ES	14/05/2008	1
AP508B	BOMBA DE QUEROSENE PRODUCTO	ES	14/05/2008	1
AP504A	BOMBA DE ASFALTO FONDOS TORRE VACIO	ES	14/05/2008	1
AP504B	BOMBA DE ASFALTO FONDOS TORRE VACIO	ES	14/05/2008	1
AP533A	BOMBA DE DESCARGUE CRUDO CASTILLA	CR	14/05/2008	1
AP533B	BOMBA DE DESCARGUE CRUDO CASTILLA	CR	14/05/2008	1
AP533C	BOMBA DE DESCARGUE CRUDO CASTILLA	CR	14/05/2008	1
AP533D	BOMBA DE DESCARGUE CRUDO CASTILLA	CR	14/05/2008	1

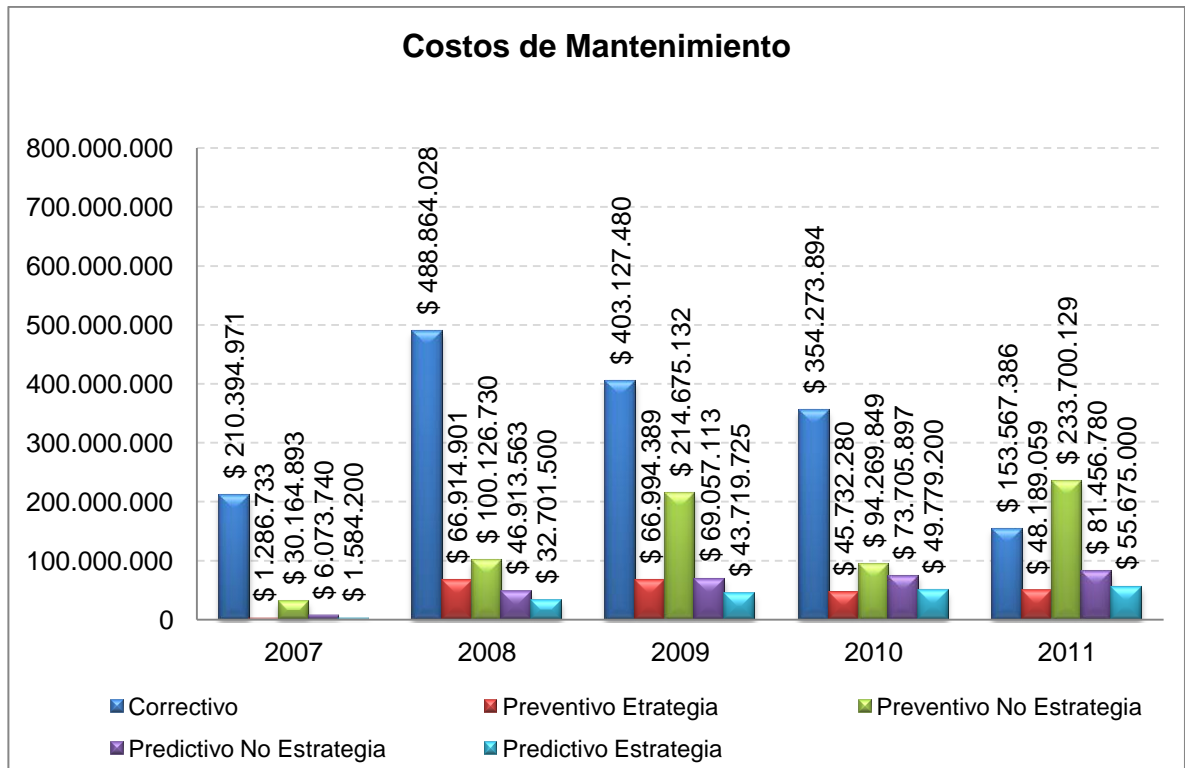
Fuente: Ecopetrol, ellipse.

3.2. ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL

3.2.1. Costos por tipo de mantenimiento

Con la inclusión de las tareas proactivas derivadas del RCM en el 2008, se puede observar una gran disminución de los costos por mantenimientos correctivos aumentando los costos por mantenimientos preventivos fuera de la estrategia generada en gran medida por las recomendaciones predictivas. Sin embargo se puede apreciar en la figura 10. Que los costos de mantenimiento predictivo fuera de la estrategia son mayores comparados con los costos de los predictivos de estrategia lo que insinúa que la aplicación de la estrategia de mantenimiento predictivo no es efectiva.

Figura 10. Gráfica de Costos Por Tipo de Mantenimiento.



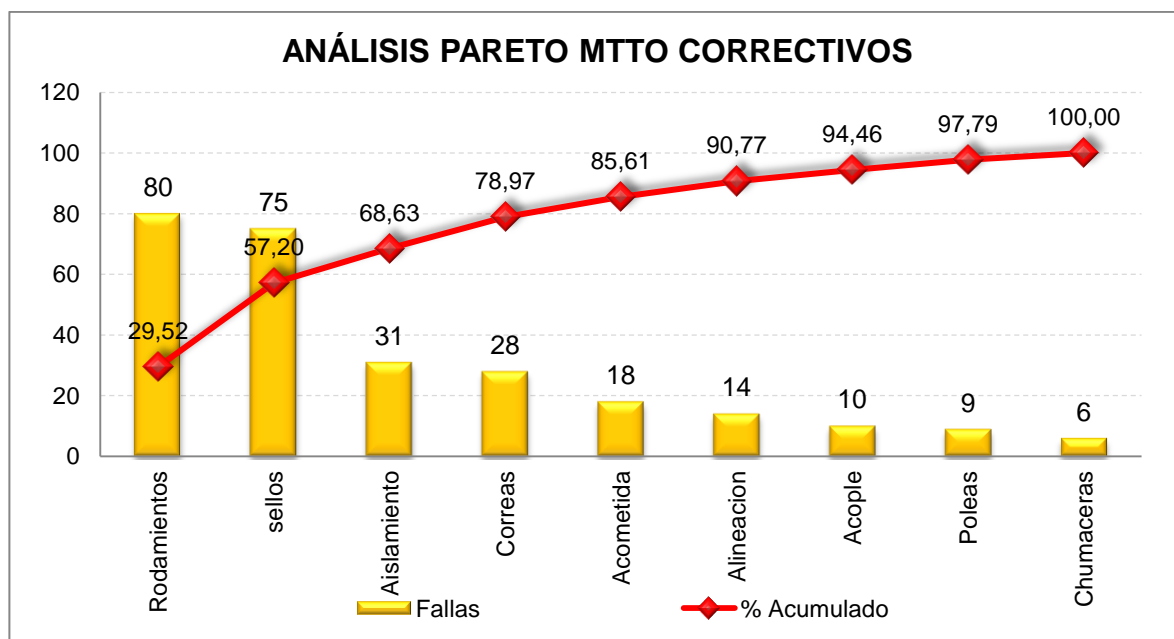
Fuente: Los autores.

También es importante revisar la eficacia de la estrategia de mantenimientos preventivos y evaluar la posibilidad de modificarlos o reemplazarlos por técnicas predictivas.

Pareto de fallas Vs Costos

Se realiza el análisis de Pareto para establecer cuáles fueron las fallas más representativas y las que más impactaron en los costos de mantenimientos correctivos y así enfocar los esfuerzos para que las rutinas de mantenimientos preventivos y predictivos logren mitigar las fallas de los componentes más afectados.

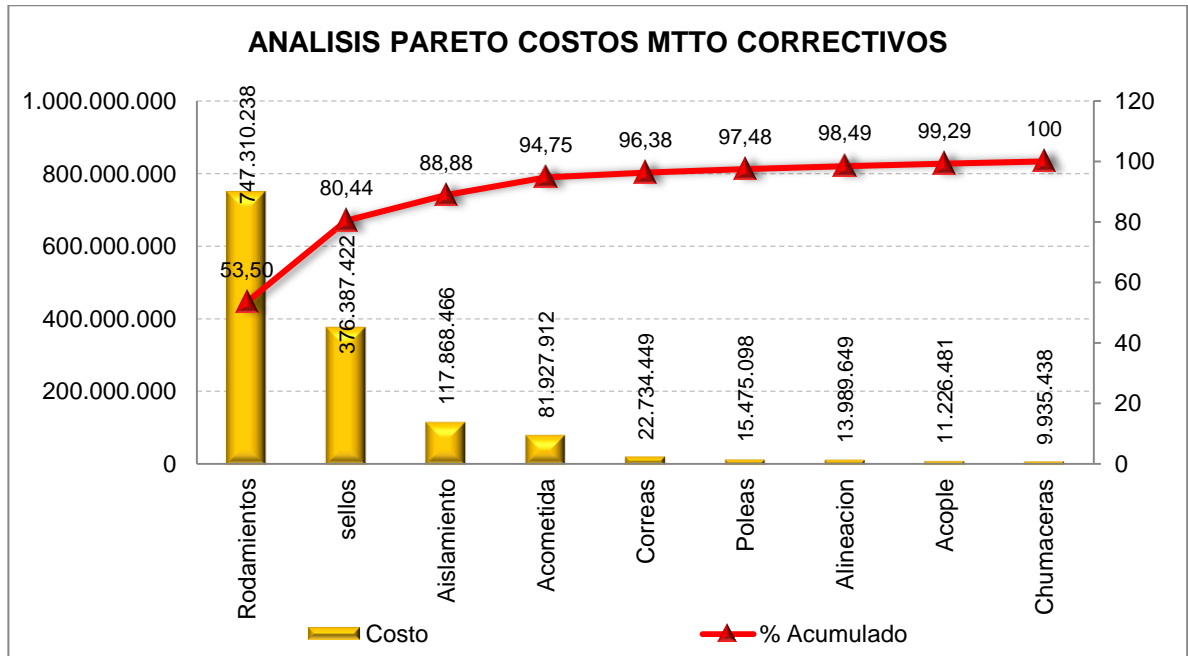
Figura 11. Análisis de Pareto de mantenimientos correctivos para componentes afectados.



