



Propuesta de Mejora de la Estrategia de Mantenimiento para los Motores de media y baja tensión, de la Refinería de Cartagena

Oscar Alfonso Herrera Facetti

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Cartagena, Colombia
2020

Propuesta de Mejora de la Estrategia de Mantenimiento para los Motores de media y baja tensión, de la Refinería de Cartagena

Oscar Alfonso Herrera Facetti

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Indicar el título que se obtendrá. Por ejemplo, Ingeniero Electromecánico.

Director (a):

Ingeniero, Daniel Enrique Yabrudy Mercado

Línea de Investigación:

Mantenimiento Industrial

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cartagena, Colombia

2020

(Dedicatoria o lema)

Este trabajo que hoy culmino con éxito se lo dedico a Nuestro señor Jesucristo quien nunca me abandona y guía mis caminos. Nunca me falla.

A mi Amada esposa Elizabeth Madero Fajardo, mi apoyo incondicional, mi motor y mi inspiración.

A mis hijos Karen, Katherine, Oscar De Jesús, Laura y Oscar Iván, animadores entusiastas de la carrera emprendida y motivadores hasta alcanzar el éxito.

Sin el Amor, el respeto y entusiasmo que me generaba mi familia para llevar a cabo este proyecto no hubiese sido posible llevarlo a buen fin.

Y no podían faltar mis adoradas nietas Isabel Sofía y Steisy Carolina a quienes adoro.

Agradecimientos

A mi Dios, el Honor y la Gloria es para Él. Bendito Jesús. A todos los docentes de la Universidad Antonio Nariño, representados por el Ingeniero Juan Canal, por la dedicación, respeto y sentido de pertenencia en la forma de conducir y liderar la formación profesional en esta Institución. A mi compañero y amigo Ángel María Cabeza Arrieta por su apoyo incondicional durante toda la carrera que hoy culmina exitosamente, sus consejos y acompañamientos en los momentos difíciles de este ajetreo me ayudaron a complementar el ciclo iniciado. Al profesor Daniel Yabrudy por su profesionalismo y sus enseñanzas para sacar adelante este Proyecto.

Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta para actualizar o mejorar la estrategia de mantenimiento para motores eléctricos de media y baja tensión de la empresa Ecopetrol S.A. teniendo en cuenta el menor número de Horas Hombre programadas por la escasez de personal propio, tareas innecesarias y tiempo real en la ejecución del modo de falla. Son la propuesta diseñada se busca aplicar la metodología RCM con buenos resultados que permita optimizar el sistema de información e ir mejorando y facilitando las tareas del mantenimiento y garantizar que sean ejecutadas en menor tiempo, disminuyendo así las pérdidas por mala operación; siendo además un alivio en la economía de la empresa. Se desarrolló una investigación de enfoque descriptivo, primero se identificó información técnica de los motores eléctricos de la empresa y el plan de mantenimiento de estos, luego se hizo un análisis descriptivo de los fallos y criticidad donde se identifican acciones para detectar equipos críticos, en el ejercicio se hizo un comparación de las rutas de trabajo mientras se mostraban las propuestas de rutas optimizadas para finalmente presentar la propuesta que optimiza los recursos de la empresa reduciendo las horas hombre.

Palabras clave: Motores eléctricos, Mantenimiento, Equipos críticos, RCM, Trazabilidad, Horas hombre.

Abstract

This work presents a proposal to update or improve the maintenance strategy for medium and low voltage electric motors of the company Ecopetrol S.A. taking into account the lower number of Man Hours programmed due to the shortage of own personnel, unnecessary tasks and real-time in the execution of the failure mode. They are the designed proposal that seeks to apply the RCM methodology with good results that allows optimizing the information system and improving and facilitating maintenance tasks and ensuring that they are carried out in less time, thus reducing losses due to poor operation; being also a relief in the economy of the company. A descriptive approach investigation was developed, first identifying technical information about the company's electric motors and their maintenance plan. A descriptive analysis of failures and criticality was carried out, identifying actions to detect critical equipment, in the exercise, a comparison was made of the work routes while the proposals for optimized routes were shown to finally present the proposal that optimizes the company's resources by reducing working hours.

Keywords: Electric motors, Maintenance, Critical equipment, RCM, Traceability, working hours.

Contenido

	Págs..
Lista de figuras.....	XII
Lista de tablas	XIII
Introducción	15
1. Marco teórico.....	18
1.1 Generalidades del mantenimiento	18
1.1.1 Etapas del mantenimiento industrial	19
1.1.2 Objetivos del mantenimiento.....	22
1.1.3 Tipos de mantenimiento.....	24
1.1.4 Nuevas técnicas de mantenimiento	25
1.2 Historia de RCM.....	26
1.2.1 Funciones y niveles de desempeño.....	28
2. Ingeniería del proyecto	29
2.1 Información técnica de los equipos y plan de mantenimiento	29
2.1.1 Descripción general de la información técnica de los motores	29
2.1.2 Plan de mantenimiento de los motores de media y baja tensión	31
2.2 Análisis de gravedad de fallas	37
2.3 Propuesta de nuevo plan de mantenimiento basado en RCM	49
3. Conclusiones y recomendaciones.....	57
3.1 Conclusiones.....	57
3.2 Recomendaciones.....	57
ANEXOS	59
Bibliografía	69

Lista de figuras

	Pág.
Figura 0-1 Metodología para el desarrollo de objetivos	17
Figura 1-1 Evolución de las expectativas del mantenimiento.....	21
Figura 1-2 Objetivos del mantenimiento	22
Figura 2-1 Diagrama del proceso de mantenimiento de motores	33
Figura 2-2 Capas de Protección	38
Figura 2-3 Identificación de equipos críticos.....	45
Figura 2-4 Fallas eléctricas por familia 2019	48
Figura 2-5 Modos de las fallas eléctricas.....	48

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1 Tipos de mantenimiento	24
Tabla 2-1 Información técnica de motores de media tensión.....	30
Tabla 2-2 Información técnica de motores de baja tensión	30
Tabla 2-3 Modos de fallas de los motores.....	31
Tabla 2-4 Estrategia Mantenimiento motores de baja tensión (480V)	34
Tabla 2-5 Estrategia de mantenimiento motores eléctricos de media tensión	35
Tabla 2-6 Hoja de ruta de mantenimiento - Aislamiento no críticos	36
Tabla 2-7 Hoja de ruta de mantenimiento - Aislamiento bt no críticos con andamios	36
Tabla 2-8 Hojas de Ruta a Relés de Protecciones	37
Tabla 2-9 Clasificación de equipos por sustancias toxicas.....	42
Tabla 2-10 Matriz de valoración de Riesgos.	46
Tabla 2-11 Hoja de ruta de Motores Críticos de Baja Tensión	47
Tabla 2-12 Horas hombre disponibles especialidad eléctrica.....	52
Tabla 2-13 Análisis y Resultados de las Hojas de Ruta con sus respectivas horas hombre actuales y propuestas.....	53
Continuación Tabla 2-14 Análisis y Resultados de las Hojas de Ruta con sus respectivas horas hombre actuales y propuestas	54
Tabla 3-1 Matriz RAM Datos a Personas	65
Tabla 3-2 Matriz RAM Consecuencias Económicas	66
Tabla 3-3 Matriz RAM Efectos del Medio Ambiente.	66
Tabla 3-4 Matriz RAM Atención al Cliente.....	67

Introducción

La Refinería de Cartagena cuenta con 2007 motores que soportan los distintos procesos en la refinación del petróleo, a los cuales se les realiza mantenimiento en mediciones de parámetros eléctricos al conjunto acometida-motor y protecciones. Además, se realizan tareas de mantenimiento dependiendo de la importancia en el proceso y el tamaño del motor. Dentro de la estrategia se ejecutan actividades con el fin de evitar cualquier falla en interruptores, acometidas, cuartos de control y relés.

La Refinería de Cartagena tiene implementado una estrategia de mantenimiento basada en RCM (Reliability Centred Maintenance) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para los motores de baja y media tensión, persiguiendo la meta de calidad y excelencia en la operación.

Esta estrategia no está cumpliendo con los requerimientos de confiabilidad esperados en costos y funcionalidad; esto se debe a la existencia de tareas que fueron estructuradas para realizarlas el aliado dentro del mantenimiento y que pueden ser desarrolladas por personal de planta, generando un mayor periodo de tiempo para la puesta en marcha de los motores, lo que se traduce a pérdidas en dinero para la empresa. Lo que también se traduce en un lucro cesante.

De no ajustarse la estrategia de tal forma que se logre una optimización de esta la empresa estará presentando pérdidas por pago de horas hombre extra, periodos de tiempo en paradas técnicas más largas. Por todo lo anterior se formula el siguiente interrogante ¿Cómo optimizar la estrategia de mantenimiento para los motores de media y baja tensión, de la Refinería de Cartagena?

El desarrollo del presente proyecto beneficiaría a la empresa Ecopetrol en tanto puede proporcionar nuevo orden en el desarrollo de tareas de la estrategia de mantenimiento que

actualmente implementa, ayudando a optimizar los recursos financieros y garantizando el nivel de confiabilidad en lo relacionado al mantenimiento de motores que a su vez repercute en la contabilidad tanto de los procesos como en la calidad de los productos de la empresa. También la comunidad académica se puede ver beneficiada en tanto el trabajo puede originar un nuevo aporte investigativo a la línea de investigación sobre soluciones ingenieriles para el mantenimiento en las empresas. Es importante resaltar que el ingeniero debe contar con las competencias necesarias para crear soluciones al departamento de mantenimiento toda vez que este garantiza la correcta operación de las plantas productivas.

Por último, otro beneficiario se puede considerar al autor en cuanto pone en práctica bajo la dirección de un tutor, los conocimientos adquiridos para diseñar soluciones ingenieriles en las diferentes industrias de la ciudad, teniendo en cuenta los fundamentos de metodología de la investigación y la importancia de la gestión de la calidad total en procesos y producto terminado.

Por todo lo anterior se diseñó como propósito general de este proyecto, diseñar una propuesta de mejora de la estrategia de mantenimiento para los motores eléctricos de media y baja tensión, existentes en la Refinería de Cartagena, para aumentar su confiabilidad. Para alcanzar esa meta, se trazaron los siguientes objetivos específicos: Recopilar información técnica de los diferentes equipos según los fabricantes y la frecuencia en que se hacen los mantenimientos para conocer el estado actual del plan de mantenimiento y equipos asociados. Realizar análisis de la gravedad de los fallos, criticidad, para construir una propuesta de medidas preventivas y proactivas que conlleven a erradicar o minimizar los fallos. Proponer la implementación de un nuevo plan de mantenimiento analizando los diferentes modos de falla, basado en RCM, para conseguir una alta confiabilidad en los equipos y lograr una operación sana, segura y limpia que nos garantice la refinación de productos esenciales para el país y la comunidad internacional a un bajo costo de mantenibilidad y operacional, conservando el medio ambiente, la integridad personal y de los equipos.

Para el logro de los objetivos se propuso el desarrollo de una investigación de enfoque cuantitativo, siguiendo la metodología diseñada para cada objetivo como se ilustra en la figura 0-1.



Figura 0-1 Metodología para el desarrollo de objetivos

Fuente: Elaboración propia

1. Marco teórico

1.1 Generalidades del mantenimiento

El mantenimiento se puede definir como el conjunto de acciones, técnicas, metodologías y planes destinados a prevenir, corregir y prolongar la vida útil de los equipos, plantas e instalaciones industriales o unidades productivas (Olarte, Botero, & Cañón, 2010). En otras palabras a través del mantenimiento se espera lograr el mayor rendimiento posible de las máquinas, equipos y plantas de producción.

En el curso de la historia de la industrialización el mantenimiento ha evolucionado en función de las necesidades presentadas en las empresas y que tienen que ver con la capacidad de producción, por ejemplo, en los inicios de la revolución industrial estas actividades dedicadas a la reparación de las máquinas, eran desarrolladas por los mismo operarios de acuerdo a la medida de sus posibilidades, y esto tiene que ver con la capacidad de conocimiento que adquirirían de la máquina o herramienta que operaban (Molina, 2006).

En tanto pasaba el tiempo y los sistemas productivos empezaron a presentar características más complejas, se dan los primeros indicios de los departamentos de mantenimiento como una actividad agregada a la producción de la empresa, esto llevó a diferenciar la actividad de mantenimiento de la operación de las máquinas, y lo que se

hacía básicamente era corregir averías que se daban en los equipos ya sea por el uso o por problemas de fabrica o relacionados a las condiciones de trabajo (Molina, 2006).

De manera paulatina y como resultado de diferentes acontecimientos colaterales a la Primera Guerra Mundial, de la Segunda y tras darse la crisis energética de la década de los 70, aparece el concepto de fiabilidad. Industrias como la aviación y automovilística empezaron a generar conceptos y paradigmas que lidera esta tendencia y empieza a darse el diseño de métodos de trabajo encaminados a la robustez del diseño, que fuera a prueba de fallas y al mantenimiento por condición, donde parece como alternativa el mantenimiento por condición (Carrasco, 2014).

En el marco del desarrollo del mantenimiento en la época surgen vertientes como el análisis de fallo, y es donde se origina el modelo de mantenimiento basado en fiabilidad o RCM, este surge como un nuevo enfoque de gestión del mantenimiento ya que plantea el estudio de los equipos, una revisión exhaustiva de los modelos de fallos, además la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología para la detección de tales fallas (García, 2012). Mas adelante empiezan a diseñarse las ordenes de trabajo, la documentación de las actividades preventivas, gestión de materiales, control de costes, toda esta información toma relevancia en el diseño de planes de mantenimiento más efectivos para las empresas.