Fuente: Los Autores

Se puede apreciar que los componentes más afectados por fallas son los rodamientos, sellos, aislamiento en bobinado y correas.

Figura 12. Análisis de Pareto de mantenimientos correctivos por costos.



Fuente: Los Autores

En los costos de mantenimientos correctivos, sigue encabezando la lista por componentes afectados, rodapiamientos y sellos.

En conclusión, los componentes más afectados que involucran los costos más representativos de mantenimientos correctivos son los rodapiamientos y los sellos.

3.2.2. Cálculo de la tasa de fallas de los equipos (MTBF).

En la tabla 4 se muestran los equipos cuyo MTBF es inferior a un año, su criticidad y el impacto económicos las fallas presentadas anteriormente.

Tabla 4. MTBF inferiores a un año.

Equipo	Costos CO	MTBF	Criticidad
AP504B	53.008.624	140	ES
AP581A	12.934.093	152	PG
AP508A	29.431.667	183	ES
AP504A	119.005.454	228	ES
AP533C	330.904.987	228	CR
AP525B	32.569.989	261	ES
AP581B	7.331.510	261	PG
AE650A	14.957.619	304	PG
AE650B	13.562.339	304	PG
AP501B	23.629.198	304	CR
AE607-1	12.760.930	365	PG
AGI501B	29.916.071	365	PG
AGI501C	9.196.588	365	PG
AP515B	51.006.332	365	PG
AP517	12.627.591	365	CR
AP535B	6.416.336	365	PG
AP602A	14.041.155	365	ES
AP603B	12.798.169	365	PG

Se presentan un total de 18 equipos de los cuales 8 son críticos y esenciales y que representan un 71% de los costos de mantenimientos correctivos en un periodo de 4,5 años sin contabilizar las pérdidas de producción ocasionadas por las fallas de estos equipos.

3.2.3. Revisión de tareas de mantenimiento aplicadas a los equipos.

Para los equipos seleccionados se tienen de 5 a 7 rutinas de mantenimientos preventivos y predictivos de acuerdo al equipo específicamente y con frecuencias que van desde 15 días a 360 días. En la tabla 5 se encuentra el listado de rutinas de mantenimientos con la descripción de las actividades a ejecutar de acuerdo con la rutina.

Tabla 5. Listado de actividades por rutina de mantenimiento preventivo y predictivo.

RUTINAS.	LISTADO DE ACTIVIDADES A EJECUTAR.
MTTO PV ANUAL SIST.EMEI REFINERÍA	Revisar la caja de bornera del motor.
	Revisar conexiones eléctricas de fuerza, control y tierra
	Verificar continuidad, aislamiento y correcta operación de la resistencia de calefacción
	Revisar anclajes y estado externo del motor
	Calcular el índice de polarización
	Verificar fugas por los sellos de los rodamientos
	Revisar conexión mecánica y eléctrica de las RTD´s
	Revisar que el switch de arranque-parada
	Revisar el ajuste de las conexiones eléctricas
	Revisar operación mecánica y eléctrica de los breakers y contactores.
	Revisión visual de la apariencia del relé térmico
	Revisar el estado de cable de fuerza.
	Inspeccionar y reapretar conexiones.
MTTO PV 6 MESES SIST.EMEI REFINERÍA	Medir el aislamiento de los cables desde el tablero hasta el motor
	Revisar switch de arranque.
	Revisar el ajuste de las conexiones eléctricas.
	Medir resistencia de aislamiento entre bobinas y aislamiento con la tierra
	Limpiar y/o cambiar los contactos en tableros de control.
	Revisar operación mecánica y eléctrica de los breakers y contactores.
	Revisar el estado de cable de fuerza.
	Medir el aislamiento de los cables desde el tablero hasta el motor
SERVICIO TRIMESTRAL EQUIPOS REFINERÍA	Revisar la operación mecánica y eléctrica del selector.
	Efectuar cambio de aceite.
	Chequear internos, verificar si hay vibración anormal o ruidos extraños
	Inspeccionar el estado de los empaques
	Efectuar Inspección Visual externa para detectar fugas o fallas al equipo
	Inspeccionar estado del acople
	Verificar estado de anclajes
Chequear estado de rodamientos, lubricar	

LUBRICACION MOTOR ELECTRICO	Retirar el tapón del ducto de drenaje.
	Realizar limpieza de grasera del motor.
	Verificar que el ducto drenaje no se encuentre obstruido
	Aplicar la cantidad de grasa necesaria
	Verificar que salga grasa nueva por el ducto de drenaje.
	Rodar el motor durante 10 minutos para que desalojé el exceso de grasa
.CBM-M: FFT MONITOREO 4SEM VIBR EQ-ROT	Realizar inspección visual de la unidad, en busca de fugas o problemas evidentes.
	Colocar el sensor de vibraciones en(los) punto(s) ya definidos.
	Realizar toma de temperatura en los rodamientos o bujes.
	Registrar datos operativos (Presión succión y descarga)
MTTO ANUAL MOTORES ELECTRICOS PGAS	Revisar la caja de bornera del motor.
	Revisar conexiones eléctricas de fuerza, control y tierra
	Verificar continuidad, aislamiento y correcta operación de la resistencia de calefacción
	Revisar anclajes y estado externo del motor
	Calcular el índice de polarización
	Verificar fugas por los sellos de los rodamientos
	Revisar conexión mecánica y eléctrica de las RTD's
	Revisar que el switch de arranque-parada
	Revisar el ajuste de las conexiones eléctricas
	Revisar operación mecánica y eléctrica de los breakers y contactores.
	Revisión visual de la apariencia del relé térmico
	Revisar el estado de cable de fuerza.
	Inspeccionar y reapretar conexiones.
Medir el aislamiento de los cables desde el tablero hasta el motor	
MTTO SEMESTRAL MOTORES ELECTRICOS PGAS	Revisar switch de arranque.
	Revisar el ajuste de las conexiones eléctricas.
	Medir resistencia de aislamiento entre bobinas y aislamiento con la tierra
	Limpiar y/o cambiar los contactos en tableros de control.
	Revisar operación mecánica y eléctrica de los breakers y contactores.
	Revisar el estado de cable de fuerza.
	Medir el aislamiento de los cables desde el tablero hasta el motor
	Revisar la operación mecánica y eléctrica del selector.

RUTINA QUINCENAL BOMBA LPG	Realizar inspección visual
	Verificar nivel de Glicol del plan API del sello.
	Chequear estado del sello mecánico
	Chequear estado de bujes
	Chequear funcionamiento, verificando presión de descarga
	Chequear estado del cheque de descarga
LUBRICACION MOTOR ELECTRICO	Retirar el tapón del ducto de drenaje.
	Realizar limpieza de grasea del motor.
	Verificar que el ducto drenaje no se encuentre obstruido
	Aplicar la cantidad de grasa necesaria
	Verificar que salga grasa nueva por el ducto de drenaje.
	Rodar el motor durante 10 minutos para que desalojé el exceso de grasa
SERVICIO SEMESTRAL A BOMBAS CENTRIFUGAS	Efectuar cambio de aceite.
	Inspeccionar estado del acople.
	Engrasar acople.
	Realizar inspección al estado de los anillos de lubricación,(salpicadores) .
	Inspeccionar estado del sello mecánico.
	Hacer prueba operacional para verificar estado de válvula cheque.
RUTINA MENSUAL A EQUIPOS PLANTA DE GAS	Ejecutar engrase de chumaceras enfriadores de agua motor y compresor.
	Ejecutar limpieza de la grasa sobrante
	Chequear estado de las correas, pernos y anclajes
	Verificar si hay vibración anormal o ruidos
	Verificar nivelación de aspas de los ventiladores
.CBM-M: FFT MONITOREO 4SEM VIBR EQ-ROT	Realizar inspección visual de la unidad, en busca de fugas o problemas evidentes.
	Colocar el sensor de vibraciones en(los) punto(s) ya definidos.
	Realizar toma de temperatura en los rodamientos o bujes.
	Registrar datos operativos (Presión succión y descarga)

En la tabla 6, se observa las HH totales empleadas para cumplir con la estrategia de los equipos seleccionados y su costo total en HH.

Tabla 6. Costo de HH de la estrategia de mantenimiento preventivo y predictivo.

PILANTA	HH TOTALES ESTRATEGIA	COSTO HH	COSTO ESTRATEGIA
GAS	871,66	43.088	37.558.086,08
ASFALTO	221,2	43.088	9.531.065,60
		TOTAL	47.089.151,68

EQUIPO	COSTO/DIA	COSTO AÑO
Vibraciones	41.000	14.760.000

TOTAL PREVENTIVO	47.089.151,68
TOTAL PREDICTIVO	14.760.000,00
TOTAL ESTRATEGIA	61.849.151,68

4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1. INVESTIGACIÓN DE TÉCNICAS PREDICTIVAS DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES ELÉCTRICOS.

4.1.1. Mantenimiento predictivo basado en chequeos de máquinas eléctricas rotatorias energizadas (emax) y desenergizadas (mce).