De lo anterior surge la línea de tiempo que estipula inicialmente el mantenimiento como la estrategia para corregir averías convirtiéndose con el desarrollo tecnológico en la gestión para prevenir averías, en ese sentido, la solución a averías inesperadas dejó de ser la razón de ser de las actividades de mantenimiento en las plantas industriales.

1.1.1 Etapas del mantenimiento industrial

Desde 1930, la evolución del mantenimiento se puede trazar a través de tres generaciones. El RCM se está convirtiendo rápidamente en el cimiento de la tercera generación, pero ésta solo puede ser vista en perspectiva, a la luz de la primera y segunda generación.

1era generación

La primera generación se presenta hasta la segunda guerra mundial. En esa época la industria no era altamente mecanizada, de modo que los tiempos de inactividad no tenían demasiada importancia. Esto significa que la prevención de fallas en equipos no era una prioridad en la mente de la mayoría de los gerentes. Al mismo tiempo la mayoría de los equipos eran simples y muy bien diseñados esto los hacía confiables y fáciles de reparar. Como consecuencia, no había necesidad de mantenimiento sistemático de ningún tipo, más allá que la limpieza, control y lubricación de rutina. La necesidad de habilidades específicas era inclusive menor de lo que es ahora. En caso de fallas los mismos operarios eran encargados de solucionarles para que siguiera el proceso productivo (Rodríguez, 2012).

Sobre esta primera generación no hay mucho que agregar puesto que en la época no existía una producción en masa que genera el nivel de incertidumbre a nivel financiero en caso de una parada técnica, teniendo en cuenta la simplicidad en los diseños técnicos de los equipos y herramientas de la época, las paradas técnicas no deben ser muy demoradas y las pérdidas en la producción muy grandes.

2da generación

Esta se da en el pleno desarrollo de la Segunda Guerra Mundial, esta de mayor envergadura aumento las exigencias y demandas a nivel de provisiones y simultáneamente se da una baja en la mano de obra, lo que impulsó a un nuevo nivel de mecanización, ya en la década de los 50 las maquinarias para producción habían menguado complejamente su tipo, número y funcionamiento, y las industrias empezaban experimentar la dependencia de ellas a nivel de producción.

Con el paso de los años esta dependencia de las empresas por parte de las máquinas empiezan a crecer de manera impactante generándose entonces la necesidad de evitar en el menor número posible las paradas técnicas por averías, por lo que el área de mantenimiento empieza a tomar importancia no solo en la aplicación sino en la forma de establecer las técnicas para corregir las fallas (Rodríguez, 2012).

3ra generación

Ya en la década de los 70 la industrialización entra en una etapa crucial en la historia y el mantenimiento se ve afectado, presentándose cambios como evolución de las expectativas, nuevas investigaciones y técnicas (Rodríguez, 2012). Sobre las nuevas expectativas es importante ver como se ilustran en la figura 1-1.

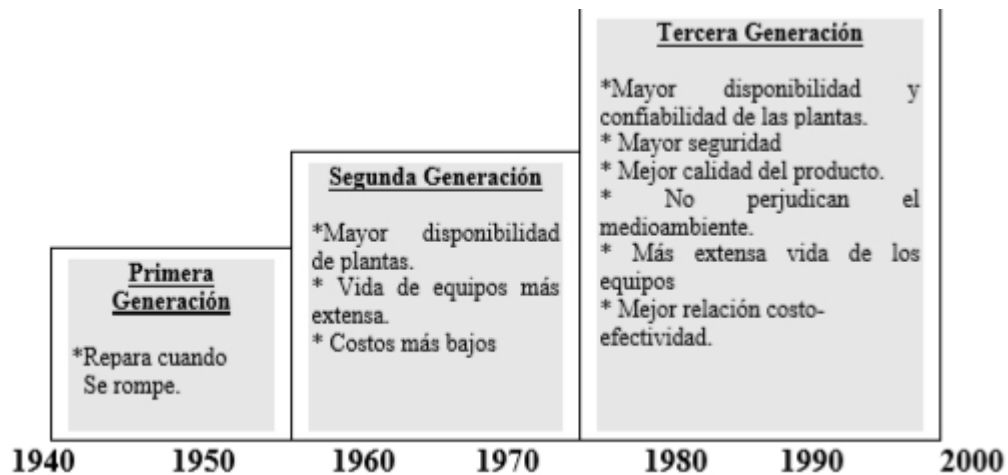


Figura 1-1 Evolución de las expectativas del mantenimiento

Fuente: (Rodríguez, 2012)

Nótese como la figura 1-1 muestra que en la primera generación la expectativa girada entorno a la premisa de que mantenimiento era reparar cuando algo se rompe, con la llegada de la Segunda Guerra Mundial, el aumento de las demandas de provisiones y por ende de los niveles de producción las expectativas evolucionan al mantenimiento como una estrategia para alargar la vida útil de los equipos garantizando un costo más bajo. Ya en la tercera generación se habla de confiabilidad, aumento en la seguridad, mejora en la calidad del servicio, responsabilidad ambiental y garantiza de una mejor relación costo-beneficio.

En la tercera generación y hasta la actualidad el mantenimiento ha evolucionado en función de las nuevas expectativas de las empresas y el mercado, el desarrollo de la industrialización le ha dado la capacidad de mover importantes volúmenes de materiales primas y producción, lo que hace que las paradas pro averías como se daba en la Primera Revolución Industrial, no sean una opción, además ahora el mantenimiento apunta a la calidad del trabajo de los equipos que repercute en la calidad del producto terminado y la confianza que las empresas generan en sus clientes.

1.1.2 Objetivos del mantenimiento

Ya se ha definido que el mantenimiento reúne todas las actividades, técnicas y metodologías preventivas y correctivas que se desarrollan para garantizar la integridad de máquinas y equipos en la producción de bienes y servicios, ahora los objetivos del mantenimiento son los siguientes:

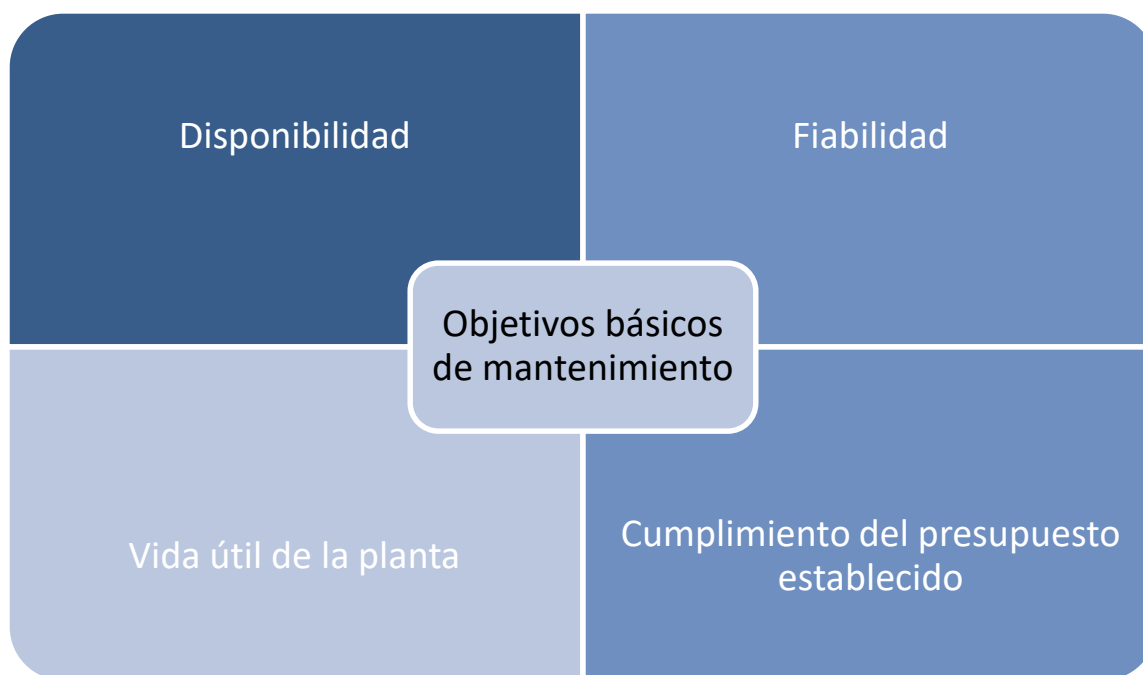


Figura 1-2 Objetivos del mantenimiento

Fuente: (García, 2012)

- Dar real cumplimiento al valor predeterminado de disponibilidad. Tiene que ver con la disponibilidad en el tiempo que tiene la planta para desarrollar la producción dentro de la industria de manera independiente. en este caso el mantenimiento debe asegurar la disponibilidad de la planta para producir en el mayor tiempo posible. Esto implica erradicar las paradas técnicas. Los factores que determinan la disponibilidad son el n° de horas de producción, de disponibilidad total para producir, y el n° de horas de indisponibilidad parcial (García, 2012).

- Garantizar el cumplimiento de un predeterminado valor de fiabilidad. Este objetivo ayuda a medir la capacidad de una planta para cumplir el plan de producción predeterminado, en otras palabras, la producción planificada y basada en requerimientos de clientes internos y externos, ya que el incumplimiento de ciertos planes de producción trazados a través de contratos comerciales puede acarrear penalizaciones y sanciones económicas para la industria. Los factores que determinan el cálculo de la fiabilidad como indicador son: horas anuales de producción y horas anuales de paradas o reducción de cargas gracias al mantenimiento que se desarrolla (García, 2012).
- Garantizar una optimización de la vida útil de la instalación o planta en su conjunto, teniendo como guía el plazo de amortización. En general el plazo de vida útil que tienen las plantas industriales es de 20 a 30 años, y las empresas buscan que este plazo se cumpla y en lo posible se alargue, en función de ello, se plantean planes de mantenimiento preventivo, el logro de este objetivo implica contar con una alta proporción de mantenimiento, disponibilidad de medios y personal técnico para desarrollar actividades planificadas y acertadas a la planta (García, 2012).
- Garantizar los objetivos anteriores ajustándose a un presupuesto dado y coherente para la instalación de la planta. Los objetivos de disponibilidad, fiabilidad y vida útil no pueden conseguirse si la empresa no cuenta con un presupuesto ajustado a las características de la planta, se habla entonces de que en la planificación del mantenimiento o la organización del área de mantenimiento de las empresas es necesario contar con un presupuesto que cubra todas las necesidades financieras para lo que es necesario contar con el costeo anual de la planta (García, 2012).

Estos objetivos apuntan a que el mantenimiento ha cambiado de paradigma, es decir ya no se trata exclusivamente de reparar cosas que se dañaron por el funcionamiento u otras causas, se trata de un área de la industria que se dedica a acciones que garantizan alargar la vida útil de la planta, evitando paradas técnicas que se convierten en pérdidas millonarias (García, 2012).

1.1.3 Tipos de mantenimiento

Con el desarrollo de las generaciones del mantenimiento se ha podido clasificar el mantenimiento teniendo en cuenta la finalidad o la expectativa que satisface en la instalación industrial, en este momento se conoce: mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo, mantenimiento productivo total. La tabla 1-1 muestra la definición de cada uno de ellos:

Tabla 1-1 Tipos de mantenimiento

Tipo de mantenimiento	Definición	Aplicación	Inconvenientes
Mantenimiento correctivo	Es el que se realiza cuando aparecen fallas o averías que ocasionan paradas de la producción, las acciones de este mantenimiento se resumen en el reemplazo de elementos averiados en las máquinas y equipos.	Sistemas sencillos y complejos	Incertidumbre del fallo, puede darse en cualquier momento
Mantenimiento preventivo	Obedece a planes de mantenimiento diseñados y programados con anterioridad destinadas a evitar las fallas de los equipos.	Sistemas complejos	Desarrollo de cambios de elementos de manera innecesaria Mano de obra
Mantenimiento predictivo	Se refiere a planes de mantenimiento con el objetivo de dar seguimiento y hacer diagnóstico continuo para hacer intervenciones correctoras ante la detección de fallos.	Sistemas complejos	Requiere la disponibilidad de personal y presupuesto para un mantenimiento constante.
Mantenimiento productivo total (TPM)	Es un mantenimiento que garantiza que la planta cuenta con las condiciones óptimas para aumentar la productividad y que incluye	Sistemas complejos	Requiere la disponibilidad de personal especializado, área y recursos exclusivos

	la totalidad del personal que se encuentra operando la planta.		para el mantenimiento. Aumento en presupuesto.
--	--	--	--

Fuente: (Garrido, 2010)

1.1.4 Nuevas técnicas de mantenimiento

El acelerado desarrollo tecnológico de los últimos años ha llevado al diseño de sistemas de producción más complejos por lo que las técnicas de mantenimiento han ido evolucionando en función de este desarrollo. El clásico énfasis en las reparaciones y el sistema administrativo creció, hasta incluir muchos nuevos proyectos en los diferentes campos (Mora, 2009).