El equipo PRE-MCEMAX es el único equipo capaz de realizar tanto pruebas estáticas como dinámicas en motores de cualquier tipo, tamaño o condición.

Combina la precisión de un analizador de circuitos con la comodidad de un analizador calidad de suministro eléctrico además tiene la capacidad de generar un histórico de tendencias e indicar al operador cambios de condición. El analizador PRE-MCEMAX permite a través del análisis de voltajes y corrientes en los equipos la medición y diagnóstico del motor detectando los posibles problemas asociados a cada una de las zonas de fallos del motor: calidad de suministro eléctrico, circuito eléctrico, aislamiento, estator y rotor.

Figura 13. Imágenes del equipo MCEmax y su aplicación.



Ventajas:

- Pruebas estáticas
- Pruebas dinámicas
- Integración de técnicas.
- Indicación de las fallas incipientes.
- Permite almacenar datos para tendencias y comparativos.
- Pruebas no destructivas.
- Pruebas no intrusivas.
- Pruebas de corta duración.

Verificador estático.

Informe detallado del motor y condiciones del circuito, evalúa todas las posibles zonas de fallo en un motor-generador.

- Tensión de prueba desde 250V hasta 5KV.
- Medidas de resistencia de aislamiento hasta $3T\Omega$
- Medidas de capacitancia y de inductancia.
- Ciclo automático de Test:
 - RIC (Rotor Influence Check)
 - RTG (Resistencia a tierra)
 - CTG (Capacidad a tierra)
 - RTF (Resistencia entre fases)
 - ITF (Inductancia entre fases)
 - IP (Índice de polarización)
 - DAR (Absorción dieléctrica)
 - Tensión escalonada o índice de reabsorción
- Duración del ciclo de pruebas 3 min.
- Los datos medidos incluyen:

- Resistencia e inductancias fase a fase
- Equilibrio de resistencias e inductancias.
- Capacitancia a tierra
- Índice de polarización
- Ratio de absorción dieléctrica
- Resistencia a tierra medida y corregida
- Resistencia, Capacitancia e Inductancia de campo

4.1.2. Verificador dinámico

Ofrece el enfoque más versátil para la detección y generación de un histórico de tendencias en motores conectados a la red.

- Válido para motores de baja, media y alta tensión
- Seis canales de adquisición simultánea
- Análisis de par y eficiencia
- Medida de impedancia y ángulo de fase
- Firmas de voltaje y corriente
- Los datos medidos incluyen:
 - Análisis del espectro de corriente
 - Análisis de excentricidad
 - In Rush / Start-up
 - Tensión entre fases RMS
 - Tensión línea-neutro RMS
 - Desequilibrio de tensiones
 - Factor de cresta
 - Distorsión armónica (THD)
 - % Carga Nominal
 - Intensidad media RMS
 - Intensidad de fase RMS

- Impedancia de fase
- Desequilibrio de impedancias
- Análisis de Energía (KW, KVA, KVAR)
- Power Factor
- Eficiencia
- Energía de salida
- Par

Análisis de zonas de fallo: Las vibraciones en máquinas eléctricas pueden tener un origen mecánico o eléctrico. Los síntomas que sirven al diagnóstico de los fallos de origen eléctrico se pueden encontrar en los espectros de vibración o en la señal dinámica de corriente o tensión del motor en cada fase. Los problemas de origen eléctrico detectables con las técnicas de análisis de vibración, corriente y tensión se pueden clasificar en seis zonas de fallo:

- Problemas en la calidad de la alimentación, detectable mediante la prueba de potencia.
- Fallos en el circuito de potencia, detectables por las pruebas estándar y la prueba de potencia.
- Defectos en el aislamiento, detectable por la prueba estándar, el índice de polarización y la prueba de voltaje a pasos.
- Fallos de estator, detectable por la prueba estándar, influencia de rotor, la prueba de potencia y la prueba de arranque.
- Fallos de rotor, detectable por análisis de vibraciones, prueba estándar, prueba de la influencia de rotor, evaluación de rotor y prueba de arranque.
- Defectos en el entrehierro, detectable por análisis de vibraciones, prueba estándar, influencia de rotor y prueba de excentricidad.

Tabla 7. Tipos de pruebas a realizar según la zona de falla.

Zona de Fallo	Pruebas Estáticas	Pruebas Dinámicas
Calidad de Energía		Prueba de Potencia
Aislamiento	Prueba Estándar Índice de Polarización Voltaje a Pasos	
Circuito de Energía	Prueba Estándar	Prueba de Potencia
Estator	Prueba Estándar Influencia de Rotor	Prueba de Potencia Arranque/Inicio
Rotor	Prueba Estándar Influencia de Rotor	Alta/Baja Resolución Arranque/Inicio
Entrehierro	Prueba Estándar Influencia de Rotor	Excentricidad

Entre los problemas que se pueden localizar están los siguientes:

- Terminales y conexiones flojas, oxidadas o de alta resistencia.
- Variadores de frecuencia defectuosos.
- Barras o anillos flojos o rotos.
- Conductores defectuosos, dañados o de alta resistencia.
- Deterioros en el aislamiento.
- Fusibles o contactos oxidados.
- Desequilibrios en el circuito.
- Consumos excesivos de energía.
- Excentricidad.
- Cortocircuitos.

Así pues la utilización del equipo PRE-MCEMAX tanto para pruebas estáticas como para pruebas dinámicas permite la caracterización del estado del motor

analizado identificando además el área del motor en la cual se puede estar desarrollando el fallo.

4.1.3. Termografía.

La termografía es un método de inspección de equipos eléctricos y mecánicos mediante la obtención de imágenes de su distribución de temperatura. Este método de inspección se basa en que la mayoría de los componentes de un sistema muestran un incremento de temperatura en mal funcionamiento. El incremento de temperatura en un circuito eléctrico podría deberse a una mala conexión o problemas con un rodamiento en caso de equipos mecánicos. Observando el comportamiento térmico de los componentes pueden detectarse defectos y evaluar su seriedad.

Figura 14. Imagen térmica de un conector eléctrico.



La herramienta de inspección utilizada por los termógrafos es una cámara térmica. Son equipos sofisticados que miden la emisión natural de radiación infrarroja

procedente de un objeto y generan una imagen térmica. Las cámaras de termografía modernas son portátiles y de fácil manejo. Al no necesitar contacto físico con el sistema, las inspecciones pueden realizarse a pleno funcionamiento sin pérdida o reducción de productividad.

Figura 15. Inspección de un equipo mecánico utilizando una cámara de termografía



Ventajas de la termografía.

- No hay contacto físico con el equipo eliminando el riesgo de personas.
- Identificación precisa del elemento en falla.
- Tiempo real.
- Bajos Costos.
- Rapidez.

Sus aplicaciones potenciales incluyen:

- Inspección de equipos eléctricos.
- Inspección de equipos mecánicos.
- Inspección de estructuras de material refractario.
- Monitorización de procesos, etc

4.1.4. Sverker.

Equipo para generación de bajas corrientes; enfocado principalmente a la prueba y comprobación de relés de protección en variables de Tensión y Corriente; permitiendo representar también variables como Impedancia, Potencias, Factor de potencia y Resistencia.

Su alcance esta priorizado a la generación monofásica de la variable; aunque con la combinación de 2 o más módulos se puede realizar aplicación trifásica de corriente y tensión.

Con una apropiada configuración y conexión se pueden realizar pruebas a relés diferenciales y otras funciones contempladas en la norma IEEE.

Aplicaciones.

- Relé de sobrecorriente temporizada o instantánea 50 / 51
- Relé de mínima corriente 37
- Relé de sobrecorriente de tierra 50N / 51N
- Relé de sobrecorriente direccional de fases y tierra 67 / 67N
- Relé de sobretensión 59
- Relé de subtensión 27
- Relé de corriente direccional 91
- Relé de potencia inversa 32
- Relé bajo de factor de potencia 55
- Protección diferencial 87
- Equipo de protección de distancia 21
- Relé de intensidad máxima de secuencia negativa 46N
- Protección contra sobrecarga de motores 51/86
- Dispositivos de reconexión automática 79

- Relés de disparo 94
- Trazado de curvas de excitación
- Ensayos de relación entre transformador de V e I
- Ensayos (de dirección) de polaridad

Ventajas.

- Bajo consumo de corriente.
- Fácil lectura y configuración.
- Cumplimiento de normas de seguridad y operación americanas.
- Puerto serial para comunicación con PC y programa SVERKER Win.
- Fácil traslado de un lugar a otro gracias a su ligero peso 20 kg.
- Permite realizar ajustes finos mediante su banco de resistencias incorporado.

Figura 16. Imagen del equipo Sverker.



4.2. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE TÉCNICAS DISPONIBLES

4.2.1. Comparación y selección de técnicas aplicadas.

De la revisión de las técnicas seleccionadas se escogen la termografía y pruebas estáticas y dinámicas de motores eléctricos MCEmax. En la tabla 8, se puede observar las tareas que se tienen en las rutinas eléctricas de los motores, señalando la técnica que se puede incorporar.

La demás rutinas quedaran vigentes ya que son de lubricación y toma de vibraciones, sin embargo se recalcularan las frecuencias.

Tabla 8. Tareas de las rutinas preventivas y las técnicas que se pueden emplear

RUTINAS	LISTADO DE ACTIVIDADES A EJECUTAR.	TECNICA PROPUESTA
MTTO PV ANUAL SIST.EMEI REFINERIA	Revisar la caja de bornera del motor.	TEC ELECTRICO
	Revisar conexiones eléctricas de fuerza, control y tierra	TERMOGRAFIA
	Verificar continuidad, aislamiento y correcta operación de la resistencia de calefacción	MCEmax
	Revisar anclajes y estado externo del motor	VIBRACIONES
	Calcular el índice de polarización	MCEmax
	Verificar fugas por los sellos de los rodamientos	VIBRACIONES
	Revisar conexión mecánica y eléctrica de las RTD´s	TERMOGRAFIA
	Revisar que el switch de arranque-parada	OPERACIONES
	Revisar el ajuste de las conexiones eléctricas	TERMOGRAFIA
	Revisar operación mecánica y eléctrica de los breakers y contactores.	TEC ELECTRICO
	Revisión visual de la apariencia del rele térmico	TEC ELECTRICO
	Revisar el estado de cable de fuerza.	MCEmax
	Inspeccionar y reapretar conexiones.	TERMOGRAFIA
	Medir el aislamiento de los cables desde el tablero hasta el motor	MCEmax
MTTO PV 6 MESES SIST.EMEI REFINERIA	Revisar switch de arranque.	OPERACIONES
	Revisar el ajuste de las conexiones eléctricas.	TERMOGRAFIA
	Medir resistencia de aislamiento entre bobinas y aislamiento con la tierra	MCEmax
	Limpiar y/o cambiar los contactos en tableros de control.	TERMOGRAFIA
	Revisar operación mecánica y eléctrica de los breakers y contactores.	TEC ELECTRICO

	Revisar el estado de cable de fuerza.	MCEmax
	Medir el aislamiento de los cables desde el tablero hasta el motor	MCEmax
	Revisar la operación mecánica y eléctrica del selector.	TEC ELECTRICO

Se puede observar que en su mayoría, las tareas preventivas se pueden reemplazar por técnicas predictivas, además que las pocas tareas que tiene que ejecutar el personal técnico, la puede realizar el personal de mantenimiento predictivo ya que son técnicos electricistas los que ejecutan las técnicas de termografía y MCEmax.

4.3. CÁLCULO DE FRECUENCIAS DE TAREAS PREVENTIVAS Y PREDICTIVAS.

De la revisión de la estrategia actual, se concluyó gracias al análisis de Pareto sobre las fallas que incurren en los costos de mantenimientos correctivos más altos, que las fallas por rodamientos, sellos, aislamiento y acometidas son las que se necesitan mitigar. Para esto se realizara el recalcu de las frecuencias de monitoreos de vibraciones y las rutinas de lubricación, además de calcular una frecuencia inicial para realizar los monitoreos con las nuevas técnicas de termografía y análisis dinámico y estático con MCEmax. En la tabla 9 se muestra la técnica que debería de mitigar las fallas de mayor impacto.

Tabla 9. Técnicas disponible vs fallas a mitigar.

FALLA A MITIGAR	TECNICA A UTILIZAR
FALLA EN RODAMIENTOS.	ANALISIS DE VIBRACIONES Y RE-LUBRICACION
FALLA EN SELLOS	ANALISIS DE VIBRACIONES E INSPECCION VISUAL
FALLA EN AISLAMIENTO	MCEmax Y TERMOGRAFIA.
FALLA EN ACOMETIDAS	MCEmax

Fuente: los autores

4.3.1. Calculo de frecuencias de las rutinas preventivas de re lubricación.

Alcance: Plantear una acción de mejora relacionada al proceso de lubricación de los motores de (aeroenfriadores y bombas) de los equipos de planta de gas y asfalto calculando la cantidad de grasa necesaria y la frecuencia de lubricación adecuada.

La propuesta presentada a continuación consiste en calcular la cantidad específica de grasa que se debe usar en los equipos y compararlo con lo aplicado en campo. Igualmente se determinara la frecuencia de lubricación de acuerdo al cálculo establecido para cada equipo y comparar con la rutina establecida en todos los motores y chumaceras mencionados anteriormente.

Los datos utilizados para desarrollar los cálculos se recolectaron en cada uno de los equipos de planta de gas y asfalto igualmente se verificaron datos en el CMMS Ellipse

Para motores eléctricos la grasa que se utiliza es (Mobiltemp SCH100) de consistencia grado 2.

En las chumaceras (soportes) se utiliza actualmente Grasa Multipropósito EP2.

Calculo de cantidad de grasa en los rodamientos y chumaceras.

Existen múltiples calculadoras, tablas y cartas para determinar el volumen correcto de grasa a aplicar en un intervalo determinado. Hay una ecuación simple recomendada que toma un enfoque lógico para determinar el volumen de grasa a aplicar.

La ecuación es:

$$G = 0.005 \times D \times B$$

En donde G = la cantidad de grasa en gramos,

D = el diámetro exterior en milímetros y

B = el ancho del rodamiento en milímetros.

4.3.2. Calculo de frecuencias de re lubricación.

El intervalo de re lubricación es el periodo de tiempo durante el cual la grasa mantiene las propiedades de lubricación requeridas. Cuando este se sobrepasa hay que lubricar el rodamiento de nuevo de modo que la grasa usada sea totalmente eliminada del rodamiento y del espacio interior del alojamiento.

El intervalo de re lubricación depende ante todo de la serie y tamaño del rodamiento, de la velocidad de giro, de la temperatura de funcionamiento y de la calidad del lubricante. A temperaturas por encima de +70°C deberán reducirse los intervalos de re lubricación a la mitad del valor por cada 15°C de aumento de la temperatura por encima de los +70°C. A temperaturas por debajo de +40°C el intervalo de re lubricación se puede aumentar hasta el doble. Los rodamientos pequeños sobre todo los de una hilera de bolas tienen un intervalo de re lubricación superior a la duración del rodamiento por lo que no es necesario re lubricarlos.

Para la SOA se tienen 4 rutinas de estrategia de lubricación de los motores y chumaceras de planta de gas y asfalto con frecuencias que van desde 28, 60 y 84 días.

En la tabla 11, están las rutinas de los equipos a los cuales se les debe de adicionar grasa sin tener algún soporte que indique que cantidad de grasa se debe adicionar.

Tabla 11. Rutinas de re lubricación existentes.

TAG	DESCRIPCION	RUTINAS	FRENTE	FRECUENCIA
AGAS	LUBRICACION CHUMACERAS PLANTA DE GAS	RUTINA MENSUAL A EQUIPOS PLANTA DE GAS	MECANICO	28
AGAS	LUBRICACION MOTORES PLANTA DE GAS	LUBRICACION MOTOR ELECTRICO	ELECTRICO	60
AREFINERIA	LUBRICACION VENTILADORES DE ENFRIADORES REFINERIA	SERVICIO TRIMESTRAL EQUIPOS REFINERIA	MECANICO	84

Fuente: Ecopetrol, Ellipse.

Tabla 12. Calculo de la frecuencia de re lubricación y cantidades de grasa.

Equipo	TAG	COMPONENTE	FRECUENCIA DE LUBRICACION ACTUAL	FRECUENCIA DE LUBRICACION PROPUESTA DIAS	CANTIDAD DE GRASA	
					PUNTO LA	PUNTO LL
Rodamientos del Sistema de Refrigeración AXC 601 A	AEROENFRIADOR AE 615A	MOTOR	2 MES	75	15 gr.	15 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 616A	MOTOR	2 MES	75	15 gr.	15 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	
Rodamientos del Sistema de Refrigeración AXC 601 B	AEROENFRIADOR AE 615B	MOTOR	2 MES	90	15 gr.	6 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 616B	MOTOR	2 MES	90	11 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	
Rodamientos del Sistema de Refrigeración AXC 601 C	AEROENFRIADOR AE 615C	MOTOR	2 MES	90	18 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	35 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 616C	MOTOR	2 MES	75	18 gr.	10 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	35 gr.	
Rodamientos del Sistema de Refrigeración AXC 602 A	AEROENFRIADOR AE 617A	MOTOR	2 MES	90	11 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 618A	MOTOR	2 MES	90	6 gr.	8 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	
Rodamientos del Sistema de	AEROENFRIADOR AE 617B	MOTOR	2 MES	90	12 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	

Refrigeración AXC 602 B	AEROENFRIADOR AE 618B	MOTOR	2 MES	90	8 gr.	8 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	
Rodamientos del Sistema de Refrigeración AXC 602 C	AEROENFRIADOR AE 618C	MOTOR	2 MES	90	12 gr.	8 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	
Rodamientos del Sistema de Refrigeración AXC 650 A	AEROENFRIADOR AE 651A	MOTOR	2 MES	90	11 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 652A	MOTOR	2 MES	90	8 gr.	8 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	
Rodamientos del Sistema de Refrigeración AXC 650 B	AEROENFRIADOR AE 651B	MOTOR	2 MES	90	11 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 652B	MOTOR	2 MES	90	11 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	39 gr.	
RODAMIENTOS ENFRIADOR DESCARGA PRIMERA ETAPA XC601A	AEROENFRIADOR AE 601 A	MOTOR	2 MES	90	15 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	20 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 601 B	MOTOR	2 MES	90	15 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	20 gr.	