- Etapas I y II con enfoque a las acciones de mantenimiento. Se dan con la aparición de los instrumentos destinados al mantenimiento, inicia el entrenamiento y subcontratación de persona para el mantenimiento en mecánico, electricidad, mecatrónica, neumática y electrónica, este personal realizaba las acciones de mantenimiento correctivo ante las fallas. En esta etapa se dan las ordenes de trabajo, y las herramientas y utensilios para las correcciones.
- Etapa III con enfoque hacia la organización táctica de mantenimiento. Dada la madurez de las empresas en el manejo conceptual y real de las acciones de mantenimiento, empieza a presentarse la necesidad de diseñar un estructura secuencial, lógico y organizado del conjunto de acciones para el mantenimiento, para este fin se adoptan tácticas como TPM especialmente enfocada a mejorar la productividad (Roberts@, 2008 y TPM@, 2008), RCM (Smith, 1992; Moubray, 2004 y Smith, y otros, 2003). MCC, TPM y MCC combinados4 (Moore@, 2001 y Geraghty, 1996), PMO, Proactivo (Trujillo, 1999a, 1999b; Oiltech, 1995; Pirret, 1999, 37; 1999), Reactivo (Idhammar, 1997a, 1999b, 1999 y Mora, 1999), WCM (Hiatt, 2000), mantenimiento centrado en el riesgo (Tavares y otros, 2005), centrado en objetivos o en resultados (Tavares y otros, 2005 y Williamson, 2008), RCM ScoreCard, (RCM ScoreCard, 2005 y Mather, 2005), PMO (Turner, 2007), mantenimiento centrado en habilidades y competencias, etc., en orden secuencial e histórico.

- Etapa IV con enfoque integral logístico de creación de una estrategia de mantenimiento. Cuando las empresas logran con eficiencia los niveles de la etapa III, surge la necesidad de medir el nivel de los resultados y desempeño de las acciones de mantenimiento que se vienen desarrollando, para ello se diseñan sistemas de costos propios o presupuestos como LCC6, también empiezan a desarrollar registro histórico de fallas y reparaciones.
- Etapa V con enfoque hacia las habilidades y competencias de mantenimiento. En esta se procuraba fortalecer y desarrollar las capacidades de las personas encargadas del mantenimiento llevándolas a un nivel profesional, en esta etapa se consolidan las realizaciones de FMECA8, RCFA y RPN9. Y, en general, la empresa se fortalece en el desarrollo de habilidades y competencias en todos o en algunos de los temas iniciados en las etapas anteriores. Se consolida el sistema de información de la gestión del mantenimiento y producción.
- Etapa VI con enfoque a la gestión de activos. Surge como medida de satisfacción a la necesidad de seguir evolucionando en lo relacionado al mantenimiento, así cuando las empresas han llegado a cumplir los niveles anteriores de mantenimiento y sistema de información de este surge entonces el paradigma de gestionar los activos, lo que se da a través del conocimiento y las mejores prácticas desarrolladas con el fin de lograr flexibilidad y existo en los activos.

1.2 Historia de RCM

El mantenimiento centrado en la confiabilidad surge como solución a una alta tasa de acciones de aviación presentada en la década de los 60, la iniciativa fue desarrollada por un grupo de ejecutivos e ingenieros que desarrollaron el proceso de identificación de acciones para mantenimiento óptimo a las aeronaves, dando como resultado un cúmulo de documentos públicos que se basaban en principios de RCM. La tesis general se basaba en que cada avión y cada componente principal de su funcionamiento tenía una vida útil confiable de acuerdo con las funciones que desarrollaban y que cumplida esta debían ser reemplazados (Moubray, 2004).

Pasados los años, el Departamento de Defensa patrocina a estos ejecutivos e ingenieros la creación de un libro que documenta todas las generalidades de RCM, el mismo fue publicado en el 1978 acompañado por un informe de evaluación de la Rand Corporation, ambos textos dieron a conocer al RCM al público en general (Mora, 2014). Este proyecto revolucionó la administración de los activos físicos.

A partir del año 1980 se extiende el uso de la metodología para la industria naval y en la armada, algunos años después se aplicó para la industria nuclear de Estados Unidos. Para el año 1993 se comenzó a aplicar en Francia. Moubray obtuvo el mayor éxito en su aproximación a la industria con el RCM mediante la creación de la metodología de RCM2, la cual incorporó cuestiones ambientales, precisión de tareas de mantenimiento y la definición de criterios de riesgo cuantitativos (Merchán & Rincón, 2017). Fue en el año 1999 donde se normalizó el proceso de RCM2 mediante la normativa SAE JA1011, con el documento "Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad", el cual establece los criterios mínimos para lo que es, y para lo que no se puede definir como RCM (Moubray, 2004).

El estándar es algo decisivo en la evolución continua de la disciplina de la gestión de activos físicos. Antes del desarrollo del estándar, muchos procesos se etiquetaban como RCM, aunque no eran fieles a las intenciones y los principios del informe original que definían el término públicamente (Oyarzún, 2008).

En la actualidad el mantenimiento RCM puede ser aplicado en las empresas y viene acompañado por soluciones tecnológicas como software que ayudan a la gestión de la información y el conocimiento en el desarrollo de la empresa, se han creado nuevos servicios que ayudan al máximo aprovechamiento de los atributos del RCM.

El proceso de RCM incita a responder las siguientes siete preguntas sobre el bien o sistema bajo revisión:

- ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?

- ¿Que ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
- ¿De qué modo afecta cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

1.2.1 Funciones y niveles de desempeño

Antes de que sea posible aplicar un proceso, utilizado para determinar qué debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe cumpliendo con su desempeño, del modo en que sus usuarios esperan dentro de su contexto operativo presente, es necesario hacer dos cosas:

- Determinar cuál es la función que los usuarios quieren que cumpla.
- Asegurar que el bien es capaz de comenzar con lo que los usuarios esperan.

Es por esto por lo que el primer paso del RCM es definir las funciones de cada bien en su contexto operativo, como así también los estándares de desempeño deseados. Las funciones que los usuarios pretenden que sus bienes desempeñen pueden dividirse en dos categorías:

- Funciones primarias: que sintetizan por que el bien fue adquirido en primer lugar. Estas categorías de funciones cubren temas tales como velocidad, rendimiento, capacidad de transportación o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente.
- Funciones secundarias, que indican que se espera que todo bien produzca más que simplemente su función primaria. Los usuarios también tienen expectativas en áreas como ser seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia de operación, cumplimiento con las normas medioambientales, y hasta la estética o apariencia del bien (Moubray, 2004)

2. Ingeniería del proyecto

2.1 Información técnica de los equipos y plan de mantenimiento

Este primer apartado se ocupa de presentar la información técnica de los motores eléctricos que están presentes en toda la planta de Ecopetrol, adicionalmente se presenta el plan de mantenimiento que se desarrolla para estos motores con la finalidad de visualizar las tareas que se consideran pueden ser optimizadas.

2.1.1 Descripción general de la información técnica de los motores

A continuación, se presenta información sobre los motores y el plan de mantenimiento que desarrolla en la actualidad la empresa Ecopetrol. Para iniciar es importante entrar en contexto, la empresa cuenta con motores eléctricos de media y baja tensión, estos se ubican en toda las plantas y procesos la empresa. Estos garantizan motores garantiza el desarrollo adecuado de los procesos a través de la conversión de energía eléctrica en mecánico o movimiento.

Tabla 2-1 Información técnica de motores de media tensión

Motor (referencia)	Ficha técnica
3400 HP a 13000 HP – 13000 V	Estándar API-541
250HP a 3400HP – 4160 V.	Estándar IEEE- 481 TEFC-TEAAC
500HP -4160 V	Estándar API-541/547.

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 2-2 Información técnica de motores de baja tensión

Motor (referencia)	Ficha técnica
1 H.P. a 250 HP _ 480 V	Estándar IEEE 841.

Fuente: Elaboración propia del autor

Los motores en su mayoría son marca Siemens y tienen ruta para su mantenimiento y además por nivel de tensión y criticidad.

Los motores de media tensión son los que generalmente llevan el peso de la producción en la refinería de Cartagena, como también dependiendo del proceso, hay motores de baja tensión que también al fallar pueden ocasionar una parálisis o apagada de un proceso o unidad.

Por ejemplo en la unidad de Crudo que es donde se inicia el proceso de refinación y tiene unas bombas impulsadas por motores de media tensión que cargan a la unidad con 165 mil barriles/día para la destilación primaria y el envío de productos para continuar la cadena de los diferentes procesos de refinación en diferentes plantas y que un motor pueda fallar por los diferentes modos de falla, reviste una gravedad alta por el gran impacto económico que se ocasiona para la empresa, poniendo en riesgo además la integridad de los activos, la seguridad de las personas y el medio ambiente.

Igualmente, en un motor de baja tensión que se utilice para un ventilador de enfriamiento de productos dentro de un proceso de refinación puede ocasionar la apagada de una planta por la falla de este, ocasionando el exagerado aumento de la temperatura del producto que lo hace inmanejable, lo cual es gravísimo y con consecuencias negativas de tipo económico, de seguridad de las personas y el medio ambiente.

Se busca disminuir las probabilidades de falla evitando el daño económico, de las personas, de las instalaciones y del medio ambiente.

2.1.2 Plan de mantenimiento de los motores de media y baja tensión

En revisión se logró evidenciar que el plan de mantenimiento se basa en la ejecución de tareas de mantenimiento programadas con una frecuencia de 6 meses a cada motor, ejecutadas por personal eléctrico propio y personal de empresas aliadas, debido a la mínima mano de obra propia. La estrategia de mantenimiento para los 1969 motores eléctricos en la Refinería de Cartagena se basa en actividades de monitoreo de parámetros eléctricos “on line / off line” en el conjunto acometida-motor y protecciones, a su vez se definen varias tareas de mantenimiento dependiendo de la importancia en el proceso y tamaño. Para motores menores de 5 HP (excepto motores de lubricación) el mantenimiento es a falla, para motores de baja tensión de todas las potencias y definidos por el proceso como “críticos” existen tareas adicionales, en comparación con la estrategia de mantenimiento para el resto de los motores de baja tensión, tomando en consideración los que requieren armado de andamios.

Tabla 2-3 Modos de fallas de los motores

Clase de equipo	modo de falla	Ejemplo.
<i>motor eléctrico</i>	<i>Descripcion</i>	
X	Falla de la función ante demanda.	No arranca ante demanda.
X	Falla de parada ante demanda.	No para ante demanda
X	Parada inesperada.	Parada inesperada.
X	Ruptura	Daño severo (Fractura, explosión, etc.
X	Salida por alto	Salida por encima de las especificaciones deseada

X	Salida por Baja.	Salida por debajo de las especificaciones deseadas
X	Operación inestable	Oscilación, inestable
X	Vibración	Vibración anormal.
X	Ruido	Ruido anormal
X	Temperatura excesiva.	Partes mecánicas, escape de gases.
X	Atascado	Restricciones de flujo.
X	Desviación de parámetros	Los parámetros monitoreados exceden los límites
X	Lectura anormal de instrumentos	Falsa alarma, instrumentos defectuosos
X	Deficiencia estructural	Daño de material, corrosión
X	Problemas menores.	Piezas flojas, contaminación, etc.

Fuente: Ecopetrol

La tabla 2-3 muestra la clasificación de las fallas que pueden presentar los motores, se logra ver que existen por lo menos 15 modos de fallas en los motores que al presentarse sugieren un accionamiento con un plan de mantenimiento que se resumen en rutas de trabajo para resolver las fallas presentadas.

Siguiendo estos tipos de falla, el mantenimiento de estos motores se puede resumir en el siguiente diagrama.

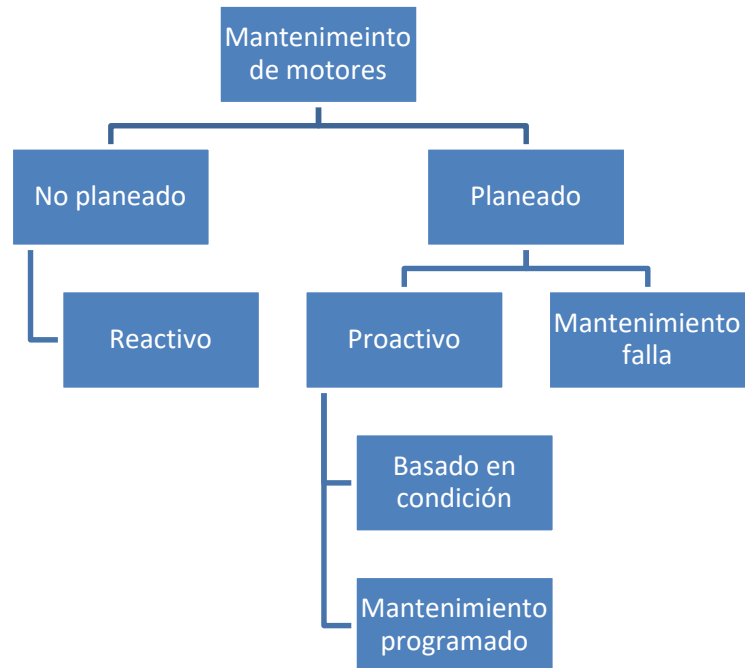


Figura 2-1 Diagrama del proceso de mantenimiento de motores

Fuente: Elaboración propia del autor

La figura 2-1 muestra cómo se da el plan de mantenimiento planeado y no planeado, de acuerdo con el tipo de falla que se describe en la tabla 2-3.

A continuación, se presenta las hojas de rutas del plan de mantenimiento que se ha venido desarrollando con el fin de conocer el estado actual de los recursos que se invierten en este plan.

Tabla 2-4 Estrategia Mantenimiento motores de baja tensión (480V)

MODO DE FALLA	TIPO DE TAREA	TAREA
No arranca bajo demanda. (Bajo aislamiento estator)	Basadas en tiempo	Prueba de análisis PDMA conjunto acometida motor.
	Monitoreo de condición	Ronda estructurada del operador
	Basadas en condición	Reparar/reemplazar según condición
No arranca bajo demanda. (Bajo aislamiento acometida fuerza).	Basadas en tiempo	Prueba de análisis PDMA conjunto acometida motor.
	Basada en tiempo	Prueba de resistencia de aislamiento e índice de polarización a conjunto acometida motor.
	Basadas en condición	Inspección, limpieza, verificación de torque (reapriete) en caja de empalmes.
	Monitoreo de condición	Ronda estructurada del operador
	Basadas en condición	Reparar/reemplazar según condición
No para / arranca bajo demanda. (Bajo aislamiento acometida de control)	Basadas en tiempo	Ensayo funcional sistema de control y protección
	Basadas en tiempo	Limpieza y reapriete de conexonado en pulsador de campo.
	Monitoreo de condición	Ronda estructurada del operador
	Basadas en condición	Reparar/reemplazar según condición
Sobrecalentamiento	Monitoreo de condición	Ronda estructurada del operador
	Basadas en tiempo	Inspección visual estado de ventilador
	Basadas en condición	Monitoreo de termografía.
	Basadas en condición	Reparar/reemplazar según condición
Salida Errática (Protección eléctrica con disparos erróneos).	Basadas en tiempo	Ensayo funcional sistema de control y protección
	Basadas en tiempo	Prueba de inyección secundaria a relé
	Basadas en tiempo	Reapriete y limpieza de conexonado de control
	Basadas en tiempo	Prueba a interruptores de potencia: Resistencia de aislamiento, tiempo de cierre y apertura y resistencia de contactos
	Basadas en condición	Reparar/reemplazar según condición
	Basadas en tiempo	Reparar/reemplazar según condición
Fuga externa de medio utilitario	Monitoreo de condición	Ronda estructurada del operador
	Basadas en condición	Reparar/reemplazar según condición
Lectura Anormal de Instrumento	Monitoreo de condición	Ronda estructurada del operador
	Basadas en condición	Reparar/reemplazar según condición
Deficiencia estructural. (Corrosión)	Monitoreo de condición	Ronda estructurada del operador
	Basadas en condición	Pintura
	Basadas en condición	Reparar/reemplazar según condición

Fuente: Ecopetrol

La empresa cuenta con 1807 motores de baja tensión en la Refinería, los cuales son todos iguales o menores a 250 HP. Estos motores están fabricados bajo el estándar de diseño IEEE-841. La tabla 2-4 lista las tareas que en que se basa la estrategia de mantenimiento de estos motores.

Tabla 2-5 Estrategia de mantenimiento motores eléctricos de media tensión

MODO DE FALLA	TIPO DE TAREA	TAREA
No arranca bajo demanda. (Bajo aislamiento estator)	Basadas en tiempo	Prueba de análisis PDMA conjunto acometida motor.
	Monitoreo de condición	Ronda estructurada del operador
	Monitoreo de condición	Ronda especializada Ingeniero de Confiabilidad Eléctrica
	Basadas en condición	Reparar/reemplazar según condición
No arranca bajo demanda. (Bajo aislamiento acometida fuerza).	Basadas en tiempo	Prueba de análisis PDMA conjunto acometida motor.
	Basadas en tiempo	Inspección, limpieza, verificación de torque (reapriete) en caja de empalmes.
	Monitoreo de condición	Ronda estructurada del operador
	Monitoreo de condición	Ronda especializada Ingeniero de Confiabilidad Eléctrica
No para / arranca bajo demanda. (Bajo aislamiento acometida de control)	Basadas en condición	Reparar/reemplazar según condición
	Basadas en tiempo	Ensayo funcional sistema de control y protección
	Basadas en tiempo	Limpieza y reapriete de conexionado en pulsador de campo.
	Monitoreo de condición	Ronda estructurada del operador
Sobrecalentamiento	Monitoreo de condición	Ronda especializada Ingeniero de Confiabilidad Eléctrica
	Monitoreo de condición	Monitoreo de termografía.
	Basadas en condición	Reparar/reemplazar según condición
	Basadas en tiempo	Ensayo funcional sistema de control y protección
Salida Errática (Protección eléctrica con disparos erróneos).	Basadas en tiempo	Prueba de inyección secundaria a relé
	Basadas en tiempo	Reapriete y limpieza de conexionado de control
	Basadas en tiempo	Prueba a interruptores de potencia: Resistencia de aislamiento, tiempo de cierre y apertura y resistencia de contactos
	Basadas en condición	Reparar/reemplazar según condición
Fuga externa de medio utilitario	Monitoreo de condición	Ronda estructurada del operador
	Monitoreo de condición	Ronda especializada Ingeniero de Confiabilidad Eléctrica

Fuente: Ecopetrol

La empresa tiene 6 motores de media tensión en la Refinería de 13800V, los cuales son todos aquellos mayores a 3400 HP. El estándar de diseño de estos motores es bajo el estándar API-541. Se tienen 151 motores de media tensión en 4160V en la Refinería y 9 de 6660V, los cuales son todos aquellos que van de 250 HP hasta 3400HP. Estos motores en su mayoría son de tipo de refrigeración TEFC y TEAAC, rodamiento tipo bolas y fabricado bajo especificaciones de los estándares IEEE-841 (aplicaciones generales hasta 500 HP) y API-541/547 para aplicaciones especiales. La estrategia de mantenimiento para estos motores se basa en actividades como las que se describen en la tabla 2-5 entre otras.

Teniendo en una noción del plan de mantenimiento se procede a identificar posibles mejoras en las hojas de rutas encontradas y que serán tenidas en cuenta para la propuesta del presente proyecto.

Tabla 2-6 Hoja de ruta de mantenimiento - Aislamiento no críticos

A	PMEMEL01	C2	AISLAMIENTO NO CRITICOS							
HOJA DE RUTA ORIGINAL										
Op.	Psto Tbj	Ce.	Ctrl	Descripción operac	Trab	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia
10	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ANALISIS	0,5	H	1	0,5	H	6 MESES
20	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES	0,6		2	0,3		6 MESES
30	RPRCEGEN	RCSA	PM02	INSPECCION Y LIMPIEZA	3	H	2	1,5	H	6 MESES
40	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICION AISLAMIENTO	1	H	2	0,5	H	6 MESES
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MONITOREO VARIABLES ELECT.	1	H	2	0,5	H	6 MESES
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y/O CAMBIO BOMBILLO	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ORDEN Y ASEO	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
90	RPRPEGEN	RCSA	PM01	DOCUMENTAR ORDEN DE TRABAJO	0,5	H	1	0,5	H	6 MESES
				TOTAL HORAS HOMBRE>	8,4					

Fuente: Ecopetrol

Tabla 2-7 Hoja de ruta de mantenimiento - Aislamiento bt no críticos con andamios

A	PMEMEL01	C4	AISLAMIENTO BT NO CRITICOS CON ANDAMIOS							
HOJA DE RUTA ORIGINAL										
Op.	Psto Tbj	Ce.	Ctrl	Descripción operación	Trabaj	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia
10	RAMCMGEN	RCSA	PM02	ARMAR-CERTIFICAR ANDAMIOS	16	H	4	4	H	6 MESES
20	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ANALISIS DE RIESGOS	0,5	H	2	1	H	6 MESES
30	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES	0,6		2	0,3		6 MESES
40	RPRCEGEN	RCSA	PM02	INSPECCION Y LIMPIEZA	3	H	2	1,5	H	6 MESES
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICION AISLAMIENTO PULSADOR	1	H	2	0,5	H	6 MESES
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MONITOREO VARIABLES ELECT. PDMA	1	H	2	0,5	H	6 MESES
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y/O CAMBIO BOMBILLO	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
90	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ORDEN Y ASEO	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
100	RPRPEGEN	RCSA	PM01	DOCUMENTAR ORDEN DE TRABAJO	0,5	H	1	0,5	H	6 MESES
110	RAMCMGEN	RCSA	PM02	DESARMAR-CERTIFICAR ANDAMIOS	16	H	4	4	H	6 MESES
				TOTAL HORAS HOMBRE>	40,4					

Fuente: Ecopetrol

Analizando la hoja de ruta expresada en la tabla 2-6 Y 2-7 se puede ver que existen 3 tareas que se podrían eliminar como son el Análisis de Riesgo, el cual se puede hacer validar en la semana que se programan los mantenimientos, que se hacen una semana antes y estos los puede hacer el Supervisor. Realizar Orden y Aseo, el mantenimiento estos equipos por lo general no genera desechos y se debe trabajar en un área que este limpia y ordenada para así evitar un accidente, y si se llegare a generar algún desecho se

debe retirar sin agregar más tiempo en la ejecución de la tarea. Documentar orden de trabajo: esta se puede hacer al finalizar la ejecución de la jornada diaria y se pueden documentar todas las ordenes ejecutadas.

2.2 Análisis de gravedad de fallas

Para el desarrollo del análisis es necesario entrar al contexto, para proteger a los motores y el proceso de la planta la empresa ha diseñado el Sistema de Gestión de Protecciones Eléctricas. Este se realiza a través de un software llamado Enervista de marca General Electric (GE), el cual integra la información de los relés de protección GE utilizados en el sistema eléctrico de la refinería, en el cual se puede recibir información en línea y descargar automáticamente eventos y oscilografías, además de modificación y visualización de parámetros.

Las hojas de ruta de los Relés de Protecciones están programadas para ejecutarse por grupos de motores que correspondan a un MCC en las diferentes subestaciones de las plantas al interior de la Refinería.

Tabla 2-8 Hojas de Ruta a Relés de Protecciones

HOJA DE RUTA ORIGINAL										
Op.	Psto Tbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	Trabajo	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia
10	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ANALISIS DE RIESGO	0,5	H	2	0,3	H	24meses
20	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	24meses
30	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ENSAYOS FUNCIONALES	112	H	4	2	H	24meses
40	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	7	H	2	2	H	24meses
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	ORDEN Y ASEO	28	H	2	1	H	24meses
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	DOCUMENTAR ORDEN	0,5	H	1	1	H	24meses
TOTAL HORA HOMBRE					148,6					

Fuente: Ecopetrol

Como se evidencia en la tabla 2-8 las Horas Hombres para la ejecución de la rutina de Ensayos funcionales a los relés, están determinadas por la cantidad de equipos de la respectiva subestación o unidad correspondiente. Y se resalta que en la refinería de Cartagena hay un listado actualizado de 1969 motores de Media y Baja tensión.

Ahora respecto a los equipos críticos la metodología para identificar y documentarlos en todas las instalaciones propias por Ecopetrol S.A. integra diferentes mecanismos que han sido diseñados por la empresa y bajo estándares vigentes, dentro de estos se tiene:

- ASP: un sistema de Administración de la Seguridad de los Procesos.
- BPCS: Basic Process Control Systems: un Sistema de control de la planta que puede ser un controlador de lazo sencillo, Control lógico Programable (PLC) o Sistema de Control Distribuido (DCS).
- Capa de protección: Son Sistemas de protección que generalmente involucran diseños especiales, equipo de proceso, sistema de control básico de proceso, procedimientos administrativos y/o respuestas planeadas para protección contra un riesgo inminente.



Figura 2-2 Capas de Protección

Fuente: Ecopetrol

La Figura 2-2 muestra el concepto de capas de protección independientes (IPL) y las composiciones de los diferentes tipos de funciones de protección, tal como se define en la

Parte 1 de la norma ANSI/ISA 84.00.01. Este concepto implica que cuando los riesgos no pueden ser eliminados con diseños inherentemente seguros, el riesgo inherente (riesgo inicial) asociado con la operación de unidades de proceso o equipos puede evitarse o reducirse aplicando una serie de medidas o capas de reducción de riesgo.

Siguiendo los sistemas para identificar equipos críticos se tiene:

- CMMS (Computerized Maintenance Management System): Sistema computarizado de gestión de mantenimiento.
- Costo directo: El costo de reparaciones o restitución, limpieza, disposición de material, remediación ambiental y respuesta a emergencia. El costo directo no incluye costos indirectos, tales como la oportunidad de negocio, la interrupción del negocio y pérdidas de material prima/productos, lucro cesante debido a merma de equipos, costos de obtención u operación de instalaciones temporales, o costos de obtención de reemplazo de equipos para satisfacer la demanda del cliente. El costo directo no incluye el costo del componente que falló lo que conlleva a pérdida de contención primaria (LOPC), si el componente no se daña además por incendio o explosión.
- Equipo: Es un objeto técnico individual al cual se le hace mantenimiento.
- Equipo crítico por disponibilidad operacional: Son aquellos equipos que en caso de falla, podrían originar una parada de planta no programada, que genere incumplimiento de los programas de producción y/o nominaciones con consecuencia económica nivel 4 y 5, de acuerdo con la matriz RAM.
- Equipo crítico por seguridad de procesos: Son los equipos cuya falla podría permitir, contribuir o resultar en la liberación o la exposición a suficiente cantidad de sustancias peligrosas, o su energía (por ejemplo, fuego y explosión); que pudieran ocasionar la muerte, impactos ambientales significativos o daños importantes a la propiedad.
- HSE: Health, Safety and Environment.
- Punto de Inflamación (Flash Point – FP): Temperatura mínima (corregida a la presión de referencia de 101,3 kPa) en la que los vapores de un líquido se inflaman cuando se exponen a una fuente de ignición en unas condiciones determinadas de ensayo. Es una medida directa de la volatilidad del líquido, es decir su tendencia a vaporizarse. Mientras más bajo sea el punto de inflamación, mayor será la volatilidad del líquido y mayor el riesgo de fuego.

- Sustancia Peligrosa: Cualquier sustancia que, cuando se libera o enciende, o cuando su energía es liberada, puede resultar en muerte o efectos a la salud humana irreversibles, daño significativo a la propiedad, o daño significativo al ambiente debido a la toxicidad aguda de la sustancia, inflamabilidad, explosividad, corrosividad, inestabilidad térmica, calor latente, o compresión.
- Temperatura de auto ignición (AIT): Es la temperatura mínima, a presión de una atmósfera, a la que una sustancia (sólida, líquida o gas) en contacto con el aire, arde espontáneamente sin necesidad de una fuente de calor exterior.