	AEROENFRIADOR AE 601 C	MOTOR	2 MES	90	15 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	20 gr.	
RODAMIENTOS CONDENSADOR DE GASES CIMA T602	AEROENFRIADOR AE 607 1	MOTOR	2 MES	90	15 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	20 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 607 2	MOTOR	2 MES	90	15 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	20 gr.	
RODAMIENTOS CONDENSADOR DE GASES CIMA T603	AEROENFRIADOR AE 607 A1	MOTOR:	2 MES	90	11 gr.	7 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	15 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 607 A2	MOTOR	2 MES	90	11 gr.	7 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	15 gr.	
RODAMIENTOS ENFRIADOR FONDOS T-602	AEROENFRIADOR AE 609-1	MOTOR	2 MES	90	9 gr.	5 gr.
		CHUMACERA	1 MES	90	16 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 609-2	MOTOR	2 MES	90	9 gr.	5 gr.
		CHUMACERA	1 MES	90	16 gr.	
RODAMIENTOS ENFRIADOR DE GAS DOMESTICO	AEROENFRIADOR AE 610 A	MOTOR	2 MES	75	15 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	90	16 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 610 B	MOTOR	2 MES	75	15 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	90	16 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 610 C	MOTOR	2 MES	75	15 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	15 gr.	
ENFRIADOR DE GAS	AEROENFRIADOR AE 611	MOTOR	2 MES	90	9 gr.	5 gr.

DE REGENERACION		CHUMACERA	1 MES	75	16 gr.	
RODAMIENTOS ENFRIADOR CONDENSADOR DE PROPANO	AEROENFRIADOR AE 650 A	MOTOR	2 MES	60	21 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	20 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 650 B	MOTOR	2 MES	90	11 gr.	9 gr.
		CHUMACERA	1 MES	45	20 gr.	
BOMBA DE REFLUJO DE LA T601	Motor - Bomba AP601 A	MOTOR	2 MES	90	8gr.	8gr.
	Motor - Bomba AP601 B	MOTOR	2 MES	90	8gr.	8gr.
	Motor - Bomba AP601 C	MOTOR	2 MES	90	8gr.	8gr.
BOMBA DE REFLUJO DE LA T602	Motor - Bomba AP602 A	MOTOR	2 MES	90	8gr.	8gr.
	Motor - Bomba AP602 B	MOTOR	2 MES	90	8gr.	8gr.
BOMBA SALIDA CONDENSADOS D601	Motor - Bomba AP603 A	MOTOR	2 MES	90	8gr.	8gr.
	Motor - Bomba AP603 B	MOTOR	2 MES	90	8gr.	8gr.

Equipo	TAG	COMPONENTE	FRECUENCIA DE LUBRICACION ACTUAL	FRECUENCIA DE LUBRICACION PROPUESTA DIAS	CANTIDAD DE GRASA	
Planta de Asfalto	Motor - Bomba AP504A	MOTOR	2 meses	90	20gr.	18 gr.
Planta de Asfalto	Motor - Bomba AP504B	MOTOR	2 meses	90	18 gr.	33 gr
Planta de Asfalto	Motor - Bomba AP592B	MOTOR	2 meses	90	18 gr.	18 gr.
Planta de Asfalto	Motor - Bomba AP508A	MOTOR	2 meses	60	9 gr.	28 gr.
Planta de Asfalto	Motor - Bomba AP508B	MOTOR	2 meses	60	9 gr.	28 gr.
Rodamientos del	AEROENFRIADOR AE 506	MOTOR	2 meses	75	5 gr.	5 gr.

Sistema de enfriamiento de Keroseno proceso		CHUMACERA	1 MES	75	15 gr.	
Rodamientos del Sistema de enfriamiento de ACPM proceso	AEROENFRIADOR AE 507	MOTOR	2 meses	75	5 gr.	5 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	15 gr.	
Rodamientos del Sistema de Destilacion atmosferica	AEROENFRIADOR AE 505 A	MOTOR	2 meses	75	13 gr.	13 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	15 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 505 B	MOTOR	2 meses	75	13 gr.	13 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	15 gr.	
Rodamientos del Sistema de enfriamiento de Gasoleo proceso	AEROENFRIADOR AE 517 A	MOTOR	2 meses	75	8 gr.	8 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	15 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 517 B	MOTOR	2 meses	75	8 gr.	8 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	15 gr.	
Rodamientos de enfriador Sistema de	AEROENFRIADOR AE 518 A	MOTOR	2 meses	75	8 gr.	8 gr.

Destilacion al Vacio		CHUMACERA	1 MES	75	20 gr.	
	AEROENFRIADOR AE 518 B	MOTOR	2 meses	75	8 gr.	8 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	20 gr.	
Rodamientos del Sistema de enfriamiento de Keroseno proceso	AEROENFRIADOR AE 591A	MOTOR	2 meses	75	20 gr.	20 gr.
		CHUMACERA	1 MES	75	20 gr.	

4.3.3. Cálculo de frecuencias de las rutinas predictivas mecánicas (Vibración) y eléctricas (MCEmax y Termografía).

Alcance: Realizar un comparativo entre la actual estrategia de mantenimiento predictivo mecánico y eléctrico y una metodología propuesta para el cálculo de frecuencias de monitoreo de vibraciones basándose en tasas de falla de equipos en los últimos 5 años y sus costos de mantenimiento.

Para el cálculo de las frecuencias de mantenimiento predictivo, no se tiene establecida una metodología exacta de cómo debe de ser los cálculos para llegar a la frecuencia efectiva. Se tienen diversas recomendaciones de cuáles podrían ser las frecuencias, pero estas se han basado en historiales de otros equipos similares (OREDA, EPRI etc).

Se escoge una metodología expuesta por un ingeniero venezolano, en donde involucra los costos de las rutinas, las fallas potenciales y la tasa de falla de un periodo evaluado. Esta metodología es atractiva ya que involucra el historial de los equipos evaluados en determinado tiempo y no se siguen las recomendaciones basadas en comportamientos de otros equipos.

4.3.4. Método de cálculo de frecuencias de monitoreo

Para el cálculo de una nueva frecuencia de monitoreo para cada grupo de equipos se propone la siguiente metodología:

El valor del intervalo entre inspecciones predictivas será directamente proporcional a tres factores: el factor de costo, el factor de falla y el factor de ajuste. Así, la relación matemática estará definida como:

$$I = C \times F \times A$$

Donde

C es el factor de costo

F es el factor de falla y

A es el factor de ajuste

4.4. Factor de Costo

Se define como factor de costo, el costo de una inspección predictiva dividido entre el costo en que se incurre por no detectar la falla. En general, este costo es igual al tiempo que tarda llevar el repuesto desde el almacén (externo o propio) en condición de parada no planificada hasta el lugar donde ocurre la falla, multiplicado por la cantidad de dinero que se pierde por unidad de tiempo de parada del equipo que la presenta. Otros costos asociados a no poder predecir la falla tienen que ver con el impacto de esta en la calidad de los productos, la seguridad industrial y el cuidado del ambiente.

Para los casos donde la seguridad industrial y el ambiente se puedan ver perjudicados se recomienda el monitoreo continuo de la condición del equipo ya que los costos de una lesión o del impacto ambiental son inestimables, o en el mejor de los casos, su valor tiende a ser tan alto que el intervalo de inspección tiende a 0.

La relación del factor de costo es la siguiente:

$$C = C_i / C_f$$

Donde

C_i es el costo de una inspección predictiva (en unidades monetarias)

C_f es el costo en que se incurre por no detectar la falla (en unidades monetarias)

Nótese que el factor de costo es un número a dimensional.

Para efectos de esta evaluación se toma como costo de inspección un día de salario con todas sus prestaciones de una pareja de CBM compuesta por Analista y Técnico, que tienen un valor aproximado a\$ 260.000 pesos.

4.5. Factor de Falla

Se define como factor de falla la cantidad de fallas que pueden detectarse con la inspección predictiva dividida entre la rata de fallas. La relación del factor de falla es la siguiente

$$F = F_i / \lambda$$

Donde F_i es la cantidad de modos de falla que pueden ser detectados utilizando la tecnología predictiva (expresada en fallas por inspección) y λ es la rata de fallas presentada por el equipo, y que además, podrían ser detectadas por la tecnología predictiva a ser aplicada (expresada en fallas por año). Nótese que la unidad del factor de falla es años por inspección.

Para efectos de nuestra evaluación F_i tendrá un valor igual a 7 para fallas mecánicas y 6 para fallas eléctricas, que son el número de diferentes tipos de fallas que se pueden determinar en los equipos analizados.

4.6. Factor de Ajuste

Una vez calculado el producto entre el factor de costo y el factor de falla, se procede a multiplicarlo por un factor de ajuste, el cual, estará basado en la probabilidad de ocurrencia de más de 0 fallas en un año utilizando la distribución

acumulativa de Poisson con media igual a λ (rata de fallas expresada como fallas por año). Para calcular este factor utilizaremos la función matemática logaritmo natural multiplicada por -1 ($-\ln$), la cual, se comporta de una manera muy parecida al criterio gerencial de incremento o decremento del intervalo de inspección al tomar en cuenta la probabilidad de ocurrencia de más de 0 fallas en un año. Para valores de probabilidad de ocurrencia entre 0 y valores cercanos a 0.37, la función arroja resultados desde infinito hasta 1 y para valores de probabilidad entre 0.37 y 1 la función arroja resultados entre 1 y 0. Por lo que a mayor probabilidad de ocurrencia, el intervalo de inspección predictiva se reducirá de forma exponencial. La probabilidad de ocurrencia de más de cero fallas se expresa como:

$$1 - P(0, \lambda) = 1 - e^{-\lambda}$$

Donde $P(0, \lambda)$ es la función de distribución acumulativa de Poisson para un valor de ocurrencia 0 y media λ así, el factor de ajuste será igual a:

$$A = -\ln(1 - e^{-\lambda})$$

Nótese que el factor de ajuste es un número a dimensional. De acuerdo a lo anteriormente expuesto, el intervalo de inspecciones predictivas queda definido como:

$$I = -C_i \times F_i \times \ln(1 - e^{-\lambda})$$

$$C_f \times \lambda$$

Expresado en años por inspección. Siendo el inverso de esta relación igual a la frecuencia de inspección (f), la misma estará expresada en inspecciones por año. Este modelo es recomendable para valores de λ menores que 1, ya que para valores mayores que la unidad, la frecuencia de inspección se puede incrementar en tal dimensión, que los costos de inspección por año pueden ser superiores al costo de no poder detectar la falla. Para valores de frecuencia superiores a 52 inspecciones por año y para valores de costos anuales de inspección superiores al 10 % del costo total de la no posibilidad de detección de falla, se recomienda estudiar la instalación de dispositivos de monitoreo continuo para tener una información en tiempo real referente a los parámetros seleccionados para establecer el mantenimiento por condición y/o hacer análisis de causa raíz, destinados a disminuir la rata de fallas a valores inferiores a 1 falla por año, mediante el rediseño de los equipos, de las políticas o de los procedimientos de operación, ingeniería y mantenimiento.