Todos estos sistemas se encuentran avalados por las siguientes referencias normativas:

- API RP 580 Risk Based Inspection Recommended Practice (2002).
- API RP 581 Risk Based Inspection Base Resource Document (2000).
- API RP 754 Process Safety Performance Indicators for the Refining & Petrochemical Industries (2010).
- ECP-VST-O-PRO-GT-001 Guía de Análisis de Riesgo de procesos.
- ECP-VIN-O-PRO-GT-004 Guía para la Integridad Mecánica de los equipos críticos ASP.
- ECP-VIN-O-PRO-GT-005 Guía Técnica de Aseguramiento de Calidad De Equipos, Sistemas y Materiales Críticos para la Seguridad de Procesos.
- GAC-P-006 Procedimiento para la gestión del ciclo de vida de la información de tecnología de proceso.
- GHS-G-005 Guía de Gestión HSE.
- NFPA 704 Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response
- PASS 55-1: 2008. Asset Management. Part 1. Specification for the optimized management of physical assets.

Los pasos fundamentales para identificar y documentar equipos críticos son:

- Primero. Formar un grupo o grupos de trabajo multidisciplinario con amplio conocimiento y experiencia en diseño, operación y mantenimiento del proceso.
- Segundo. Disponer del árbol de jerarquía de los equipos inscritos en el CMMS debidamente aprobado.

- Tercero. Revisar o realizar un cálculo de consecuencias para equipos por disponibilidad operacional en cada Vicepresidencia teniendo en cuenta el impacto económico.
- Cuarto. Revisar o realizar un cálculo de consecuencias por pérdida de contención para equipos por seguridad de procesos (ver ítem 3.7). Se debe tener en cuenta la información de Tecnología de Proceso como riesgos de las sustancias peligrosas, inventario de sustancias, bases de Diseño del Proceso y Bases del Diseño del Equipo, etc.
- Quinto. Definir la lista de equipo crítico por disponibilidad operacional y por seguridad de procesos.
- Sexto. Marcar el equipo como crítico por disponibilidad operacional, crítico por seguridad de procesos o no crítico en el sistema de gestión de mantenimiento (CMMS) a nivel 8.

A continuación, se presentan los criterios que definen equipos críticos. Cada unidad de negocio deberá evaluar sus procesos operativos en los cuales se definirán los equipos críticos:

- Criterio de criticidad por disponibilidad operacional: Son aquellos equipos que, en caso de falla, podrían originar parada de planta no programada, que genere incumplimiento de los programas de producción y/o nominaciones, con consecuencia económica nivel 4 y 5. Se deben considerar las variables de redundancia para la clasificación de equipo crítico por disponibilidad operacional.
- Criterio de criticidad por seguridad de proceso: Son equipos cuya falla podría resultar en, permitir, o contribuir a la liberación o exposición a sustancias peligrosas en suficiente cantidad, o sustancias no peligrosas con alta liberación de energía (por ejemplo, explosión, o fuego); que pudieran ocasionar afectaciones no tolerables en las personas, el medio ambiente y/o la propiedad. Esto es, consecuencia 5 en personas o económica, o nivel 4 o 5 en la dimensión ambiental sin tener en cuenta el tiempo de remediación, ni el impacto. Se debe clasificar los equipos con base en los siguientes grupos (ver tabla 2-9).

Tabla 2-9 Clasificación de equipos por sustancias toxicas

Grupo	Descripción
<p>Grupo 1 – Equipos que contengan o estén en contacto con sustancias peligrosas, en los que se debe evitar la pérdida de contención</p>	<p>Se refiere a los sistemas de contención primaria consistentes de tuberías, vasijas y otros equipos de proceso diseñados para mantener controladas sustancias peligrosas y energías del proceso. Se consideran críticos los equipos del grupo 1 cuya consecuencia es nivel 5 en personas o económica, o nivel 4 o 5 en la dimensión ambiental sin tener en cuenta tiempo de remediación, ni el impacto.</p> <p>A continuación, se mencionan algunos ejemplos, pero la definición no se limita a estos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recipientes a presión, tanques de almacenamiento y piscinas. • Equipos y tuberías de proceso y transporte de hidrocarburos. • Bombas, compresores y turbinas. • Cabezal de pozo. • Árbol de navidad. • Sarta perforación. • BOP. • Empaque tope liner. • Tubería revestimiento. • Tubería producción. <p>Recuerde que el nivel de consecuencias de estos equipos debe ser 5 en personas o económica, o nivel 4 o 5 en la dimensión ambiental sin tener en cuenta tiempo de remediación.</p>
<p>Grupo 2 – Controles de contención: Equipos que ayudan a mantener la contención durante la operación normal</p>	<p>Equipo que generalmente no contiene una sustancia peligrosa y que “ofrece un margen de seguridad para prevenir un evento peligroso”. Ayuda a mantener la contención durante las operaciones normales.</p> <p>A continuación, se mencionan algunos ejemplos, pero la definición no se limita a estos.</p> <p>Estos equipos deben estar asociados a los equipos del Grupo 1 clasificados como críticos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lazos de control (BPCS). • Válvulas de cheque. • Protección catódica. • Sistemas de calentamiento o enfriamiento. • Estructura y soportes de tubería. • Venteos. • Scrubers. • Sistemas de servicios auxiliares (disponibilidad de los equipos).

	<ul style="list-style-type: none"> • Aires acondicionados asociados a sistemas de control sistemas de protección, CCM.
Grupo 3 - Equipos que garanticen una parada segura.	<p>Todos los equipos, sensores y elementos primarios de control que integran el sistema de protección. Estos equipos deben estar asociados a los equipos del Grupo 1 clasificados como críticos.</p> <p>A continuación, se mencionan algunos ejemplos, pero la definición no se limita a estos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de paro de emergencia automáticos y manuales. • Sistemas de control de ignición. • Válvulas de aislamiento en caso de incendio. • Alarmas y controles de seguridad del proceso que requieren la intervención del operador. • Salvaguardas. • Interlocks de seguridad. • Funciones instrumentadas de seguridad. • Sistemas corrida tubería con rotación.
Grupo 4 - Equipos asociados con la liberación y control de emisiones de sustancias peligrosas fuera de operación normal	<p>Los siguientes equipos son considerados como críticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de transferencia inventario y/o tanques de relevo. • Válvulas de seguridad. • Dispositivos de relevo de presión • Sistemas de Teas. • Equipo flotación para cementación. • Empaque de producción. • Sellos móviles producción PBR.
Grupo 5 - Equipos asociados con la detección o respuesta al desfogue o emisión de la sustancia peligrosa	<p>El funcionamiento de estos sistemas no deberá depender de ningún otro sistema de control mayor.</p> <p>Los siguientes equipos son considerados como críticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de detección de gases, llama y humos. • Sistemas de detección de fugas. • Sistemas de alarmas de emergencias, evacuación e incendio. • Sistemas de radio y teléfono para comunicación interna y externa, SOLÓ SÍ son los medios primarios para reducir el impacto de la emisión de sustancias peligrosas.
Grupo 6 - Equipos que, al ser activados, reducen el potencial de riesgo o minimizan los desfuegos o emisiones peligrosas, los incendios y/o explosiones	<p>Los siguientes equipos son considerados como críticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas contra incendio. • Sistemas de rociadores. • Agentes limpios y CO2. • Sistemas de supresión de explosiones.

	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de ventilación utilizados para: Diluir las sustancias peligrosas. Proveer presión positiva en las salas de control y equipo eléctrico. Mantener la operación de sistemas controladores electrónicos de seguridad. <p>Nota: Los sistemas de aire autocontenido, mangueras y carros de bomberos no se consideran equipos críticos y se debe asegurar a través del elemento de Control de Emergencias.</p>
Grupo 7 Protecciones pasivas o equipos que no requieren ser activados para reducir el potencial o minimizar los desfogues o emisiones peligrosas, incendios y explosiones relacionadas con el proceso	<p>Estos equipos deben estar asociados a los equipos del Grupo 1 clasificados como críticos. A continuación, se mencionan algunos ejemplos, pero la definición no se limita a estos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elementos secundarios de contención: Diques, drenajes. • Fire proofing. • Muro contra fuego. • Sistemas de puesta a tierra. • Apantallamiento.
Grupo 8 - Equipos que ayudan a mantener una operación segura	<p>Se refiere al equipo de respaldo eléctrico asociados a instalaciones de proceso.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de respaldo de energía de emergencia: fuentes de energía no interrumpibles, generadores diésel, sistemas de baterías asociados a instalaciones de control de procesos.

Fuente: Ecopetrol

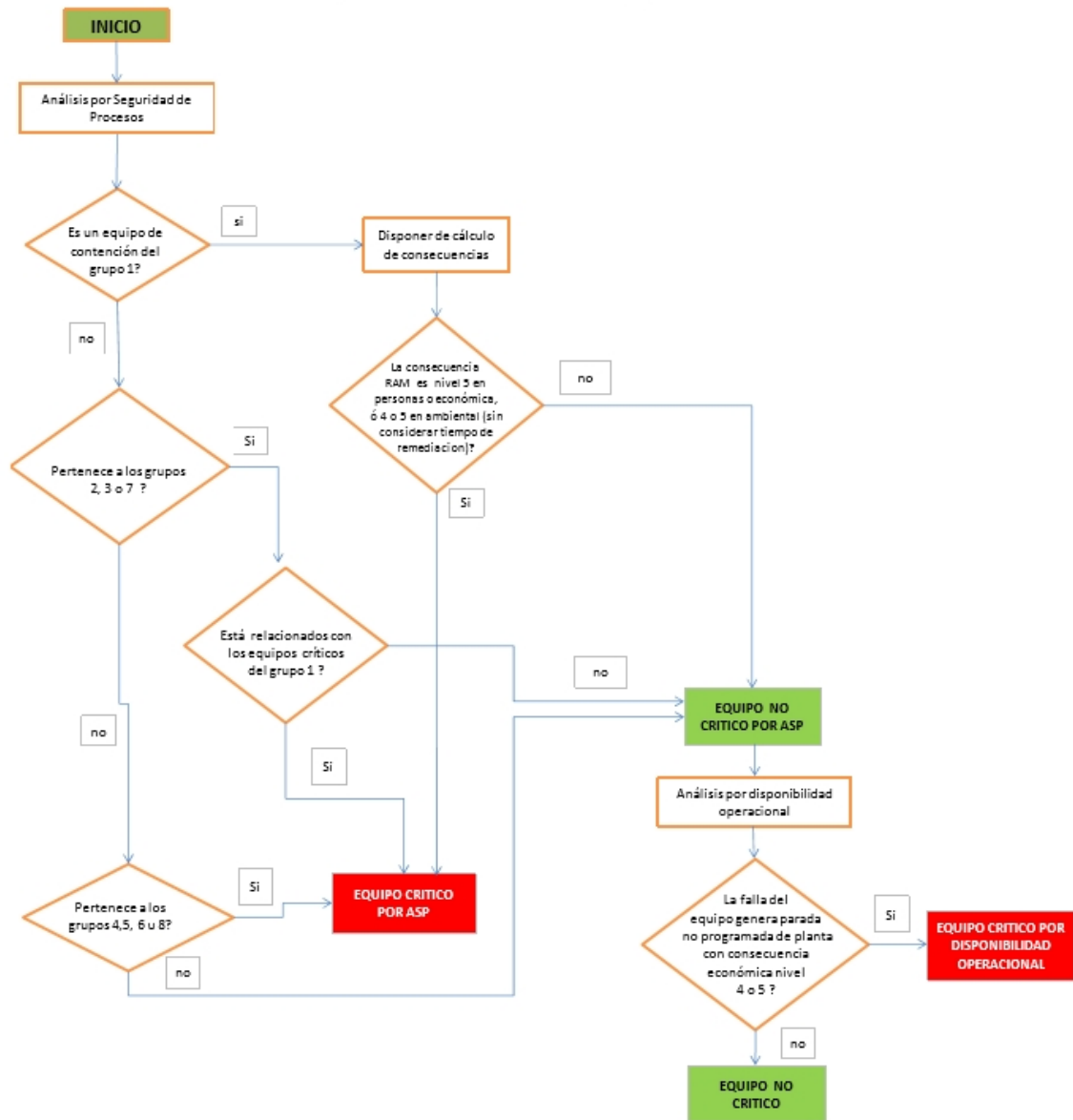


Figura 2-3 Identificación de equipos críticos

Fuente: Ecopetrol

La figura 2-3 muestra de manera general como se desarrolla el proceso de equipos críticos en la empresa, primero se da un análisis por seguridad del proceso teniendo en cuenta los grupos mencionados en la tabla 2-9.

Otra forma establecida por la empresa para identificar equipos críticos es la valoración de consecuencias. Por definición son equipos críticos de seguridad de procesos aquellos que en caso de falla pueden ocasionar, según la matriz de valoración de riesgos (ver tabla 2-10), consecuencias nivel 5 en personas o económica, o nivel 4 o 5 en la dimensión ambiental sin tener en cuenta el tiempo de remediación, ni el impacto.

Tabla 2-10 Matriz de valoración de Riesgos.

CONSECUENCIAS		PROBABILIDAD								
		A	B	C	D	E				
Personas	Económica	Ambiental	Clientes	Imagen de la Empresa		No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Unidad, Superintendencia o Departamento
Una o mas fatalidades	Catastrófica > \$10M	Contaminación Irreparable	Veto como proveedor	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad permanente (parcial o total)	Grave \$1M a \$10M	Contaminación Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Nacional	4	L	M	M	H	H
Incapacidad temporal (>1 día)	Severo \$100k a \$1M	Contaminación Localizada	Pérdida de clientes y/o desabastecimiento	Regional	3	N	L	M	M	H
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante \$10k a \$100k	Efecto Menor	Quejas y/o reclamos	Local	2	N	N	L	L	M
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <\$10k	Efecto Leve	Incumplir especificaciones	Interna	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

Fuente: Ecopetrol

Respondiendo las siguientes preguntas:

Cuál es la consecuencia más probable en caso de presentarse una falla, que: (i) Interrumpa por completo la función del equipo? (ii) Interrumpa parcialmente la función del equipo?