4.6.1. Análisis de Frecuencias de Monitoreo Según Método Propuesto

Para el cálculo de los factores implicados en este análisis, se analizó la información contenida en las OT de cada uno de los grupos de equipos entre los años 2007-2011 encontrando los eventos de falla o reparaciones que fueron o pudieron haber sido identificados por medio de las técnicas mecánicas y eléctricas y adicionalmente se identificó el mayor costo potencial por la no detección de una falla.

Al aplicar la metodología de cálculo de frecuencias de monitoreo para los equipos seleccionados se obtuvieron frecuencias muy diferentes para cada una de las clases de equipos, que varían desde 1 hasta 73 veces por año. Esta variación se debe en parte los altos costos potenciales de las fallas de algunos equipos, a la frecuencia de fallas registradas en el sistema y a la poca o mucha

información que se encuentre de las reparaciones realizadas durante el periodo del análisis.

Se encontraron casos en donde equipos con stand by se encontraron con frecuencias de 15 y 90 días ya que es común que se deje el mismo equipo como stand by y el que está funcionando es el que registra mayor numero de fallas, esto es debido a que no se tiene una política de stand by en donde se puedan rotar lo equipos para lograr que ambos trabajen en intervalos similares de tiempo. Para este caso y de acuerdo con la criticidad del equipo se coloco el promedio de la frecuencia o la frecuencia más baja.

Para las inspecciones eléctricas se encontraron equipos cuya frecuencias de monitoreo dieron de hasta 8 días, sin embargo debido a que las pruebas de MCEmax se deben hacer preferiblemente con el equipo apagado y considerando que en la mayoría la rata de falla es de 1 a 2 fallas por periodos de 5 años, se decido dejar en su mayoría la frecuencia de 360 días en donde se recomienda remplazar por la rutina anual de mantenimiento preventivo a motores eléctricos.

Tabla 13. Calculo de frecuencias de mantenimiento predictivo mecánico y eléctrico.

TAG	Descripción	PERIODO EVALUADO	MAX NUMERO FALLAS	λ	MAX COSTOS DE MTO	Análisis	FACT OR C	FACT OR F	FACT OR A	MONITORES POR AÑO	FRECUENCIA DIAS	CRITICIDAD	FRECUENCIA ESCOGIDA
AE615 A	AEROENFRIADOR	5	2	0,4	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	17,5	1,11	7,92	45,44	PG	21
AE616 A	AEROENFRIADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	45
AE615 B	AEROENFRIADOR	5	1	0,2	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	35	1,71	2,57	139,87	PG	21
AE616 B	AEROENFRIADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	45
AE615 C	AEROENFRIADOR	5	3	0,6	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	11,66666667	0,80	16,57	21,73	PG	21
AE616 C	AEROENFRIADOR	5	2	0,4	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	17,5	1,11	7,92	45,44	PG	45
AE617 A	AEROENFRIADOR	5	1	0,2	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	35	1,71	2,57	139,87	PG	45
AE618 A	AEROENFRIADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	45
AE617 B	AEROENFRIADOR	5	1	0,2	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	35	1,71	2,57	139,87	PG	45
AE618 B	AEROENFRIADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	45
AE617 C	AEROENFRIADOR	5	2	0,4	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	17,5	1,11	7,92	45,44	PG	45
AE618 C	AEROENFRIADOR	5	2	0,4	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	17,5	1,11	7,92	45,44	PG	45
AE651 A	AEROENFRIADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	28
AE652 A	AEROENFRIADOR	5		0	\$ 40.000.000,00	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	28
AE651 B	AEROENFRIADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	28

AE652 B	AEROENFRIA DOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	28,00
AE601 C1	AEROENFRIA DOR	5	1	0,2	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	35	1,71	2,57	139,87	PG	45,00
AE601 C2	AEROENFRIA DOR	5	3	0,6	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	11,666 66667	0,80	16,57	21,73	PG	45,00
AE601 B1	AEROENFRIA DOR	5	1	0,2	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	35	1,71	2,57	139,87	PG	45,00
AE601 B2	AEROENFRIA DOR	5	2	0,4	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	17,5	1,11	7,92	45,44	PG	45,00
AE601 A1	AEROENFRIA DOR	5	1	0,2	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	35	1,71	2,57	139,87	PG	45,00
AE601 A2	AEROENFRIA DOR	5	1	0,2	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	35	1,71	2,57	139,87	PG	45,00
AE650 A	AEROENFRIA DOR	5	4	0,8	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	8,75	0,60	29,47	12,22	PG	8,00
AE650 B	AEROENFRIA DOR	5	6	1,2	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	5,8333 33333	0,36	73,59	4,89	PG	8,00
AP601 A	MOTOBOMBA	5	3	0,6	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	11,666 66667	0,80	8,28	43,45	ES	45,00
AP601 B	MOTOBOMBA	5	2	0,4	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	17,5	1,11	3,96	90,88	ES	45,00
AP602 A	MOTOBOMBA	5	4	0,8	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	8,75	0,60	14,74	24,43	ES	25,00
AP602 B	MOTOBOMBA	5	4	0,8	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	8,75	0,60	14,74	24,43	ES	25,00
AP602 C	MOTOBOMBA	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	25,00
AP690 A	MOTOBOMBA	5	1	0,2	\$ 30.000.000	\$ 260.000	0,0086 66667	35	1,71	1,93	186,49	CR	15,00
AP690 B	MOTOBOMBA	5	4	0,8	\$ 30.000.000	\$ 260.000	0,0086 66667	8,75	0,60	22,10	16,29	CR	15,00
AP501 A	CARGA	5	1	0,2	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	35	1,71	1,29	279,73	CR	143,00
AP501 B	CARGA	5	7	1,4	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	5	0,28	54,33	6,63	CR	143,00
AP504	BOMBA	5	7	1,4	\$ 20.000.000	\$	0,013	5	0,28	54,33	6,63	ES	8,00

A	ASFALTO FONDOS TORRE					260.000							
AP504 B	BOMBA ASFALTO FONDOS TORRE	5	6	1,2	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	5,8333 33333	0,36	36,80	9,78	ES	8,00
AP507 A	BOMBA ACPM PRODUCTO	5	4	0,8	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	8,75	0,60	14,74	24,43	ES	33,00
AP507 B	BOMBA ACPM PRODUCTO	5	3	0,6	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	11,666 66667	0,80	8,28	43,45	ES	33,00
AP508 A	BOMBA QUEROSENE PRODUCTO	5	5	1	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	7	0,46	23,96	15,03	ES	52,00
AP508 B	BOMBA QUEROSENE PRODUCTO	5	2	0,4	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	17,5	1,11	3,96	90,88	ES	52,00
AP525 A	BOMBAS DE REPROCESO SLOP PESADO	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	28,00
AP525 B	BOMBAS DE REPROCESO SLOP PESADO	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	28,00
AP533 A	DESCARGA - CARGADERO	5	2	0,4	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	17,5	1,11	3,96	90,88	CR	48,00
AP533 B	DESCARGA - CARGADERO	5	3	0,6	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	11,666 66667	0,80	8,28	43,45	CR	48,00
AP533 C	DESCARGA - CARGADERO	5	6	1,2	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	5,8333 33333	0,36	36,80	9,78	CR	48,00
AP517	BOMBA RECUPERACI ON	5	4	0,8	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	8,75	0,60	14,74	24,43	CR	24,00
AP511	BOMBA DESPACHO GASOLEO	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.000	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	CR	45,00

TAG	Descripción	PERIODO EVALUADO	MAX NUMERO FALLAS	λ	MAX COSTOS DE MTTO	Análisis	FACTOR C	FACTOR F	FACTOR A	MONITORES POR AÑO	FRECUENCIA DIAS	CRITICIDAD	FRECUENCIA ESCOGIDA
AE615A	AEROENFRIDADOR	5	1	0,2	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	30	1,71	3,00	119,89	PG	360,00
AE616A	AEROENFRIDADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE615B	AEROENFRIDADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000,	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE616B	AEROENFRIDADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE615C	AEROENFRIDADOR	5	1	0,2	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	30	1,71	3,00	119,89	PG	360,00
AE616C	AEROENFRIDADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE617A	AEROENFRIDADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE618A	AEROENFRIDADOR	5		0	\$ 40.000.000,00	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE617B	AEROENFRIDADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE618B	AEROENFRIDADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.000,00	0,0065	#iDIV/0!	#iNUM!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00

AE61 7C	AEROENFRI ADOR	5	1	0,2	\$ 40.000.000	\$ 260.00 0	0,006 5	30	1,71	3,00	119,89	PG	360,00
AE61 8C	AEROENFRI ADOR	5		0	\$ 40.000.000, 00	\$ 260.00 0	0,006 5	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE65 1A	AEROENFRI ADOR	5		0	\$ 40.000.000, 00	\$ 260.00 0	0,006 5	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE65 2A	AEROENFRI ADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.00 0	0,006 5	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE65 1B	AEROENFRI ADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.00 0	0,006 5	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE65 2B	AEROENFRI ADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.00 0	0,006 5	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE60 1C1	AEROENFRI ADOR	5	1	0,2	\$ 40.000.000	\$ 260.00 0	0,006 5	30	1,71	3,00	119,89	PG	360,00
AE60 1C2	AEROENFRI ADOR	5	2	0,4	\$ 40.000.000	\$ 260.00 0	0,006 5	15	1,11	9,24	38,95	PG	360,00
AE60 1B1	AEROENFRI ADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.00 0	0,006 5	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE60 1B2	AEROENFRI ADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.00 0	0,006 5	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE60 1A1	AEROENFRI ADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.00 0	0,006 5	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00

AE60 1A2	AEROENFRI ADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.00 0	0,006 5	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AE65 0A	AEROENFRI ADOR	5	2	0,4	\$ 40.000.000	\$ 260.00 0	0,006 5	15	1,11	9,24	38,95	PG	360,00
AE65 0B	AEROENFRI ADOR	5		0	\$ 40.000.000	\$ 260.00 0	0,006 5	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	PG	360,00
AP60 1A	MOTOBOMB A	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	360,00
AP60 1B	MOTOBOMB A	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	360,00
AP60 2A	MOTOBOMB A	5	1	0,2	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	30	1,71	1,50	239,77	ES	360,00
AP60 2B	MOTOBOMB A	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	360,00
AP60 2C	MOTOBOMB A	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	360,00
AP69 0A	MOTOBOMB A	5		0	\$ 30.000.000, 00	\$ 260.00 0	0,008 66666 7	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	CR	360,00
AP69 0B	MOTOBOMB A	5		0	\$ 30.000.000	\$ 260.00 0	0,008 66666 7	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	CR	360,00
AP50 1A	CARGA	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	CR	360,00

AP50 1B	CARGA	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	CR	360,00
AP50 4A	BOMBA ASFALTO FONDOS TORRE	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	360,00
AP50 4B	BOMBA ASFALTO FONDOS TORRE	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	360,00
AP50 7A	BOMBA ACPM PRODUCTO	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	360,00
AP50 7B	BOMBA ACPM PRODUCTO	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0,00	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	360,00
AP50 8A	BOMBA QUEROSEN E PRODUCTO	5	6	1,2	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0,00	0,013	5	0,36	42,93	8,39	ES	184,00
AP50 8B	BOMBA QUEROSEN E PRODUCTO	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	184,00
AP52 5A	BOMBAS DE REPROCES O SLOP PESADO	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	360,00
AP52 5B	BOMBAS DE REPROCES O SLOP PESADO	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#iDIV/ 0!	#iNU M!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	ES	360,00

AP53 3A	DESCARGA - CARGADER O	5	1	0,2	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	30	1,71	1,50	239,77	CR	360,00
AP53 3B	DESCARGA - CARGADER O	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#¡DIV/ 0!	#¡NU M!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	CR	360,00
AP53 3C	DESCARGA - CARGADER O	5	1	0,2	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	30	1,71	1,50	239,77	CR	360,00
AP51 7	BOMBA RECUPERAC ION	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#¡DIV/ 0!	#¡NU M!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	CR	360,00
AP51 1	BOMBA DESPACHO GASOLEO	5		0	\$ 20.000.000	\$ 260.00 0	0,013	#¡DIV/ 0!	#¡NU M!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	CR	360,00

4.7. CÁLCULO DEL COSTO DE LA IMPLEMENTACION DE LA NUEVA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO VS. LA ACTUAL

Una vez establecidas las técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo con sus respectivas frecuencias, se realiza el cálculo con la duración estimada de cada actividad por el costo de HH y el de equipos de diagnostico. En el anexo 1 se encuentra las frecuencias y duración de la nueva estrategia por técnica y equipos.

A continuación en la tabla 14, se encuentran los costos de la nueva estrategia de planta de gas y asfalto.

Tabla 14. Costo de la nueva estrategia para planta de gas y asfalto.

PILANTA	HH TOTALES ESTRATEGIA	COSTO HH	COSTO ESTRATEGIA
GAS	800,91	43.088	34.509.610,08
ASFALTO	259,56	43.088	11.183.921,28
		TOTAL	45.693.531,36

EQUIPO	COSTO/DIA	COSTO AÑO
Vibraciones	41.000	14.760.000
MCEmax	127.000	45.720.000
Termografia	20.800	7.488.000
TOTAL	188.800	67.968.000

TOTAL PREVENTIVO	45.693.531,36
TOTAL PREDICTIVO	67.968.000,00
TOTAL ESTRATEGIA	113.661.531,36

Se observa que el costo total de la estrategia asciende a los \$113'000.000 que comparada con el costo de la estrategia actual, ver tabla 6, tiene un incremento de más de \$51'000.000.

Para justificar esta inversión, se compara el costo total de la nueva estrategia con el costo de los últimos RCA's en donde se incluyen los costos por mantenimientos correctivos y perdidas de producción.

Tabla 15. Últimos RCA's con sus costos de equipos de planta de gas y asfalto.

EQUIPO	FALLA	COSTO
AE615A	Daño de aislamiento.	\$68'155.200
AE650B	Daño en chumaceras	\$8'280.000
AE615A	Daño rodamientos de motor	\$86'866.200
AP504A	Daño incrementador	\$21'564.000
	TOTAL	\$ 184'865.400

Cálculo del factor J.

Cálculo del factor J para el riesgo evaluado tomando datos reales de los últimos RCA's y los costos si incluir los costos por perdidas de producción.

$$J = \frac{\text{Valor.riesgo.antes} - \text{valor.riesgo.después}}{\text{costodelainversión}}$$

$$J = \$ 184'865.400 - \$37'450.500 / \$113'661.531$$

$$J = 1,29$$

Como conclusión tenemos que según el cálculo del factor J para este caso tenemos un valor mayor a 1 por lo que es factible ejecutar esta nueva estrategia.

En el anexo 1, se encuentra la matriz de la estrategia propuesta.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En el desarrollo de esta investigación y propuesta, se pueden tener las siguientes conclusiones y sus recomendaciones:

Al clasificar los equipos de acuerdo a su criticidad, se puede identificar aquellos cuyas pérdidas económicas por producción son de gran impacto para el negocio, por tal motivo se debe re evaluar la criticidad de estos equipos ya que al pasar de los años, las condiciones de estos puede variar, tal como el ejemplo de los aerofriadores AXC650A/B que son considerados como equipos de propósito general, sin embargo debido a que estos no cuentan con stand by y que pueden reducir considerablemente la capacidad de la planta de gas por una parada, se recomienda revisar la criticidad de equipos.

Al revisar las actividades realizadas en las rutinas de mantenimiento anual y semestral de motores eléctricos, se observo que muchas de las tareas son de inspección, ajuste y medición. Se propuso sustituir parte de estas tareas por la implementación de técnicas predictivas, sin embargo se planteo la sustitución de la rutina anual por las inspecciones con MCEmax y termografía y queda en la rutina semestral las inspecciones. Es recomendable que se realice en una revisión de la estrategia de todos los equipos en búsqueda de optimizar y reemplazar actividades por inspecciones predictivas (PMO).

Al escoger una metodología se opto por la que mas involucraba el histórico de estos equipos y no recomendaciones de guías o bases de datos como OREDA que son basadas en históricos de equipos de la industria en general.

En el cálculo de las frecuencias de monitoreos, específicamente del factor de costo, se asumieron los costos potenciales de pérdidas de producción, por tal motivo se considera que las frecuencias obtenidas son una aproximación de las frecuencias ideales. Adicionalmente, después de los cálculos iniciales, se llegó a la conclusión que es mejor separar la rata de fallas por especialidad de mantenimiento, en este caso eléctrica y mecánica ya que también se involucra el origen de las fallas que detectan las técnicas predictivas mecánicas (vibración) y eléctricas (MCEmax y termografías). Es recomendable separar la rata de fallas por causas que se pueden diagnosticar con la técnica a utilizar.

Adicionalmente se obtuvieron frecuencias muy diferentes para cada una de las clases de equipos, que varían desde 1 hasta 73 veces por año. Esta variación se debe en parte los altos costos potenciales de las fallas de algunos equipos, a la frecuencia de fallas registradas en el sistema y a la poca o mucha información que se encuentre de las reparaciones realizadas durante el periodo del análisis.

Se encontraron equipos con stand by y frecuencias entre 15 y 90 días, ya que es común que se deje el mismo equipo como stand by y el que está funcionando es el que registra mayor número de fallas, esto es debido a que no se tiene una política de stand by donde se puedan rotar los equipos para lograr que ambos trabajen en intervalos similares de tiempo. Se recomienda establecer una política de stand by.

En general es recomendable realizar este estudio por lo menos cada dos años ya que las condiciones de los equipos debe ser dinámica por la acción de la estrategia establecida donde se busca la estrategia óptima minimizando los mantenimientos correctivos.

BIBLIOGRAFÍA

- KNEZEVIC, Jezdimir. MANTENIMIENTO, Madrid: 1996.
- MOUBRAY, John MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD, editorial Aladon Ltd, edición en español.2004.
- TAVARES, Lourival Augusto. ADMINISTRACIÓN MODERNA DEL MANTENIMIENTO.
- MORA, Alberto MANTENIMIENTO, PLANEACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL, Bogotá 2010.
- ALBARRACIN, Pedro TRIBOLOGIA Y LUBRICACION INDUSTRIAL Y AUTOMOTRIZ, Tomo 1, 2da Edición.
- ECOPETROL, MANUAL DE OPERACIONES PLANTA COMPRESORA DE GAS DE APIAY, Versión 4, 2008.
- ECOPETROL, MANUAL DE OPERACIONES PLANTA DE ASFALTO, Versión 4, 2007.
- RAPHAEL SUAREZ, CALCULO DE LA FRECUENCIA DE INSPECCION DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, Venezuela, 2007.

**ANEXOS.
ANEXO A**

. Matriz de la estrategia actual de planta de gas.

Características del equipo							MTTO ANUAL MOTORES ELECTRICOS PGAS		MTTO SEMESTRAL MOTORES ELECTRICOS PGAS		RUTINA QUINCENAL BOMBA LPG		LUBRICACION MOTOR ELECTRICO		SERVICIO SEMESTRAL A BOMBAS CENTRIFUGAS		RUTINA MENSUAL A EQUIPOS PLANTA DE GAS		.CBM-M: FFT MONITOREO 4SEM VIBR EQ-ROT	
Sistemas o procesos	Ubicación	TAG	Descripción	Unidad	H Func	Criticidad	Frec	H H	Frec	H H	Frec	H H	Frec	H H	Frec	H H	Frec	HH	Frec	H H
AXC601A COMPRESOR CARGA	PLANTA DE GAS	AE615 A	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC601A COMPRESOR CARGA	PLANTA DE GAS	AE616 A	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC601B COMPRESOR CARGA	PLANTA DE GAS	AE615 B	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC601B COMPRESOR CARGA	PLANTA DE GAS	AE616 B	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC601C COMPRESOR CARGA	PLANTA DE GAS	AE615 C	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1

SOR CARGA	GAS																			
AXC601C COMPRESOR CARGA	PLANTA DE GAS	AE616 C	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC602A COMP DOMESTICO	PLANTA DE GAS	AE617 A	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC602A COMP DOMESTICO	PLANTA DE GAS	AE618 A	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC602B COMP DOMESTICO	PLANTA DE GAS	AE617 B	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC602B COMP DOMESTICO	PLANTA DE GAS	AE618 B	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC602C COMP DOMESTICO	PLANTA DE GAS	AE617 C	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC602C COMP DOMESTICO	PLANTA DE GAS	AE618 C	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC650A COMP PROPANO	PLANTA DE GAS	AE651 A	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC650A COMP PROPANO	PLANTA DE GAS	AE652 A	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1

O																				
AXC650B COMP PROPANO	PLANTA DE GAS	AE651 B	AEROENFRI ADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
AXC650B COMP PROPANO	PLANTA DE GAS	AE652 B	AEROENFRI ADOR	1	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
BOMBA DE DESPAC HO DE GLP	PLANTA DE GAS	AP690 A/B	MOTOBOMB A	2	OR	1	360	4	180	3	15	4	60	0,6	84	1	0	0	28	1
PROCES O	PLANTA DE GAS	AP602 A/B/C	MOTOBOMB A	3	OR	2	360	4	180	3	0	0	60	0,6	84	1	0	0	28	1
PROCES O	PLANTA DE GAS	AP601 A/B	MOTOBOMB A	2	OC	2	360	4	180	3	0	0	60	0,6	84	1	0	0	28	1
PROCES O	PLANTA DE GAS	AE601 C1/2	AEROENFRI ADOR	2	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
PROCES O	PLANTA DE GAS	AE601 A1/2	AEROENFRI ADOR	2	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
PROCES O	PLANTA DE GAS	AE601 B1/2	AEROENFRI ADOR	2	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1
PROCES O	PLANTA DE GAS	AE650 A/B	AEROENFRI ADOR	2	OC	3	360	4	180	3	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1

ANEXO B

, Matriz de la estrategia actual de planta de asfalto.

Características del equipo							MTTO PV ANUAL SIST.EMEI REFINERIA		MTTO PV 6 MESES SIST.EMEI REFINERÍA		SERVICIO TRIMESTRAL EQUIPOS REFINERIA		LUBRICACION MOTOR ELECTRICO		.CBM-M: FFT MONITOREO 4SEM VIBR EQ-ROT	
Sistemas o procesos	Ubicación	TAG	Descripción	Unidades	H Func	Criticidad	Frecuencia	H H	Frecuencia	H H	Frecuencia	H H	Frecuencia	H H	Frecuencia	H H
DESPACHO GASOLEO	REFINERIA	AP511A	MOTOBO MBA	3	OC	1	360	6	180	4	0	0	60	0,6	28	1
BOMBA RECUPERACION	REFINERIA	AP517	MOTOBO MBA	1	OC	1	360	6	180	4	0	0	60	0,6	28	1
CARGA	REFINERIA	AP501A/B	MOTOBO MBA	2	OC	1	360	6	180	4	0	0	60	0,6	28	1
DESCARGA - CARGADERO	REFINERIA	AP533A/B /C/D	MOTOBO MBA	4	OC	1	360	6	180	4	90	1	60	0,6	28	1
BOMBA ACPM PRODUCTO	REFINERIA	AP507A/B	MOTOBO MBA	2	OC	2	360	6	180	4	0	0	60	0,6	28	1
BOMBA QUEROSENE PRODUCTO	REFINERIA	AP508A/B	MOTOBO MBA	2	OC	2	360	6	180	4	0	0	60	0,6	28	1
BOMBA ASFALTO	REFINERIA	AP504A/B	MOTOBO MBA	2	OC	2	360	6	180	4	90	1	60	0,6	28	1

COMPRESOR CARGA	A DE GAS	5C	ADOR											6									
AXC601C COMPRESOR CARGA	PLANTA DE GAS	AE61 6C	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	6	180	2	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	45	1	360	1	
AXC602A COMP DOMESTICO	PLANTA DE GAS	AE61 7A	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	6	180	2	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	45	1	360	1	
AXC602A COMP DOMESTICO	PLANTA DE GAS	AE61 8A	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	6	180	2	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	45	1	360	1	
AXC602B COMP DOMESTICO	PLANTA DE GAS	AE61 7B	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	6	180	2	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	45	1	360	1	
AXC602B COMP DOMESTICO	PLANTA DE GAS	AE61 8B	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	6	180	2	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	45	1	360	1	
AXC602C COMP DOMESTICO	PLANTA DE GAS	AE61 7C	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	6	180	2	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	45	1	360	1	
AXC602C COMP DOMESTICO	PLANTA DE GAS	AE61 8C	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	6	180	2	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	45	1	360	1	
AXC650A COMP PROPANO	PLANTA DE GAS	AE65 1A	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	6	180	2	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1	360	1	
AXC650A COMP	PLANTA DE GAS	AE65 2A	AEROENFRIDADOR	1	OC	3	360	6	180	2	0	0	60	0,6	0	0	28	0,6	28	1	360	1	

ANEXO D

, Matriz de la estrategia propuesta de planta de asfalto.

Características del equipo							RUTINA MCEmax		MTTO PV 6 MESES SIST.EMEI REFINE RÍA		SERVICIO TRIMESTRAL EQUIPOS REFINE RIA		LUBRICACION MOTOR ELECTRICO		.CBM-M: FFT MONITOREO 4SEM VIBR EQ-ROT		RUTINA DE TERMOGRAFIA	
Sistemas o procesos	Ubicación	TAG	Descripción	Unidad	H Func	Criticidad	Frec	H	Frec	H	Frec	H	Frec	H	Frec	H	Frec	H
DESPACHO GASOLEO	REFINE RIA	AP511A	MOTOBO MBA	3	OC	1	360	6	180	2	0	0	60	0,6	45	1	360	2
BOMBA RECUPERACION	REFINE RIA	AP517	MOTOBO MBA	1	OC	1	360	6	180	2	90	1	60	0,6	24	1	360	2
CARGA	REFINE RIA	AP501A /B	MOTOBO MBA	2	OC	1	360	6	180	2	0	0	60	0,6	143	1	360	2
DESCARGA - CARGADERO	REFINE RIA	AP533A /B/C	MOTOBO MBA	4	OC	1	360	6	180	2	90	1	60	0,6	48	1	360	2
BOMBA ACPM PRODUCTO	REFINE RIA	AP507A /B	MOTOBO MBA	2	OC	2	360	6	180	2	0	0	60	0,6	33	1	360	2
BOMBA QUEROSENE PRODUCTO	REFINE RIA	AP508A /B	MOTOBO MBA	2	OC	2	184	6	180	2	0	0	60	0,6	52	1	184	2

BOMBA ASFALTO FONDOS TORRE	REFINE RIA	AP504A /B	MOTOBO MBA	2	OC	2	360	6	180	2	90	1	60	0,6	8	1	360	2
BOMBAS DE REPROCES O SLOP PESADO	REFINE RIA	AP525A /B	MOTOBO MBA	2	OC	2	360	6	180	2	90	1	60	0,6	28	1	360	2