De igual forma, debe ser cuestionada la probabilidad de ocurrencia. (i) ¿Con qué frecuencia se ha presentado la consecuencia?

Un equipo será considerado crítico, si su valoración a la luz de la matriz RAM, es de un riesgo alto o muy alto (H, VH). Para una mejor evaluación de la consecuencia más probable, es importante conocer las definiciones detalladas de las diferentes consecuencias (Ver anexo A). La valoración debe ser producto de un análisis de consecuencias en donde la probabilidad o susceptibilidad de falla no debe ser tomada en cuenta.

Para continuar con el análisis se hizo una revisión de las rutas de trabajo para el mantenimiento de los equipos críticos, para mayor ilustración de estas se tiene la tabla 2-11.

Tabla 2-11 Hoja de ruta de Motores Críticos de Baja Tensión

	A	PMEMEL01	C1	AISLAMIENTO BT CRITICOS						
				HOJA DE RUTA ORIGINAL						
Op.	Psto Tbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	Trabaj	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia
10	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ANALISIS DE RIESGOS	0,5	H	1	0,5	H	6 MESES
20	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES	0,6		2	0,3		6 MESES
30	RPRCEGEN	RCSA	PM02	INSPECCION Y LIMPIEZA	3	H	2	1,5	H	6 MESES
40	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICION AISLAMIENTO PULSADOR	1	H	2	0,5	H	6 MESES
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MONITOREO VARIABLES ELECT. PDMA	1	H	2	0,5	H	6 MESES
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y/O CAMBIO BOMBILLO	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ORDEN Y ASEO	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
90	RPRPEGEN	RCSA	PM01	DOCUMENTAR ORDEN DE TRABAJO	0,5	H	1	0,5	H	6 MESES
				TOTAL HORAS HOMBRE>	8,4					

Fuente: Ecopetrol

Al hacer un análisis de los motores críticos, y tomando como referencia la tabla 2-11, no se encontraron causalidades para cambiar su designación en el propósito de sus funciones, sin embargo, también se sugiere el cambio de las tareas como a los demás motores de media y baja tensión, para reemplazarlas por las actividades de Protecciones eléctricas.

Para terminar el análisis es necesario mencionar las fallas eléctricas que se presentan con más frecuencia y en qué modo.

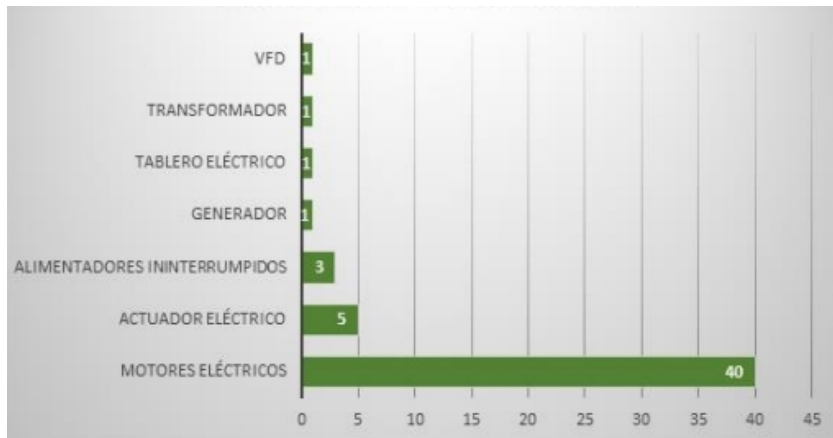


Figura 2-4 Fallas eléctricas por familia 2019

Fuente: Ecopetrol

La figura 2-4 muestra como han sido las fallas y se logra evidenciar que la mayor frecuencia se da en los motores eléctricos.

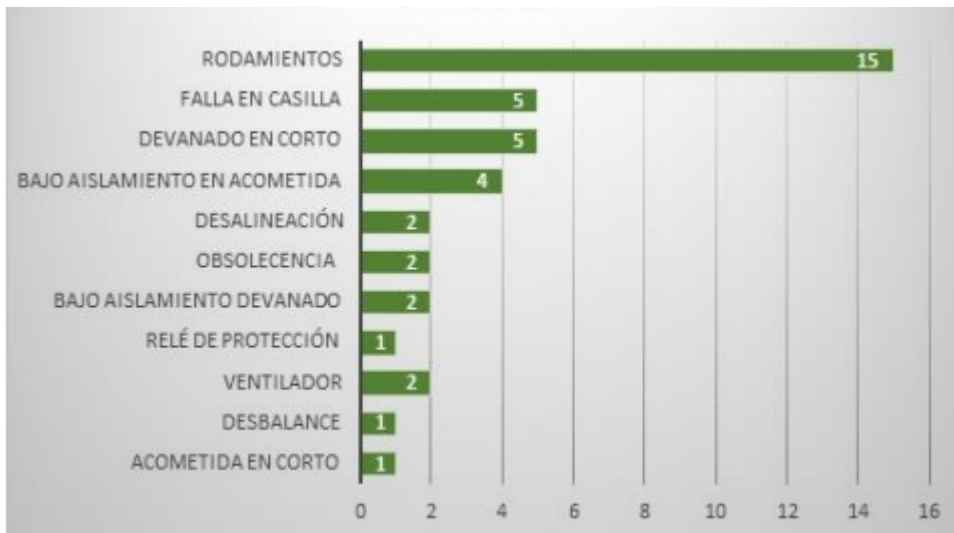


Figura 2-5 Modos de las fallas eléctricas

Fuente: Ecopetrol

La figura 2-5 muestra que la familia de equipos que más ha reportado fallas es la de los motores, con 40 equipos, siendo los rodamientos el modo de falla que más ha inhabilitado

equipos con 15 anotaciones, esta conexión se presenta teniendo en cuenta el tiempo de operación del motor y se ha corregido oportunamente toda vez que se cuenta con disponibilidad del repuesto.

Teniendo en cuenta la disminución de los ingresos derivados de la caída de los precios del petróleo, se hace necesario optimizar las tareas del mantenimiento a motores de media y baja tensión de la refinería y así contribuir en la disminución de los costos en que se incurre por esta actividad.

La optimización en esta ocasión se refiere a la posibilidad de ejecutar conjuntamente el mantenimiento preventivo de los motores con el mantenimiento preventivo de las protecciones de los motores o ensayos funcionales a los relés; actualmente, el mantenimiento de este sistema se hace por separado y en diferentes fechas, lo cual desaprovecha el recurso humano y hace más costoso el mantenimiento de estos equipos. Esta estrategia del mantenimiento por separado ocasiona que a muchos equipos se les deje de hacer el mantenimiento, porque algunas veces operaciones no sacan se servicio el equipo 2 veces y por lo tanto esos equipos quedan en Bag Log y generan sobrecostos por horas hombre.

Por eso se deben eliminar las hojas de ruta de las protecciones, eliminar algunas tareas de las hojas de ruta actuales y realizar una nueva hoja de ruta que incluya las actividades relevantes de los Ensayos Funcionales a las Protecciones y del preventivo de motores.

2.3 Propuesta de nuevo plan de mantenimiento basado en RCM

Para el diseño de la nueva propuesta es importante considerar la necesidad de eliminar todas aquellas actividades que no agregan valor, con debilidades identificadas y que están teniendo un gran impacto en el costo y las horas hombre de la estrategia general de Mantenimiento.

Al optimizar la estrategia de mantenimiento de los motores:

- Mejora la disponibilidad de los motores

- Se asegura el mantenimiento a equipos ASP
- Se incluyen pruebas funcionales y equipos.

La optimización se plantea como resultado del análisis de: enfoques históricos, modos de fallas identificados, documentación y experiencia y desviaciones identificadas, encontrándose lo siguiente:

- Sobre los Enfoques históricos: Siempre se ha realizado el mantenimiento preventivo teniendo en cuenta la cantidad de Horas Hombre Propia disponibles, la disponibilidad de equipos por parte de operaciones y la cantidad de equipos (motores). Cuando Operaciones no entrega un motor a mantenimiento, se genera un Bag Log, lo cual incrementa lo cual incrementa el riesgo de falla del equipo.
- Modos de falla identificados: No entrega de equipos, demora en la habilitación de la documentación exigida (AR, instructivos, permisos de trabajo, etc.,).
- Documentación y experiencia: En el sistema SAP podemos encontrar la información del mantenimiento que se les realiza a los motores. Tengo la experiencia como ejecutor de todas las tareas de mantenimiento.
- Desviaciones identificadas: Se genera Bag Log, se arriesgan los motores y la operación, aumenta el costo de la hora hombre, porque se generan sobretiempos, se pueden producir afectaciones económicas, a la persona y al medio ambiente.

Lo anterior debe mejorar la parte operativa en cuanto a:

- Calidad de las hojas de ruta, porque se optimizan los tiempos y se da prioridad a las tareas de alto valor
- Balance de recursos. Esta Estrategia propuesta nos ayuda a darle confiabilidad y estabilidad al manejo del recurso humano y económico en la Refinería.
- Optimización de costos: La disminución del costo del mantenimiento nos permite realizar otras actividades de mantenimiento a equipos sin aumentar el presupuesto.
- Enfoque en recurso propio: El recurso Propio se tiene que apropiarse de las actividades con sentido de pertenencia y profesionalismo con el fin de mantener en excelente estado sus motores, mostrar que somos la mejor opción en la realización de estos trabajos.

- Actividades CORE: Son actividades que están amarradas por su complejidad al nivel de refinería que tenemos y que pueden ocasionar una caída o apagón de plantas o toda la Refinería.

Se realizó una evaluación de tareas costo efectiva, revisión de estrategias vigentes vs tasa de falla y revisión de frecuencias de tareas de bajo impacto. La nueva estrategia deberá tener una modificación en el sistema SAP para:

- Eliminar tareas
- Ampliar las frecuencias necesarias
- Sincronización de tareas.
- Incorporar las nuevas tareas.

Se plantea:

- Realizar el mantenimiento del motor y sus componentes (relés de protecciones) en la hoja de ruta que corresponda el mantenimiento preventivo del motor, ya que en la estrategia actual se hacen por separados, lo cual resulta costoso y se debe pedir el equipo a operaciones en oportunidades diferentes, lo cual nos lleva a que queden equipos en Bag Log por la no entrega oportuna.
- Sacar de acción las rutinas de mantenimiento a los relés de protecciones porque además esta se viene dando o programando por grupos de equipos (MCC) y en esta nueva estrategia se plantea realizar esas actividades en conjunto con el motor y con una frecuencia de 1 año para la prueba funciona del relé y de 4 años para la inyección de corriente al mismo, basados en la IEEE Special Publication No. 96TP115N0, "Relay Performance Testing", Power System relaying Committee, Report of Working Group I13.
- Retirar tareas de bajo impacto de las hojas de ruta e incorporar las tareas de protecciones.

A continuación, se muestran los cálculos de horas hombre por hojas de ruta, de la estrategia actual y la optimizada, con los diferentes ejecutores de la hoja de ruta.

Para determinar las horas hombre, se tienen en cuenta lo siguiente:

- 7 horas laborales diarias
- Se descuentan los días de vacaciones

- Se descuentan los días festivos
- Se descuentan la semana santa
- Se descuentan los días de permisos convencionales.

Al descontar todos esos días, nos arroja los siguientes resultados que se evidencian la tabla 2-12.

Tabla 2-12 Horas hombre disponibles especialidad eléctrica

HH DISPONIBLES ESPECIALIDAD ELECTRICA GRC			
Semanas	HH*Año	<u>Técnicos Electricos</u> Propio	Total
43	1.290	35	45.150

Fuente: Ecopetrol

Tabla 2-13 Análisis y Resultados de las Hojas de Ruta con sus respectivas horas hombre actuales y propuestas

TipoHR	GrpHRuta	CGH	Txt.br.v.HRuta	HH ACTUAL	HH Prop	HH. Aliado	HH Propuesta	HH Prop.	ELECTRI CO	Andamios x 6 m	ANDAMIOS X AÑO	PROTECCIO NES X AÑO	PROPIO X 6 MESES	PROPIO x AÑO	ALIADO ELECT X 6 m	Aliado por un año
A	PMEMEL01	1	INSP/MEDICION AISLAMIENTO BT CRITICOS	848,4	545,4	303	747,4	545,4	202							
A	PMEMEL01	2	INSP/MEDICION AISLAMIENTO BT NO CRITICOS	11298	7263	4035	9953	7269	2690							
A	PMEMEL01	3	INSP/MEDICION AISLA/TO BT CRITICOS ANDAM	282,8	37,8	21	268,8	37,8	14	224						
A	PMEMEL02	1	INSP/MEDICION AISLAMIENTO MT CRITICOS	136,4	81,4	55	143	88	55							
A	PMEMEL02	2	INSP/MEDICION AISLAMIENTO MT NO CRITICOS ANDAM	444	74	50	450	80	50	320						
A	PMEMEL02	3	INSPECCION/MEDICION AISLAMIENTO	1612	962	650	1690	1040	650							
A	PMEMEL03	1	MONITOREO VARIABLES ELÉCTRICAS - PDMA	1495,2	961,2	534	1317,2	961,2	356							
A	PMEMEL03	2	RUTINA DE CONSERVACION	2049	1317	732	1805	1317,2	488							
A	PMEMEL04	1	INSPECCIÓN Y PRUEBAS MOTORES SÍNCRONOS	114	114	0	103,2	103,2	0							
A	PMEMEL06	1	RUTINA DE PRESERVACION MOTOR ELE	144,4	144,4	0	144,4	144,4	0							
A	PMEMEL07	1	RUTINA DE PRESERVACION MOTOR ELE	561,6	312	249,6	561,6	312	149,4							
			Total Horas Hombre>	18985,8	11812,2	6629,6	17183,6	11898	4654,4	544	1088	9008,8	11900	23800	4661,4	9322,
			HORAS HOMBRE PROTECCIONES POR AÑO	9008,8												
			TOTAL HH RECURSO PROPIO X año	23635,6												
			TOTAL HH ALIADO ELECTRICO X año	13258,8												
			TOTAL HH ANDAMIOS X Año	1088												
			TOTAL HH. MANTENIMIENTO ACTUAL	46991,2												
			HORAS HOMBRE PROPIA PROTECCIONES AÑO>	9008,8												
			HORAS HOMBRE PROPIA PREVENTIVO ACTUAL	23800												
			TOTAL HORAS HOMBRE PROPIA ACTUAL MTTO	32808,8												
			HORAS HOMBRE ANDAMIOS OPTIMIZADA AÑO	1088												
			HORAS HOMBRE OPTIMIZADA PROPIA AÑO	23800												
			HORAS HOMBRE OPTIMIZADA ALIADO ELECTRICO AÑO	9322,8												
			TOTAL HH OPTIMIZACION PROPIA + ALIADO AÑO.	34210,8												
			XCEDENTES HORAS HOMBRE PROPIA	9008,8												
			COSTO EXCEDENTE HORAS HOMBRE PROPIA	\$ 441.431.200,00												
			EXCEDENTES HORAS ALIADO ELECTRICO	3936												
			COSTO EXCEDENTE ALIADO ELECTRICO	\$ 192.864.000,00												

Fuente: Elaboración propia del autor

Continuación Tabla 2-14 Análisis y Resultados de las Hojas de Ruta con sus respectivas horas hombre actuales y propuestas

HORAS HOMBRE PROTECCIONES POR AÑO	9008,8
TOTAL HH RECURSO PROPIO X año	23635,6
TOTAL HH ALIADO ELECTRICO X año	13258,8
TOTAL HH ANDAMIOS X Año	1088
TOTAL HH. MANTENIMIENTO ACTUAL	46991,2
HORAS HOMBRE PROPIA PROTECCIONES AÑO>	9008,8
HORAS HOMBRE PROPIA PREVENTIVO ACTUAL	23800
TOTAL HORAS HOMBRE PROPIA ACTUAL MTTO	32808,8
HORAS HOMBRE ANDAMIOS OPTIMIZADA AÑO	1088
HORAS HOMBRE OPTIMIZADA PROPIA AÑO	23800
HORAS HOMBRE OPTIMIZADA ALIADO ELECTRICO AÑO	9322,8
TOTAL HH OPTIMIZACION PROPIA + ALIADO AÑO.	34210,8
XCEDENTES HORAS HOMBRE PROPIA	9008,8
COSTO EXCEDENTE HORAS HOMBRE PROPIA	\$ 441.431.200,00
EXCEDENTES HORAS ALIADO ELECTRICO	3936
COSTO EXCEDENTE ALIADO ELECTRICO	\$ 192.864.000,00
EXCEDENTE H.H. PROPIO Y ALIADO ELECCTRICO	12944,8
DIFERENCIA HH ACTUAL- HH OPTIMIZADA	12780,4
Costo Horas Hombre Promedio =	\$ 49.000,00
COSTO EXCEDENTES HORS HOMBRE OPTIMIZADA	\$ 626.239.600,00
COSTO TOTAL HH. MTTO ACTUAL	\$ 2.302.568.800,00
COSTO TOTAL HORAS HOMBRE OPTIMIZADA	\$ 1.676.329.200,00
DIFERENCIA ACTUAL - OPTIMIZADA	\$ 626.239.600,00
COSTO HORAS HOMBRE PROPIA ACTUAL	\$ 1.607.631.200,00
COSTO HORAS HOMBRE ALIADO ELECTRICO ACTUAL	\$ 649.681.200,00
COSTO HORAS HOMBRE ALIADO ANDAMIOS>	\$ 53.312.000,00

COSTO HORAS HOMBRE PROPIA OPTIMIZADA PROPIA	\$ 1.166.200.000,00
COSTO HORAS HOMBRE ALIADO ELECTRICO OPTIMIZAD	\$ 456.817.200,00
COSTO HORAS HOMBRE ANDAMIOS OPTIMIZADO	\$ 53.312.000,00
COSTO HORAS HOMBRE PROTECCIONES ACTUAL	\$ 441.431.200,00
COSTO HORAS HOMBRE PROTECCIONES OPTIMIZADA	\$ 0

Fuente: elaboración propia del autor

Al optimizar la estrategia de mantenimiento podemos encontrar un excedente en los costos de mantenimiento comparando la estrategia actual con la optimización que se hace de la misma por un valor de \$626.239.600.00 y que corresponde a 12780.4 Horas Hombre que quedan disponible.

Teniendo en cuenta los excedentes arrojados con la optimización de la estrategia de Mantenimiento a los motores de media y baja tensión de la refinería de Cartagena, se propone:

- Hacer el mantenimiento a los motores de media y baja tensión con personal propio, por los excedentes en horas hombres y el costo ahorrado de acuerdo con la nueva optimización de la estrategia de Mantenimiento.
- Aprovechar las 3457.6 horas hombre adicionales que quedarían para realizar las capacitaciones programadas en el PID (Plan Individual de Desarrollo) para no afectar las actividades normales. Recuperar actividades CORE.

3. Conclusiones y recomendaciones

3.1 Conclusiones

El análisis de la estrategia actual del Mantenimiento de motores eléctricos de media y baja tensión de la Refinería, sin duda nos llevó a presentar un cambio o una nueva propuesta con la finalidad de optimizarlo operativamente, económicamente y protegiendo el medio ambiente; haciendo un mantenimiento conjunto de todo el sistema de los motores, evitando sacar de servicio 2 veces el mismo equipo. Actualmente se le hace mantenimiento por separado al motor y a las protecciones de ese motor, pero en diferentes fechas o programaciones.

Además, al unir en un solo momento el mantenimiento de los motores-protecciones también se está ahorrando a la empresa una suma bastante significativa de horas hombre, lo cual se traduce en un ahorro económico para la empresa porque haría todo el mantenimiento de los motores con personal propio y más aún en esta época en que los precios del petróleo han tenido una caída estrepitosa que le han influenciado negativamente sus Estados Financieros.

Se organiza de mejor manera la Estrategia de Mantenimiento, de tal manera que puede hacerse trazabilidad, oportunidades de mejoras y hacer las recomendaciones que se necesiten, basados en normas como la ISO55001, ISO 14224.

3.2 Recomendaciones

- El Supervisor debe agilizar la firma de los Análisis de Riesgo y firmar el permiso como Autoridad Eléctrica la semana anterior a la ejecución del mantenimiento, porque esa parte ya no la hará el ejecutor.

- Se debe enviar a operaciones, la programación anticipada de los equipos a intervenir para que ellos hagan los respectivos cambios y puedan entregar los motores para hacerles mantenimiento.
- Se debe garantizar que los operadores de planta o unidad firmen o autoricen el permiso de trabajo en la Subestación eléctrica respectiva.
- Se debe asegurar la entrega de los equipos por parte de operaciones.
- Garantizar los materiales o consumibles a utilizar en la ejecución del mantenimiento de los motores, disponibles en el taller eléctrico.
- El ejecutor debe al terminar de ejecutar el mantenimiento, documentar las actividades realizadas en el sistema SAP al final de la jornada.

ANEXOS

A. Anexo: Rutas de trabajo originales vs. Rutas de trabajo optimizadas

Este anexo contiene las rutas de trabajo originales desarrolladas para el mantenimiento de los motores, también presenta las rutas optimizadas que funcionan como base para el diseño de la propuesta ante la reducción de horas hombre y otros recursos para la empresa.

	A	PMEMEL01	C2	AISLAMIENTO NO CRITICOS							
HOJA DE RUTA ORIGINAL											
Op.	Psto Tbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operac	Trab	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia	
10	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ANALISIS	0,5	H	1	0,5	H	6 MESES	
20	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES	0,6		2	0,3		6 MESES	
30	RPRCEGEN	RCSA	PM02	INSPECCION Y LIMPIEZA	3	H	2	1,5	H	6 MESES	
40	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICION AISLAMIENTO	1	H	2	0,5	H	6 MESES	
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MONITOREO VARIACIONES	1	H	2	0,5	H	6 MESES	
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES	
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y/O CALIBRACION	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES	
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ORDEN Y MANTENIMIENTO	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES	
90	RPRPEGEN	RCSA	PM01	DOCUMENTAR ORDEN Y MANTENIMIENTO	0,5	H	1	0,5	H	6 MESES	
				TOTAL HORAS HOM	8,4						

PMEMEL01 C2										
HOJA DE RUTA OPTIMIZADA										
Op.	Psto Tbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	Trabajo	Un.	N	Dur.	Un.	Frecuencia
10	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	1 año
20	RPRCEGEN	RCSA	PM02	INSPECCIÓN Y LIMPIEZA	3	H	2	1,5	H	1 año
30	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO PULSADORES	1	H	2	0,5	H	1 año
40	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MONITOREO VARIABLES ELÉC PDMA/MEGGER	1	H	2	0,5	H	1 año
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	PRUEBA FUNCIONAL DEL RELÉ	0,6	H	2	0,3	H	1 año
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INYECCIÓN AL RELÉ	1	H	2	0,5	H	4 años
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	1 año
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y/O CAMBIO BOMBILLO CASILLA	0,6	H	2	0,3	H	1 año
TOTAL HORA HOMBRE					8,4					

A PMEMEL01 C4 AISLAMIENTO BT NO CRITICOS CON ANDAMIOS										
HOJA DE RUTA ORIGINAL										
Op.	Psto Tbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	Trabaj	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia
10	RAMCMGEN	RCSA	PM02	ARMAR-CERTIFICAR ANDAMIOS	16	H	4	4	H	6 MESES
20	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ANALISIS DE RIESGOS	0,5	H	2	1	H	6 MESES
30	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES	0,6		2	0,3		6 MESES
40	RPRCEGEN	RCSA	PM02	INSPECCION Y LIMPIEZA	3	H	2	1,5	H	6 MESES
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICION AISLAMIENTO PULSADOR	1	H	2	0,5	H	6 MESES
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MONITOREO VARIABLES ELECT. PDMA	1	H	2	0,5	H	6 MESES
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y/O CAMBIO BOMBILLO	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
90	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ORDEN Y ASEO	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
100	RPRPEGEN	RCSA	PM01	DOCUMENTAR ORDEN DE TRABAJO	0,5	H	1	0,5	H	6 MESES
110	RAMCMGEN	RCSA	PM02	DESARMAR-CERTIFICAR ANDAMIOS	16	H	4	4	H	6 MESES
TOTAL HORAS HOMBRE>					40,4					

PMEMEL01 C4										
HOJA DE RUTA OPTIMIZADA										
Op.	Psto Tbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	Trabajo	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia
10	RANCMGEN	RCSA	PM02	ARMAR /CERTIFICAR ANDAMIO	16	H	4	4	H	1 año
20	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	1 año
30	RPRCEGEN	RCSA	PM02	INSPECCIÓN Y LIMPIEZA	3	H	2	1,5	H	1 año
40	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO PULSADORES	1	H	2	0,5	H	1 año
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MONITOREO VARIABLES ELÉC PDMA/MEGGER	1	H	2	0,5	H	1 año
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	PRUEBA FUNCIONAL DEL RELÉ	0,6	H	2	0,3	H	1 año
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INYECCIÓN AL RELÉ	1	H	2	0,5	H	4 años
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	1 año
90	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y/O CAMBIO BOMBILLO CASILLA	0,6	H	2	0,3	H	1 año
100	RANCMGEN	RCSA	PM02	DESARMAR /CERTIFICAR ANDAMIO	16	H	4	4	H	1 año
TOTAL HORA HOMBRE					40,4					

	A	PMEMEL02	C3	AISLAMIENTO MEDIA TENSION NO CRITICOS						
				HOJA DE RUTA ORIGINAL						
Op.	Psto Tbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	Trabaj	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia
10	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ANALISIS DE RIESGOS	0,5	H	2	0,5	H	6 MESES
20	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
30	RPRCEGEN	RCSA	PM02	INSPECCION DE MOTOR DE MEDIA TEN	1	H	2	0,5	H	6 MESES
40	RPRPEGEN	RCSA	PM02	LIMPIEZA DE MOTOR DE MEDIA TENSION	4	H	2	2	H	6 MESES
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICION DE AISLAMIENTO PULSADO	1	H	2	0,5	H	6 MESES
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MONITOREO VARIABLES ELECT. PDMA	1	H	2	0,5	H	6 MESES
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	PRUEBAS MECÁNICAS A SECCIONADO	2	H	2	1	H	6 MESES
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
90	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y/O CAMBIO BOMBILLO	0,6	H	1	0,3	H	6 MESES
100	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ORDEN Y ASEO	0,6	H	1	0,3	H	6 MESES
110	RPRPEGEN	RCSA	PM01	DOCUMENTAR ORDEN DE TRABAJO	0,5	H	1	1	H	6 MESES
				TOTAL HORAS HOMBRE>	12,4					

PMEMEL02 C3										
HOJA DE RUTA OPTIMIZADA										
Op.	Psto Tbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	Trabajo	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia
10	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	1 año
20	RPRCEGEN	RCSA	PM02	INSPECCIÓN DE MOTOR DE MEDIA TENSION	1	H	2	0,5	H	1 año
30	RPRCEGEN	RCSA	PM02	LIMPIEZA DE MOTOR DE MEDIA TENSION	4	H	2	2	H	1 año
40	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO PULSADORES	1	H	2	0,5	H	1 año
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MONITOREO VARIABLES ELÉC PDMA/MEGGER	1	H	2	0,5	H	1 año
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	PRUEBA FUNCIONAL DEL RELÉ	0,6	H	2	0,3	H	1 año
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INYECCIÓN AL RELÉ	1	H	2	0,5	H	4 años
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN CAJA DE EMPALMES	0,6	H	2	0,3	H	4 años
90	RPRPEGEN	RCSA	PM01	PRUEBAS MECÁNICAS A SECCIONADOR	2	H	2	1	H	1 año
100	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	1 año
110	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y/O CAMBIO BOMBILLO CASILLA	0,6	H	2	0,3	H	1 año
				TOTAL HORA HOMBRE	13					

A	PMEMEL02	C2	AISLAMIENTO MEDIA TENSION NO CRITICOS CON ANDAMIOS							
			HOJA DE RUTA ORIGINAL							
Op.	Psto Tbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	Trabaj	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia
10	RAMCMGEN	RCSA	PM02	ARMAR-CERTIFICAR ANDAMIOS	16	H	4	4	H	6 MESES
10	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ANALISIS DE RIESGOS	0,5	H	2	0,5	H	6 MESES
20	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
30	RPRCEGEN	RCSA	PM02	INSPECCION DE MOTOR DE MEDIA TEN	1	H	2	0,5	H	6 MESES
40	RPRPEGEN	RCSA	PM02	LIMPIEZA DE MOTOR DE MEDIA TENSION	4	H	2	2	H	6 MESES
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICION DE AISLAMIENTO PULSADO	1	H	2	0,5	H	6 MESES
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MONITOREO VARIABLES ELECT. PDMA	1	H	2	0,5	H	6 MESES
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	PRUEBAS MECÁNICAS A SECCIONADO	2	H	2	1	H	6 MESES
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 MESES
90	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y/O CAMBIO BOMBILLO	0,6	H	1	0,3	H	6 MESES
100	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ORDEN Y ASEO	0,6	H	1	0,3	H	6 MESES
110	RPRPEGEN	RCSA	PM01	DOCUMENTAR ORDEN DE TRABAJO	0,5	H	1	1	H	6 MESES
110	RAMCMGEN	RCSA	PM02	DESARMAR-CERTIFICAR ANDAMIOS	16	H	4	4	H	6 MESES
				TOTAL HORAS HOMBRE>	44,4					

PMEMEL02 C2										
HOJA DE RUTA OPTIMIZADA										
Op.	Psto Tbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	Trabajo	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia
10	RANCMGEN	RCSA	PM02	ARMAR /CERTIFICAR ANDAMIO	16	H	4	4	H	6 meses
20	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 meses
30	RPRCEGEN	RCSA	PM02	INSPECCIÓN DE MOTOR DE MEDIA TENSION	1	H	2	0,5	H	6 meses
40	RPRCEGEN	RCSA	PM02	LIMPIEZA DE MOTOR DE MEDIA TENSION	4	H	2	2	H	6 meses
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO PULSADORES	1	H	2	0,5	H	6 meses
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MONITOREO VARIABLES ELÉC PDMA/MEGGER	1	H	2	0,5	H	6 meses
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	PRUEBA FUNCIONAL DEL RELÉ	0,6	H	2	0,3	H	1 año
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INYECCIÓN AL RELÉ	1	H	2	0,5	H	4 años
90	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN CAJA DE EMPALMES	0,6	H	2	0,3	H	4 años
100	RPRPEGEN	RCSA	PM01	PRUEBAS MECÁNICAS A SECCIONADOR	2	H	2	1	H	6 meses
110	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 meses
120	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y/O CAMBIO BOMBILLO CASILLA	0,6	H	2	0,3	H	6 meses
130	RANCMGEN	RCSA	PM02	DESARMAR /CERTIFICAR ANDAMIO	16	H	4	4	H	6 meses
TOTAL HORA HOMBRE					45					

PME05 C1 SINCRONOS											
HOJA DE RUTA ORIGINAL											
Op.	Psto Tbj	Ce.	Ctrl	Descripción operación	Trabaj	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia	
10	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ANALISIS DE RIESGO	0,5	H	1	0,5	H	6 meses	
20	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES INTERRUPTOR	0,6	H	2	0,3	H	6 meses	
30	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES SISTEMA EXITACION	0,6	H	2	0,3	H	6 meses	
40	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN VISUAL DEL MOTOR SINCRONO MT	1	H	2	0,5	H	6 meses	
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y MTTO SISTEMA DE EXITACION	4	H	2	2	H	6 meses	
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	LIMPIEZA DE MOTOR SINCRONO MT	4	H	2	2	H	6 meses	
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	LIMPIEZA FILTROS DEL MOTOR MT	2	H	2	1	H	6 meses	
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO PULSADORES	1	H	2	0,5	H	6 meses	
90	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO MOTOR	1	H	2	0,5	H	6 meses	
100	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MANTENIMIENTO DEL CIRCUITO DE CONTROL	2	H	2	1	H	6 meses	
110	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 meses	
120	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	6 meses	
130	RPRPEGEN	RCSA	PM01	REALIZAR ORDEN Y ASEO	0,6	H	2	0,3	H	6 meses	
130	RPRPEGEN	RCSA	PM01	DOCUMENTAR ORDEN DE TRABAJO	0,5	H	1	0,5	H	6 meses	
				TOTAL HORA HOMBRE	19						

PME05 C1											
HOJA DE RUTA OPTIMIZADA											
Op.	Psto Tbj	Ce.	Ctrl	Descripción operación	Trabajo	Un.	No.	Dur.	Un.	Frecuencia	
10	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES INTERRUPTOR	0,6	H	2	0,3	H	2 años	
20	RPRPEGEN	RCSA	PM01	APLICAR SAES SISTEMA EXITACION	0,6	H	2	0,3	H	2 años	
30	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN VISUAL DEL MOTOR SINCRONO MT	1	H	2	0,5	H	2 años	
40	RPRPEGEN	RCSA	PM01	INSPECCIÓN Y MTTO SISTEMA DE EXITACION	4	H	2	2	H	2 años	
50	RPRPEGEN	RCSA	PM01	LIMPIEZA DE MOTOR SINCRONO MT	4	H	2	2	H	2 años	
60	RPRPEGEN	RCSA	PM01	LIMPIEZA FILTROS DEL MOTOR MT	2	H	2	1	H	2 años	
70	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO PULSADORES	1	H	2	0,5	H	2 años	
80	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MONITOREO VARIABLES ELÉCTRICAS - PDMA	1	H	2	0,5	H	2 años	
90	RPRPEGEN	RCSA	PM01	MANTENIMIENTO DEL CIRCUITO DE CONTROL	2	H	2	1	H	2 años	
100	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	2 años	
110	RPRPEGEN	RCSA	PM01	RETIRAR SAES	0,6	H	2	0,3	H	2 años	
				TOTAL HORA HOMBRE	17,4						

B. Anexo: Consecuencias de Matriz RAM

Tabla 0-1 Matriz RAM Datos a Personas

No.	DESCRIPCION
0	Ninguna lesión.
1	Lesión leve primeros auxilios: Atención en lugar de trabajo y no afecta el rendimiento laboral ni causa incapacidad.
2	Lesión menor sin incapacidad (incluyendo casos de primeros auxilios y de tratamiento médico y enfermedades ocupacionales): No afectan el rendimiento laboral ni causan incapacidad.
3	Incapacidad temporal > día (lesiones que producen tiempo perdido): Afectan el rendimiento laboral, como la limitación a ciertas actividades o requiere unos días para recuperarse completamente (casos con tiempo perdido): Efectos menores en la salud que son reversibles, por ejemplo: irritación en la piel, intoxicación por alimentos.
4	Incapacidad permanente (incluyendo incapacidad parcial y permanente y enfermedades ocupacionales): Afectan el desempeño laboral por largo tiempo, como una ausencia prolongada al trabajo. Daños irreversibles en la salud con inhabilitación seria sin pérdida de vida; por ejemplo: hipoacusia provocada por ruidos, lesiones lumbares crónicas, daño repetido por realizar esfuerzos, síndrome y sensibilización.
5	1 o más muertes: Por accidente o enfermedad profesional.

Fuente: **ECOPETROL S.A.**

Tabla 0-2 Matriz RAM Consecuencias Económicas

No.	DESCRIPCION
0	Ninguna.
1	Marginal (menos de 10 mil dólares – daños leves): No hay interrupción de la actividad (producción, mantenimiento, puesta en marcha, etc.).
2	Importante (de 10 mil a 100 mil dólares – daños menores): Interrupción breve de la actividad (degradaciones, recirculación, reproceso).
3	Severo (de 100 mil a 1 millón de dólares – daños locales): Pérdidas económicas por parada temporal, lucro cesante o responsabilidad civil.
4	Grave (de 1 millón a 10 millones de dólares – daños mayores): Perdida parcial en las operaciones o de la planta desde uno hasta 10 millones de dólares.
5	Catastrófica (más de 10 millones de dólares – daños generalizados): Perdida total o sustancial en la producción , en la infraestructura, etc.

Fuente: ECOPETROL S.A

Tabla 0-3 Matriz RAM Efectos del Medio Ambiente.

No.	DESCRIPCION
0	Sin efectos: Sin afectación ambiental. Sin modificaciones en el medio ambiente.
1	Efectos Leves: Emisiones o descargas con afectación ambiental leve y temporal, y dentro de las instalaciones. Acciones de remediación en el inmediato plazo. No existe contaminación.
2	Efectos menores: Emisiones o descargas menores, con afectación al medio ambiente dentro de las instalaciones, sin efectos duraderos, o que requieren medidas de recuperación en el corto plazo, o una única violación a los límites legales o actos administrativos o una única queja registrada (call center o escrita) ante organismos gubernamentales. No existe contaminación.
3	Contaminaciones localizadas: Emisiones o descargas limitadas con contaminación ambiental localizada en predios vecinos y/o el entorno, o que requiere medidas de recuperación en el mediano plazo, o repetidas violaciones de los límites legales o actos administrativos o varias quejas registradas (call center o escrita) ante organismos gubernamentales.
4	Contaminaciones mayores: Emisiones o descargas que causan que causan contaminación ambiental dispersa o grave o que requiere medidas de recuperación en el largo plazo, o violaciones prolongadas a los límites legales o actos administrativos, o molestia generalizada de la comunidad, registrada (call center o escrita) ante organismos gubernamentales.
5	Contaminaciones irreparables: Emisiones o descargas que causan un daño ambiental irreparable en un área extensa o en áreas de uso recreativo o de preservación de la naturaleza; o constante violación de los límites legales o actos administrativos. Requiere medidas de compensación por daños irreparables.

Fuente: ECOPETROL S.A

Tabla 0-4 Matriz RAM Atención al Cliente

No.	DESCRIPCION
0	Ningún impacto a los clientes
1	Riesgo de incumplir cualquiera de las especificaciones acordadas con el cliente: Circunstancias planeadas o no planeadas, que afectan procesos o productos que pueden impactar los compromisos establecidos con los clientes, pero con posibilidades de solución antes de que el cliente perciba el potencial incumplimiento.
2	Implica quejas y reclamos: Cuando efectivamente situaciones planeadas o no planeadas impactan procesos o productos comprometidos con los clientes, que generan quejas y/o reclamos en cualquier cantidad, cuyo trámite de solución está definido dentro del compromiso y/o contrato con los clientes.
3	Pérdida de clientes y/o desabastecimiento: Decisiones y/o circunstancias que implican afectación a procesos y/o productos comprometidos con los clientes, que puedan afectar la relación comercial y/o el índice de lealtad, al punto de llevar al cliente a que tome la decisión de no volver a comprarle a ECOPETROL, o que efectivamente no se pueda asegurar el suministro confiable para algún mercado objetivo de la sociedad.
4	Perdida de participación en el mercado (para mercado internacional perdida en la participación en el presupuesto del cliente destinado a la compra de productos ofertados por ECOPETROL):
	Decisiones y/o circunstancias de cualquier índole, de una magnitud tal, que implique pérdida efectiva de participación en el mercado para productos de comercialización nacional, y en el mercado internacional la pérdida de participación en el presupuesto de compra del cliente.
5	Veto a ECOPETROL como proveedor: Decisiones y/o circunstancias de impacto comercial a gran escala, que impliquen el bloqueo por parte de segmentos de clientes que a su vez conforman mercados objetivo, a los productos y servicios comercializados por ECOPETROL.

Fuente: Ecopetrol S.A

Bibliografía

- Carrasco, F. J. (2014). *La gestión del conocimiento en la ingeniería de mantenimiento industrial (Vol. 1)*. OmniaScience.
- García, S. (2012). *Ingeniería de mantenimiento*. Renovetec.
- Garrido, S. G. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Ediciones Diaz de santos.
- Molina, J. (2006). Mantenimiento y seguridad industrial. *IMU: Ingeniería municipal*, 214, 20-23.
- Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento-Planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)*. Asheville, North Carolina USA: Aladon LLC.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)*. Asheville, North Carolina USA: Aladon LLC.
- Olarte, W., Botero, M., & Cañón, B. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *Scientia et technica*, 2(45), 223-226.
- Rodríguez, A. (2012). *Manual de gestión de mantenimiento (Doctoral dissertation)*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas).