

Propuesta para el Diseño de un plan de Mantenimiento basado en la Metodología

RCM

caso de estudio: Motor Diésel del grupo electrógeno GE-143 campo de Producción

Rubiales, Puerto Gaitán, Meta.

Wigner Efrain Castillo Santander y Gabriel Eduardo Villar Arregocés

Dirección de posgrados, Universidad ECCI

Especialización en Gerencia de mantenimiento

Fred Geovanny Murillo Rondón

Bogotá, noviembre de 2022

Dedicatoria

Primero que todo quiero darle las gracias a Dios por acompañarme siempre en este camino, a mis padres (Gabriel Villar y Mayerling Arregoces) los cuales han sido mi fortaleza para culminar este posgrado de la mejor manera. A mi hermana (Arinda villar) y a mi novia por el apoyo indispensable, por siempre darme ánimos en momentos que quería desistir. A los compañeros y docentes de la Universidad ECCI por ayudarme en esta etapa de mi crecimiento profesional.

Gabriel Villar Arregoces

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos primeramente a Dios que nos da la vida y la sabiduría para hacer las cosas, a nuestros familiares y amigos, a cada una de las personas que puso su grano de arena desinteresadamente con aportes, observaciones y correcciones con el objetivo de lograr excelente proyecto de grado.

A los todos los profesores de la especialización en gerencia de mantenimiento por permitir compartir su conocimiento ilustrando sus experiencias profesionales, en especial a nuestro asesor Miguel Angel Urián Tinoco. A la universidad por permitirnos ingresar y brindarnos la oportunidad para crecer profesionalmente aportando investigación para el progreso del país y por último dar las gracias a todos nuestros compañeros de la especialización por su aporte.

Introducción

La metodología RCM permite determinar las tareas de mantenimiento adecuadas para el activo físico por eso se aplica con gran éxito en diversas industrias a nivel mundial, para este caso se empleara para analizar el mantenimiento de un activo en la organización, en este caso en el Motor Diesel Perkins del grupo electrógeno campo de Producción de Rubiales, Puerto Gaitán en cuanto a su mantenimiento y analizar de qué forma se puede mejorar, para ello se realizará diferentes actividades con el fin de adquirir un conocimiento del funcionamiento y plantear una mejora de mantenimiento a partir del RCM.

Con este trabajo de grado se pretende obtener una estrategia de mantenimiento para el activo en estudio, mediante la aplicación de la metodología RCM, que aumente la confiabilidad y disponibilidad del mismo, implementando actividades tanto preventivas como predictivas, que permitan disminuir las fallas y tiempos de paradas imprevistas del activo.

Por lo anterior se plantean una serie de objetivos específicos que nos permitirán mejorar el plan de mantenimiento de activo a partir del RCM, cumplir los fines misionales y visionales de la organización.

1 Tabla de contenido

2	Título de la Investigación	9
3	Problema de investigación	10
3.1	Descripción del problema	10
3.2	Planteamiento del problema.....	11
3.3	Sistematización del problema	11
4	Objetivos de la investigación	12
4.1	Objetivo general	12
4.2	Objetivos específicos.....	12
5	Justificación y delimitación	13
5.1	Justificación	13
5.2	Delimitación.....	14
5.3	Limitaciones.....	14
6	Marco referencial	15
6.1	Estado del arte.....	15
	Estado del arte internacional	15
	Estado del arte nacional	21
6.2	Marco teórico	25
	Historia de los Motores Diesel	25

■	Clasificación de los Motores Diesel	26
■	Principales aplicaciones de los motores diésel.....	28
■	Principio de funcionamiento motor Diesel	28
■	Mantenimiento.....	29
■	Tipos de Mantenimiento	30
■	RCM	30
6.3	Marco Normativo y Legal.....	34
■	Norma SAE JA1011 –1012 Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).	34
7	Marco Metodológico	37
7.1	Recolección de la información.....	37
■	Tipo de investigación.....	37
■	Fuentes de obtención de la Información	38
■	Herramientas para la investigación.....	38
•	Norma SAE JA1011 – 1012 Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).	39
■	Metodología de la investigación.....	39
■	Información recopilada	40
7.2	Análisis de la Información.....	48
7.3	Propuesta de solución	56

8	Impactos alcanzados y esperados	80
8.1	Impactos alcanzados.....	80
8.2	Impactos esperados.....	80
9	Análisis financiero.....	81
9.1	Costo de implementación /Inversión.....	81
9.2	Utilidad esperada.....	84
9.3	Retorno de la inversión.....	Error! Bookmark not defined.
10	Conclusiones y recomendaciones	85
10.1	Conclusiones.....	85
10.2	Recomendaciones	85
11	Bibliografía.....	87

Tabla de figuras

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

Tabla de tablas

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

Resumen

A continuación, el documento presenta una propuesta para el diseño de un plan De mantenimiento RCM en el motor diésel del grupo electrógeno campo de Producción de Rubiales, Puerto Gaitán. A partir de una estrategia metodológica de mantenimiento que aumente la disponibilidad, la confiabilidad y disminuya los costos de mantenimiento por medio del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Para desarrollar el presente trabajo de investigación la empresa Especializada , comparte información histórica del activo, catálogos del fabricante, histórico de fallas y registros existente en la compañía, con el fin de establecer los parámetros para mejorar su disponibilidad, se realiza la valoración de criticidad del activo teniendo en cuenta los criterios establecidos en los procedimientos de la empresa. El trabajo propone hacer un plan de mantenimiento basado en RCM con el fin de garantizar un funcionamiento adecuado en el momento de su operación, a partir de estrategias de mantenimiento; con la finalidad de analizar todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrollar mecanismos que traten de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por agentes externos.

Palabras claves

RCM, Mantenimiento, Criticidad, Plan, Motor Diésel.

Abstract

Next, the document presents a proposal for the design of an RCM maintenance plan in the power generator of the Rubiales Production Field generator set, Puerto Gaitán. From a methodological maintenance strategy that increases availability, reliability and reduces maintenance costs through reliability-centered maintenance (RCM). To develop this research work, the specialized company, provides us with the historical information of the asset, manufacturer catalogs, failure history and existing records in the company, in order to establish the parameters to improve its availability, the valuation is carried out of criticality of the asset, taking into account the criteria established in the company's procedures. The work proposes to make a maintenance plan based on RCM in order to guarantee good operation at the time of its operation, based on maintenance strategies; In order to analyze all the possibilities of failure of a system and develop mechanisms that try to avoid them, whether caused by causes intrinsic to the equipment itself or by personal acts.

Keywords

RCM, Maintenance, Criticality, Design, Diesel Engine.

2 Título de la Investigación

Propuesta de diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para el motor diésel del grupo electrógeno GE-143 campo de Producción de Rubiales, Puerto Gaitán.

3 Problema de investigación

3.1 Descripción del problema

En la actualidad los activos de las empresas de mantenimiento tienen establecidas estrategias de mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. Sin embargo, desde el departamento de mantenimiento se ha concluido que no se han realizado análisis sobre la criticidad y la importancia que tienen los activos a cargo el departamento. Esto puede generar que en algún momento se dé lugar a la ocurrencia de fallas críticas y por consiguiente representen grandes pérdidas económicas por la gestión inadecuada en el mantenimiento.

En años pasados se presentaron interrupciones en el funcionamiento que habrían ocasionado reducción en las ganancias de capital de la compañía, pero gracias al soporte de equipos back up se ha mantenido la prestación del servicio. Adicionalmente, se menciona que, para los próximos años, la capacidad instalada de empresas aumentará y no dará abasto con la demanda requerida.

3.2 Planteamiento del problema

¿Qué elementos de la metodología RCM pueden potenciar los procesos de mantenimiento del motor diésel tomado como caso de estudio, se pueden mejorar la Confiabilidad y la disponibilidad del activo?

3.3 Sistematización del problema

- **¿Como describir el funcionamiento general y las partes constituidas del Motor Diesel del grupo electrógeno campo de Producción de Rubiales?.**
- **¿De qué manera se puede identificar la ejecución del mantenimiento actual en el Motor Diésel del grupo electrógeno en el campo de Producción de Rubiales?.**
- **¿Qué acciones de deben ejecutar para realizar una propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología de RCM que soporte el funcionamiento del Motor Diésel del grupo electrógeno?.**

4 Objetivos de la investigación

4.1 Objetivo general

Proponer el diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para garantizar el correcto funcionamiento y disponibilidad para el Motor Diesel del grupo electrógeno campo de Producción de Rubiales, Puerto Gaitán.

4.2 Objetivos específicos

- **Realizar la descripción general del Motor Diesel del grupo electrógeno campo de Producción de Rubiales, su funcionamiento y partes constituidas.**
- **Diagnosticar cómo se está ejecutando el mantenimiento actual en el Motor Diésel del grupo electrógeno por medio de datos históricos en el campo de Producción de Rubiales.**
- **Analizar los resultados y realizar propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad que soporte el funcionamiento del Motor Diésel del grupo electrógeno.**

5 Justificación y delimitación

5.1 Justificación

El impacto en procesos productivos de campo causado por la indisponibilidad, la confiabilidad inferior a la deseada en el Motor Diésel del grupo electrógeno campo de Producción de Rubiales, Puerto Gaitán, es el factor principal que impulsa la elaboración de una propuesta de diseño de un plan de mantenimiento adecuado basado en RCM que aumente la confiabilidad y disponibilidad del activo.

Con el fin de desarrollar estrategias de mantenimiento para los motores diésel, buscando mayor confiabilidad, menor consumo y menor contaminación se realiza la aplicación de técnicas como el RCM teniendo en cuenta contar con personal capacitado, con dominio de la materia, para poder contribuir a la solución de problemas relacionados con los sistemas mecánicos, relativos al funcionamiento de los múltiples componentes de los motores diésel.

De acuerdo al estudio realizado en campo rubiales se ha encontrado que los equipos de generación requieren de la aplicación de estrategias que brinden un soporte íntegro y completo en mantenimiento y sus respectivos repuestos el propósito del proyecto es el de brindar a la empresa una eficaz y rápida forma de evaluar los motores diésel incrementando la confiabilidad y facilitar la adquisición de repuestos con un precio mejorado y favorable.

Con esta investigación se pretende determinar de acuerdo al estudio RCM el plan de mantenimiento más adecuado para los motores Diésel, permitiendo así; obtener resultados óptimos y confiables en cada una de los análisis que se realizan y garantizando ampliamente la reducción de las paradas ocasionadas por fallas en las máquinas de esta compañía.

Este estudio se inicia tomando como base de investigación y soporte, las órdenes de trabajo y evidencias de mantenimiento correctivo realizado por la empresa a cada uno de los equipos de la compañía.

Esta propuesta se presentará al ingeniero encargado de la empresa de mantenimiento de campo, para evidenciar todos los conocimientos adquiridos en la Universidad, a un nivel de investigación y proyección, aplicándolos en el área laboral, generando así un plan de mejora y de calidad para los activos de la compañía.

5.2 Delimitación

Esta investigación se llevará a cabo en el Motor Diesel del grupo electrógeno campo de Producción de Rubiales, Puerto Gaitán en el departamento del meta. Referencia Motor diésel, marca Perkins modelo 2506.

5.3 Limitaciones

Se presenta una limitación de acceso a la información sobre el activo en estudio, ya que existen políticas de manejo de la información y se administran confidencialmente, lo cual no se dio autorización por parte de la organización para el uso de la información. Por tal motivo, la información que se publica dentro del trabajo corresponde a datos alterados teniendo en cuenta la confidencialidad requerida por la organización a la que pertenece el equipo.

6 Marco referencial

6.1 Estado del arte

6.1.1 Estado del arte Internacional

6.1.1.1 Manual de Mantenimiento Preventivo y correctivo del Motor Perkins Serie 1006 Modelo YD de Seis Cilindros Para Aplicaciones Agrícolas e Industriales.

En el año 2019, en la universidad internacional de ecuador, los ingenieros Peso Chalen y Luis Luciano en su tesis elaboraron un “Manual de Mantenimiento Preventivo y correctivo del Motor Perkins Serie 1006 Modelo YD de Seis Cilindros Para Aplicaciones Agrícolas e Industriales”, el manual desarrollado está diseñado de tal manera que es de mucha utilidad, fácil entendimiento y sencilla aplicación para preservar de forma correcta y apropiada el motor existente en cuanto a los mantenimientos del mismo. Al tener este manual como guía se facilitará el proceso de aplicación y seguimiento de los diferentes mantenimientos que se realizan en este tipo de motores estacionarios, siendo estos de forma diferente a un motor que se encuentra montado en un vehículo, por lo general en este tipo de motores se realizan mantenimientos programados por horas de trabajo o por tiempo de uso o degradación de materiales como el aceite y el refrigerante según especificaciones del fabricante (Peso Chalén, 2019). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para la preparación del manual de mantenimiento preventivo los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.1.2 Estudio del comportamiento del motor Diésel Perkins modelo C4.236V suministrando por la línea de alta presión mezclas de biodiésel de aceite usado fritura

En el año 2018, en la universidad nacional de ingeniería de lima Perú, los ingenieros Justo Callo y Edwin Jorge realizaron su tesis de maestría en el “Estudio del comportamiento del motor Diésel Perkins modelo C4.236V suministrando por la línea de alta presión mezclas de biodiésel de aceite usado fritura. En el cual esta propuesta consistía en que debido a la industrialización y al crecimiento del campo automotor la demanda sobre el combustible de origen fósil se incrementó enormemente. En los últimos años el biodiésel se ha convertido en un combustible alternativo gracias a su efecto favorable sobre los parámetros ecológicos del motor, como son las emisiones. El presente trabajo de investigación evalúa el efecto del biodiésel de aceite usado de fritura usando tres tipos de mezclas D100+RND (diésel puro y biodiésel de la válvula RND), DB5+RND (Diésel comercial y biodiésel de la válvula RND) y DB10 (Diésel puro con 10% de biodiésel) sobre las características de performance y emisiones. Los experimentos se realizaron empleando un motor Diésel Perkins Modelo C4.236V de cuatro cilindros, al cual se le incorporo las válvulas RND para cada cilindro en la línea de alta presión para formar las mezclas D100+RND y DB5+RND durante el funcionamiento del motor Diésel Perkins. Las mezclas DB10 se preparó adicionando biodiésel de aceite de fritura al 10% en volumen al combustible Diésel puro. Los resultados experimentales muestran que el empleo del biodiésel de aceite usado de fritura suministrado mediante la válvula RND, muestra su eficacia al disminuir la opacidad y la toxicidad de los gases de efecto contaminante del motor a partir de regímenes mayores a 1800 rpm a plena carga del motor, mejorando así los indicadores ecológicos de los motores Diésel. (Justo Callo, 2018).

La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para analizar el comportamiento del Motor Diésel Perkins los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.1.3 Estudio de emisiones de gases de un motor diésel utilizando el combustible ecuatoriano y el colombiano en un dinamómetro.

En el año 2017, en la Universidad UTE de Ecuador, los ingenieros Beltrán Manjarrez, Javier alexander, realizaron un “Estudio de emisiones de gases de un motor diésel utilizando el combustible ecuatoriano y el colombiano en un dinamómetro” el cual se basó en un análisis de la capacidad de un motor diésel con combustible ecuatoriano y combustible colombiano, donde utilizaron equipos de medición como el opacímetro y el dinamómetro, este último se utilizó como equipo adicional ya que en el presente estudio también se determinó la opacidad cuando el vehículo alcanzó su torque y potencia máxima, la selección del vehículo se determinó por varios temas de tesis en proceso de desarrollo, una vez que se adquirieron los combustibles colombiano y ecuatoriano se determinó sus propiedades generales de cada país, esto se investigó para realizar varias tesis con estos combustibles. La investigación se la realizó bajo las normas INEN 202, 207 y 960, las cuales son de procedimiento para medición por el método de aceleración libre, capacidades máxima fuentes móviles, y procedimiento para medición de potencia y torque, consumo, etc. de motores a diésel en el dinamómetro respectivamente.

Una vez realizados los análisis se determinó que el combustible diésel colombiano obtuvo una mayor potencia con 78,58 HP y una opacidad de 39,40% y un torque de 192,28 Nm con una opacidad de 36,67% obteniendo un mejor rendimiento del combustible colombiano en comparación con el combustible diésel ecuatoriano, en el caso del método de aceleración libre se obtuvieron resultados similares, el diésel colombiano obtuvo 35,52% de opacidad mientras que el ecuatoriano obtuvo 40,07%, siendo el combustible colombiano menos contaminante que el

combustible ecuatoriano. Se determinó que la opacidad de los 2 tipos de combustibles se encuentra por debajo del límite máximo. (Beltrán Manjarrés, 2017). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para el estudio de emisiones de gases de un motor diésel los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.1.4 Aplicación de la metodología R.C.M. a un motor diésel para la selección del plan de mantenimiento.

El ingeniero Daniel Barrera en el año 2009, realizó la “Aplicación de la metodología R.C.M. a un motor diésel para la selección del plan de mantenimiento”. Lo que pretenden con este proyecto es mejorar el conocimiento de los motores diésel, del método R.C.M. y usos para otros sistemas, así como la elección del plan de mantenimiento más adecuado para el caso escogido y hacer un análisis comparativo de resultados obtenidos con uno y otro proyecto. En fin, pretende éste proyecto incorporar la zona en cuestión al tejido urbanístico, urbanizándola y dándole un uso acorde a las necesidades actuales. (Barrera, 2009). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para la aplicación de la metodología RCM motor diésel los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.1.5 Diseño de un plan de mantenimiento preventivo de motores diésel basado en análisis de aceite.

El ingeniero Cristian Maldonado, de la Escuela Politécnica Nacional de Quito-Ecuador en el año 2010 realizó “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo de motores diésel basado en análisis de aceite”, donde trata dos aspectos principales, primero se centra en conocer el funcionamiento, constitución y principales problemas de un motor diésel; segundo se trató los diferentes tipos de mantenimiento, y selección del mejor tipo de acuerdo a los requerimientos de la empresa y basado en los datos obtenidos a través de las diversas muestras de aceite.

Cuando se realizó el estudio del motor, se determinó la importancia de comprender el funcionamiento de los diferentes sistemas, especialmente el de lubricación, que es quizá el más importante para una adecuada operación del motor por ser el más propenso a fallas. La conclusión más importante obtenida de este estudio fue la relación directa de los diferentes elementos constitutivos del motor (tanto los elementos móviles como los estáticos) con las necesidades de lubricación que son satisfechas por este sistema. (Diaz, 2010). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para la aplicación del plan de mantenimiento preventivo de motores diésel los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.1.6 Mantenimiento RCM del sistema de refrigeración del motor diésel de un buque.

En el año 2014, el ingeniero Raúl Mora Céspedes de la universidad Carlos III de Madrid, realizó “Mantenimiento RCM del sistema de refrigeración del motor diésel de un buque”, empleando la metodología de Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad, conocida como RCM. A partir del Conocimiento de la evolución del mantenimiento. Se describe el desarrollo que ha tenido el mantenimiento a lo largo de su historia para poder tener una visión global de la situación actual. Definiendo los distintos tipos de mantenimiento utilizados en el proyecto. Éstos son los siguientes: mantenimiento correctivo, mantenimiento predictivo y mantenimiento preventivo programado. Realizando un presupuesto de un mantenimiento RCM. Para ello, se tiene en cuenta el costo de mano de obra y de los recursos utilizados, como son: las herramientas, piezas de sustitución, etc. (Cespedes, 2014). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para la aplicación del plan de mantenimiento RCM de motores diésel los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.1.7 Propuesta de un Nuevo Programa de Mantenimiento a los Motores Hyundai de Grupos Fuel Oil.

En el año 2020 los ingenieros Álvarez Zaldivar y Hernández Areu realizaron una “propuesta de un Nuevo Programa de Mantenimiento a los Motores Hyundai de Grupos Fuel Oil”. Lo cual determinaron en su investigación como objetivo principal la evaluación del plan de mantenimiento actual con respecto a un nuevo desarrollado en el mismo el cual se realizó a una empresa generadora de energía eléctrica para mejorar los procesos internos de la organización. Donde uno de los puntos importantes de este estudio es la utilización del análisis de costos que tiene actualmente la empresa para recalcularlos y adaptar de una mejor forma las inversiones que se dan a cada una de las áreas y de esta manera aumentar la eficiencia de las áreas de alta prioridad como lo son las de mantenimiento. (Deivis Alvares Zaldivar, 2020). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para la aplicación del plan de mantenimiento a los motores los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.1.8 Propuesta de plan de mantenimiento para Motogenerador y equipo de acondicionamiento de aire en una data center (Centro de Procesamiento de Datos).

El ingeniero Juan Luis Bal Ponciano de la universidad de san Carlos en Guatemala, en el año 2016 realizo una “Propuesta de plan de mantenimiento para motogenerador y equipo de acondicionamiento de aire en una data center (Centro de Procesamiento de Datos)”. Lo cual consiste en Documentar los procedimientos para el mantenimiento preventivo de un motogenerador y equipo de aire acondicionado de precisión, así establecer un orden en el mantenimiento del motogenerador y acondicionamiento de aire y conocer las fallas más comunes del motogenerador y el acondicionamiento de aire. (Ponciano, 2016). La investigación aporta al

desarrollo de esta propuesta detalles para la aplicación del plan de mantenimiento a los motogeneradores los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.1.9 Estudio para la implementación de un centro de mantenimiento y reparación para automotores diésel.

En el año 2010, los ingenieros Carlos Calahorrano y David Cardenas de la escuela politécnica nacional de Quito-Ecuador. Realizaron un “Estudio para la implementación de un centro de mantenimiento y reparación para automotores diésel”. El proyecto está orientado a automotores diésel debido a que se puede considerar al sector con la latente necesidad de un servicio adecuado y especializado que brinde seguridad, calidad y cumplimiento con sus clientes, dentro de un sector de importancia vital para el país. Así mismo ser una guía para jóvenes emprendedores que elijan el campo del mantenimiento automotriz como una oportunidad de inversión que traiga consigo beneficios personales para la comunidad. (Carlos Calahorrano, 2010). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para la implementación de un centro de mantenimiento en automotores diésel los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.2 Estado del arte nacional

6.1.2.1 Modelado de la combustión en motores Diésel.

En el año 2012, en la Universidad Industrial de Santander (UIS), los ingenieros Gabriel Fernando García Sánchez; Jorge Luis Chacón Velasco; Arlex Chaves Guerrero realizaron un “Modelado de la combustión en motores Diésel” el estudio realizado consistía en un proceso de combustión en motores Diésel, que durante años, es un tema de gran interés debido principalmente a la creciente necesidad de mejorar el rendimiento de los motores, reducir el consumo de combustible y reducir la emisión de contaminantes. Los estudios experimentales presentan la desventaja de requerir grandes recursos económicos y tiempo en su realización, razón por la cual

se utilizan modelos computacionales que permiten estudiar el proceso de combustión de una forma más económica y práctica. En este artículo se presenta una revisión de varios de los modelos de combustión en motores Diésel más relevantes, desarrollados a nivel nacional e internacional, con el fin de dar al lector una visión de la evolución y el estado actual de este tipo de modelos. (Sánchez, Velasco, & Guerrero, 2013). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para el modelado de la combustión en motores diésel los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.2.2 Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte del sistema eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella sede colina.

En el año 2021 los ingenieros Sergio Hurtado y Yerson Álvarez realizaron “Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte del sistema eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella sede colina” En este documento de investigación analizaron la planta eléctrica de Falabella Sede Colina en la ciudad de Bogotá puesto que es uno de los activos más fundamentales en la operación de la empresa, este brinda soporte de energía eléctrica constante en caso de algún fallo por el proveedor local. La realización de la propuesta del plan de mantenimiento está basada en proporcionarle una mayor confiabilidad a este equipo con el estudio del mantenimiento centrado en confiabilidad para así llevar seguimiento por medio de cronogramas definidos y mantenimientos programados. Dentro de los resultados más relevantes obtenidos se encuentra recopilación de información importante como lo es la taxonomía de cada uno de los sistemas, subsistemas y componentes que intervienen en la planta eléctrica hasta un nivel de detalle específico, a su vez, una matriz donde se realiza el análisis de criticidad correspondiente a los componentes y la documentación adecuada de los modos de falla y sus causas. Seguido a esto se presenta la propuesta de un plan de mantenimiento para controlar los modos de falla que han

aparecido luego del análisis. En conclusión, el lector tendrá a su mano un documento de referencia para investigaciones futuras sobre mantenimiento centrado en confiabilidad de plantas eléctricas y así detallar un poco más algún tipo de sistema, subsistemas o componente deseado. (Álvarez Romero Yerson, 2021). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.2.3 Elaboración de un plan de mantenimiento basado en la metodología rcm para el sistema de tracción del vehículo chevrolet lv150 modelo 2009.

En el año 2020, el ingeniero mecánico de la universidad de Antioquia Sebastián Tabares realizo la “Elaboración de un plan de mantenimiento basado en la metodología rcm para el sistema de tracción del vehículo chevrolet lv150 modelo 2009”. En el presente trabajo se realiza el plan de mantenimiento para los sistemas de masa no suspendida, es decir, ruedas, suspensión, dirección y frenos, específicamente de los buses marca Chevrolet LV150 con que cuenta la flota de la Empresa; Esto con el fin de tener el punto de partida en el activo más complejo y costoso, iniciando con dichos sistemas teniendo en cuenta que presentan el mayor costo correctivos que ha tenido esta línea en los dos últimos años. (Tabares, 2020). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para la elaboración de un plan de mantenimiento basado en RCM los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.2.4 Plan de Mantenimiento centrado en Confiabilidad (RCM II) para maquinas rectificadoras sin centros (M017 Y M018) en industrias LAVCO LTDA.

Los ingenieros Angie Rodríguez y David Parra de la universidad industrial de Santander, en el año 2014 realizaron un “Plan de Mantenimiento centrado en Confiabilidad (RCM II) para

maquinas rectificadoras sin centros (M017 Y M018) en industrias LAVCO LTDA”. Los resultados obtenidos en este proyecto demuestran que la implementación del plan de mantenimiento basado en RCM es favorable en cuanto a la organización de la carga de mantenimiento, mejora en la confiabilidad de la operación, identifica las posibles causas de errores en la calidad del producto y se asegura la preservación de las funciones del activo. (Angie Rodriguez, 2014). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para la elaboración de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.2.5 Programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para el motor eléctrico del sistema de bombeo MP-3301 en la Refinería de ECOPETROL en Barrancabermeja utilizando software IRCMS.

En el año 2016, el ingeniero Jhon Fredy Vergara Osorio de la universidad EAFIT desarrollo un “Programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para el motor eléctrico del sistema de bombeo MP-3301 en la Refinería de ECOPETROL en Barrancabermeja utilizando software IRCMS”. Donde utilizo el software para llevar una mejor manipulación de los datos y por medio de instructivos señala como hacer la correcta digitación de la información. (Osorio, 2016). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para la elaboración de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para el motor eléctrico los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.1.2.6 Propuesta para la aplicación del RCM en una motobomba centrifuga IHM 15 H - 7.5 TW.

Los ingenieros Pedro Abril, Cristian Ardila y Juan Cubillos de la universidad ECCI en el año 2016 realizaron una “Propuesta para la aplicación del RCM en una motobomba centrifuga IHM 15 H -7.5 TW”. Mediante este proyecto se busca favorecer el impacto económico en las

estructuras y empresas que utilicen estas bombas centrifugas, ya que al implementar estas actividades se busca disminuir los mantenimientos correctivos de igual manera se evitará la falta del recurso hídrico a todas las personas que realicen sus actividades dentro de estas instalaciones. (Pedro Abril, 2016). La investigación aporta al desarrollo de esta propuesta detalles para la aplicación del RCM en una motobomba los cuales serán tenidos en cuenta por los autores.

6.2 Marco teórico

6.2.1 *Historia de los Motores Diesel*

El motor diésel fue inventado en 1894 por el ingeniero alemán Rudolf Diesel, empleado de la firma MAN, que por aquellos años ya estaba en la producción de motores y vehículos de carga de rango pesado. Rudolf Diesel estudiaba los motores de alto rendimiento térmico, con el uso de combustibles alternativos en los motores de combustión interna para reemplazar a los viejos motores de vapor que eran poco eficientes, muy pesados y costosos. Su invento le costó muy caro: sufrió un accidente que les provocó lesiones a él y a sus colaboradores, y que casi le costó la vida a causa de la explosión de uno de sus motores experimentales.

Durante años Diesel trabajó para poder utilizar otros combustibles diferentes a la gasolina, basados en principios de los motores de compresión sin ignición por chispa, cuyos orígenes se remontan a la máquina de vapor y que poseen una mayor prestación. Así fue como en 1897 MAN produjo el primer motor conforme a los estudios de Rudolf Diesel, encontrando para su funcionamiento un combustible poco volátil, que por aquellos años era muy utilizado, el llamado aceite liviano, más conocido como fueloil, que se utilizaba para alumbrar las lámparas de la calle. (Blasco).

El motor diésel es un motor térmico de combustión interna alternativa cuyo principio de funcionamiento es la auto-ignición del combustible debido a altas temperaturas derivadas de la alta relación de compresión que posee, según el principio del ciclo diésel. Puede utilizar como combustible el gasóleo/gas-oíl o aceites pesados derivados del petróleo, como también aceites vegetales como el aceite de girasol (de hecho, el primer combustible utilizado en este motor fue el aceite de cacahuete). Además, es muy eficiente en términos termodinámicos; los mejores y más desarrollados llegan a alcanzar un valor de entre 50% y 60% de eficacia térmica, (sobre todo en motores de bajas rpm y alto desplazamiento) un valor muy elevado en relación a la casi totalidad de los motores de explosión; es uno de los motores más usados desde su creación en diversas aplicaciones.

6.2.2 Clasificación de los Motores Diesel

Existen diferentes tipos de motores diésel que se dividen de acuerdo a los tiempos de funcionamiento y combustión, la disposición de los cilindros y el efecto de los pistones.

6.2.2.1 Motores de 4 tiempos

Como su nombre lo refleja, tienen un ciclo de combustión que consta de 4 tiempos. Estos son: Admisión, compresión, explosión o ignición, escape. A los motores 4 tiempos también se les conoce como Otto, debido a que su creador fue el ingeniero alemán Nikolaus Otto en 1867.

6.2.2.2 Motores de 2 tiempos

Se trata de motores más sencillos con menos cantidad de piezas mecánicas. Aunque también trabaja con un sistema de combustión interna, tal como el motor 4 tiempos, realiza todo el ciclo en una sola vuelta del cigüeñal o en dos carreras del pistón. Otra gran diferencia de este motor con respecto al anterior es que dirige el intercambio gaseoso por el pistón y no por las válvulas, como lo hace el de 4 ciclos.

6.2.2.3 Cilindros en línea

Este tipo de motores tienen una disposición paralela en línea de los cilindros, la cual es considerada la más simple. Esta clase de distribución es habitual en motores que tienen 8 o menos cilindros.

6.2.2.4 Motores con cilindros en V

Cuando los motores tienen más de 8 cilindros, una armadura en línea no resulta lo suficientemente rígida, en algunas ocasiones. Por eso, se aplica la disposición en V, con un par de bielas conectadas en el mismo muñón para reducir la longitud e incrementar la resistencia del cigüeñal. Además de clasificarse por la disposición de los cilindros, también pueden segmentarse por sus posiciones, distribución y formas, como motor horizontal, motor de unidad múltiple y motor con cigüeñal vertical.

6.2.2.5 Motores de efecto simple

Cuando hablamos de tipos de motores diésel, este no puede quedar fuera, ya que es uno de los más comunes. Los motores de efecto simple son aquellos que utilizan una sola cara del pistón para producir la potencia necesaria para el desplazamiento.

6.2.2.6 Motores de doble efecto

Son aquellos que usan ambas caras del pistón y, también, los dos extremos del cilindro para producir y desarrollar la potencia. Este tipo de motores son construidos únicamente para unidades grandes, generalmente de carga, que no necesitan alcanzar velocidades muy elevadas (Pacheco, 2007). También, en las últimas décadas, se han desarrollado motores con pistones opuestos dentro de un mismo cilindro, tomando como referencia los de doble efecto.

6.2.3 Principales aplicaciones de los motores diésel

Maquinaria pesada o agrícola de cuatro tiempos, camiones de carga, buses de corta y larga distancia y algunas furgonetas/furgones:

- **Automóviles de turismo y de competición.**
- **Propulsión ferroviaria 2T.**
- **Propulsión marina de cuatro tiempos hasta una cierta potencia; a partir de ahí dos tiempos.**
- **Vehículos de propulsión a oruga.**
- **Grupos generadores de energía eléctrica (centrales eléctricas y de emergencia)**
- **Accionamiento industrial (motobombas, compresores, motores estacionarios, etc., especialmente de emergencia).**
- **Propulsión aérea (principalmente en aviones pequeños para uso privado en lugar de motores con AVGAS).**

6.2.4 Principio de funcionamiento motor Diesel

6.2.4.1 Ciclo diésel de 4 tiempos

Un motor diésel funciona mediante la ignición (encendido) del combustible al ser inyectado muy pulverizado y con alta presión en una cámara (o precámara, en el caso de inyección indirecta) de combustión que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura de autocombustión, sin necesidad de chispa como en los motores de gasolina. Este proceso es lo que se llama la autoinflamación. La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la temperatura que se produce en el segundo tiempo del motor, la compresión. El combustible se inyecta en la parte superior de la cámara de combustión a gran presión desde unos orificios muy

pequeños que tiene el inyector, de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura (entre 700 y 900 °C) y alta presión. Como resultado, la mezcla se inflama muy rápidamente. Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia fuera.

Esta expansión, a diferencia del motor de gasolina, es adiabática, generando un movimiento rectilíneo a través de la carrera del pistón. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento rectilíneo alternativo (de va y viene, ida y vuelta) del pistón en un movimiento de rotación (Arrazola, 2018). Para que se produzca la autoinflamación es necesario alcanzar la temperatura de inflamación espontánea del diésel. En frío es necesario precalentar el diésel o emplear combustibles más pesados que los empleados en el motor de gasolina, empleándose la fracción de destilación del petróleo fluctuando entre los 220 °C y 350 °C, y que recibe la denominación de gasóleo.

6.2.5 *Mantenimiento*

El mantenimiento consiste en la realización de una serie de actividades, como reparaciones y actualizaciones, que permiten que el paso del tiempo no afecte al rendimiento de un bien de capital, propiedad de la empresa. La realización de un correcto mantenimiento es necesario en todas las actividades económicas, además de que exige una serie de gastos por parte de la organización. El mantenimiento es necesario para evitar fallos en el proceso productivo que generen mayores costos. Por esa razón, como veremos más adelante, los productores pueden monitorear frecuentemente sus equipos para actuar antes de que se sucedan los desperfectos. (Westreicher, 2020).

6.2.6 Tipos de Mantenimiento

Los siguientes conceptos se han tomado del autor (Renovetec), el cual define de forma general cada uno de los tipos de mantenimiento:

6.2.6.1 Mantenimiento Correctivo: Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.

6.2.6.2 Mantenimiento Preventivo: Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.

6.2.6.3 Mantenimiento Predictivo: Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos.

6.2.7 RCM

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que

incluyan todo tipo de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.). Esta metodología fue desarrollada inicialmente por la industria comercial de aviación de los Estados Unidos para mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos, fue definida por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978 y ha sido utilizada para determinar estrategias de mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo en los países industrializados del mundo. (OSCAR LOPEZ, 2019).

6.2.7.1 Preguntas de RCM – SAE JA1101

El propósito del estándar es identificar los criterios mínimos que se deben implementar en una organización que desee hacer gestión de los modos de fallas que le podrían causar diversas fallas funcionales de una máquina. Para asegurarse que se están aplicando los criterios para un proceso de RCM sobre un activo se debe seguir una secuencia lógica de pasos:

- **Paso 1: Determinar el contexto operativo y las funciones asociados al desempeño del activo.**
- **Paso 2: Determinar cuál es la falla funcional del activo.**
- **Paso 3: Determinar cuáles son los modos de falla, causas de la falla.**
- **Paso 4: Determinar cuáles son los efectos de falla.**
- **Paso 5: Determinar cuáles son las consecuencias de la falla.**
- **Paso 6: Establecer acciones para prevenir, evitar o minimizar la ocurrencia de cada falla y determinar su frecuencia.**
- **Paso 7: Evaluar si existen estrategias más efectivas para la eliminación de falla.**

6.2.7.2 Funciones y Parámetros de funcionamiento.

El primer paso para el desarrollo del RCM es definir las funciones de cada activo, funciones principales y secundarias dando respuesta a las siguientes preguntas: ¿Qué es lo que los usuarios quieren que haga el activo? ¿Es capaz de hacer la función que se desea que realice?

Las funciones primarias son aquellas que determinaron la compra del activo, por qué se realizó la inversión. Están principalmente asociadas a temas de producción, capacidad, calidad o velocidad.

Las funciones secundarias hacen referencia al cumplimiento de las expectativas en temáticas sobre integridad ambiental, integridad estructural, control, apariencia, protección regulaciones ambientales, eficiencia, economía, características cualitativas.

El objetivo de todos los mantenimientos es que no existan fallas funcionales que ocasionen paradas y por ende afectación en el funcionamiento del activo ya sea, función primaria o función secundaria.

6.2.7.3 Fallas Funcionales.

La razón del mantenimiento está definida por las funciones asociadas al activo optando por la mejor técnica para evitar que se produzcan las fallas. La falla se define cuando el usuario establece un límite de aceptación y cumplimiento hacia una magnitud de funcionamiento deseado. El activo al trabajar en ese margen justo antes del límite está cumpliendo con las expectativas del usuario, pero una vez no se cumple, se dice que está fallando por no alcanzar las expectativas.

6.2.7.4 Modos de falla.

Una vez identificado las fallas funcionales se deben identificar los modos de fallas que son los “hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla”. Aquí se tienen en cuenta aquellas causas que suceden actualmente en el activo, que ya han sido

identificadas y están siendo monitoreadas o controladas con planes de mantenimiento; y también, se tienen en cuenta aquellas causas que no han sucedido y que es altamente posible su ocurrencia.

6.2.7.5 Efectos de falla.

Los efectos de falla describen lo que ocurre con cada modo de falla, en la ejecución de este paso se debe incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de las fallas. Esta debe incluir evidencias, forma que representa la amenaza para seguridad y medio ambiente, afectación en producción o a operaciones, daños físicos causados por la falla y que debería hacerse para reparar la falla.

6.2.7.6 Consecuencias de la falla.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM reconoce que las consecuencias son las más importantes, el resultado del análisis que se hace busca evitarlas. La naturaleza y la gravedad de estos efectos definen las consecuencias de la falla. Cada usuario establece un límite para decidir si la falla que aparece puede generar una consecuencia de gran magnitud o por lo contrario si es irrelevante. Sin embargo, se puede concluir que, si se reduce una gran cantidad de fallas, se podría eliminar total o parcialmente las consecuencias generadas por las mismas.

El proceso RCM clasifica las consecuencias en cuatro tipos los cuales son:

Consecuencias de fallas ocultas: este tipo de consecuencias está asociado a impactos a los sistemas de protección sin seguridad, pueden ser serias y hasta catastróficas.

Consecuencias ambientales y para la seguridad: estas son producidas por fallas que atentan contra la integridad de las personas ocasionando lesiones o muerte. También si se infringen las regulaciones nacionales e internacionales en temas de medio ambiente.

Consecuencias operacionales: este tipo de consecuencias se refiere a la aparición de fallas en los activos que afectan directamente la producción, la operación y que por ende el costo por pérdida que generan es elevado.

Consecuencias no operacionales: las fallas que generan consecuencias de este tipo no afectan a la seguridad ni a la producción, únicamente implican gastos en reparaciones.

6.2.7.7 AMFE – AMEF

El Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMEF) busca encontrar los modos de falla que son ocasionados por las fallas funcionales y a su vez identificar los efectos de cada falla. El nivel de detalle sobre la definición de los modos y efectos de falla tiene en cuenta varios factores, sin embargo, es importante definir hasta donde se quiere llegar con el análisis. Un nivel de detalle muy bajo (pocos niveles) da como resultado un análisis muy superficial, por lo contrario, un nivel de detalle muy alto (bastantes niveles) da como resultado mucha información que si no se le da la gestión adecuada se puede convertir en un análisis inmanejable. Lo ideal es descomponer el activo en sistemas, subsistemas hasta componentes, así, se logra un nivel detalle al cual se le pueden hallar relaciones entre sistemas y realizar un análisis razonable.

6.3 Marco Normativo y Legal

6.3.1 Norma SAE JA1011 –1012 Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento

Centrado en Confiabilidad (RCM).

Tabla 1. Marco Normativo y Legal.

NORMA / REGLAMENTO	NUMERAL DE LA NORMA	DESCRIPCIÓN
--------------------	---------------------	-------------

Norma SAE JA1011

Completo

Esta Norma SAE JA1011 para Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) está destinada a ser utilizada por cualquier organización que tenga o fabrique uso de activos físicos o sistemas que desee gestionar de forma responsable. (SAE, 2009).

Norma SAE JA1012

Completo

SAE JA1012 (“A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard”) amplifica y aclara cada uno de los criterios claves listados en SAE JA1011 (“Evaluation Criteria for RCM Processes”), y resume problemas adicionales que deben ser tomados en cuenta para aplicar MCC exitosamente. (SAE, 2002).

Norma ISO 14001:2015

Completo

**“Sistema de Gestión
Ambiental”**

Es un estándar que contiene todos los requisitos necesarios para implementar un Sistema de Gestión Ambiental. Facilita a las organizaciones la posibilidad de instaurar un SGA que demuestre su desempeño ambiental.

Norma ISO 55000

Completo

“Gestión de activos”

La norma ISO 55000 abre todo un campo de oportunidades para la mejora de la gestión de activos en las empresas. Lo cual establece la definición de qué es la gestión de activos, así como los principios y la terminología de este conjunto de normas.

Norma ISO 9001	
“Sistema de Gestión de la Calidad”	Completo

La norma Internacional ISO 9001 está enfocada a la consecución de la calidad en una organización mediante la implementación de un método o Sistema de Gestión de la calidad (SGC). La norma ISO 9001 estimula la adopción de la gestión por procesos como medio de identificar claramente y gestionar el Sistema de Gestión de la Calidad y las oportunidades para la mejora.

FUENTE: Autores

7 Marco Metodológico

7.1 Recolección de la información

7.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación usado está basada en datos históricos con datos confiables y precisos, es decir un tipo de investigación cuantitativa, ya que se analizaron datos acerca del activo, teniendo como base los mantenimientos realizados, su frecuencia y calidad, Por medio de estos datos se pudo tener una mayor idea del estado del equipo y a partir de allí se estableció la mejor metodología a aplicar.

7.1.2 Fuentes de obtención de la Información

7.1.2.1 Fuentes primarias

Para llevar a cabo la recolección de la información se contó con los reportes actuales de la empresa de estudio encargada de realizar el mantenimiento del activo. A partir de ellos se puede conocer la hoja de vida, estado actual, funcionamiento e histórico del equipo para realizar la recolección de datos y conocer los principales modos de fallas, efectos y consecuencias para que posteriormente se pueda desarrollar el planteamiento de la propuesta de implementación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM, Así mismo, se cuenta con los manuales de fabricante o proveedor también son una fuente de información importante ya que contienen datos especializados sobre como identificar y solucionar modos de fallas frecuentes.

7.1.2.2 Fuentes secundarias

Con el uso de información relevante para la investigación a nivel nacional e internacional en el estado del arte, estos se pueden tomar como referencia para la elaboración del análisis de histórico de modo de falla, ya que los equipos que se analizaron tienen varias similitudes en su estructura taxonómica, Libros, artículos y monografías con temáticas relacionadas sobre el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM para profundizar y afianzar el conocimiento y el desarrollo del documento de investigación.

7.1.3 Herramientas para la investigación

- **RCM Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.**
- **Análisis de criticidad; Instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.**

- **Norma SAE JA1011 – 1012 Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).**
- **SAP Modulo PM: Permite la planificación, el procesamiento y la terminación de tareas, para el mantenimiento de una planta facilitando la toma de decisiones.**

7.1.4 Metodología de la investigación

- **Para el desarrollo del objetivo número uno “efectuar la descripción general del Motor Diésel del grupo electrógeno campo de Producción de Rubiales, su funcionamiento y partes constituidas.” Se desarrollarán las siguientes actividades: identificar el equipo mediante información y fotos suministrada por el contratista, teniendo en cuenta los datos de placa su marca, modelo, número de serie. De la ficha Técnica se identificarán los datos de potencia, ciclos, número de cilindros, rotación etc. Del manual de fabricante se identificará su funcionamiento básico y la referencia de los Apls que relacionan todos los repuestos y despiece de este equipo.**
- **Para el desarrollo del objetivo número dos “diagnosticar cómo se está ejecutando el mantenimiento actual en el Motor Diésel del grupo electrógeno por medio de datos históricos en el campo de Producción de Rubiales.” Se desarrollarán las siguientes actividades: caracterizar el proceso actual de mantenimiento sus tareas, frecuencias y materiales, se establecerán cuáles son los recursos de mantenimiento actualmente utilizados, se analizarán los resultados obtenidos con la ejecución del plan de mantenimiento en curso y sus consecuencias por desarrollar estas tareas.**
- **Para el desarrollo del objetivo número tres “Analizar los resultados y realizar propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad que soporte el funcionamiento del Motor Diésel del grupo**

electrógeno.” Se desarrollarán las siguientes actividades. En primera instancia se identificada la taxonomía de la planta eléctrica, como segundo paso la matriz de criticidad por componente, tercero análisis de modos de fallas, cuarto evaluación de consecuencia de la falla, hoja de decisión y tareas propuestas detalladas, plan de mantenimiento basado de RCM, Cada uno de los pasos se describen en la siguiente figura:

Figura 1

Metodología para creación de plan de mantenimiento basado en RCM.



Nota: La figura presenta los pasos a seguir para aplicar el modelo de mantenimiento basado en RCM; fuente: autores

7.1.5 Información recopilada

En la actualidad se cuenta con una información base debido a que una de las limitaciones para este documento de investigación es el acceso a el 100% de la información de este Equipo.

Se va a tener en cuenta aquella información que sea útil para el desarrollo de los objetivos específicos.

Información recopilada para desarrollar esta actividad.

7.1.5.1 Taxonomía: Macro jerarquía de equipos (IH08-IH06) SAP PM, ISO 14224

La recolección y estandarización de información, en sistemas de gestión de datos mejorados permiten la transferencia electrónicamente y pueden dar como resultado la calidad mejorada de los datos para la confiabilidad y el mantenimiento, la cual analizaremos como base de estudio.

Figura 2.

Listado de equipos generación: IE03-IH08 SAP PM.

Equipo	Denominación de objeto técnico	Tp.objeto técnico	Fabricante del activo fijo	Perfil de catálogo	Pto.tbjo.re sponsable	Ubicación técnica	Número-identificación técnica
11125840	Motor Diesel Perkins GE-144	ROT	Perkins	PMCEDE	DELEERO2	RUB-PAD4-SGEN-ENER-UGELCCMPD41	GE-144
11125839	Generador Eléctrico 60 KW GE-144	ROT	Stamford	PMEGLT	DELEERO2	RUB-PAD4-SGEN-ENER-UGELCCMPD41	GE-144

Fuente: autores

Figura 3.

Taxonomía: Macro jerarquía de equipos (IH08-IH06) SAP PM, ISO 14224.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7	Nivel 8	Nivel 9	Descripción
0									(PETROLEO)
	e&p								(upstream)
		RUB (campo)							Campo Rubiales
			RUB-PAD4						Planta Inyección de Agua PAD-4
				RUB-PAD4-INFR					Sistema De Infraestructura PAD-4
					RUB-PAD4-SGEN-ENER				Generación Energía Eléctrica PAD-4
						RUB-PAD4-SGEN-ENER-UGELCCMPD41			Und Generador Eléctrico #1 CCM PAD4
							11125827		Moto-Generador 75 KW GE-144
								11125840	Motor Diesel Perkins GE-144
								11125839	Generador Eléctrico 60 KW GE-144

Fuente: autores.

Tabla 2.

Clasificación de tipos de motores de combustion.

Clase de equipo — Nivel 6		Tipo de equipo	
Descripción	Código	Descripción	Código
Motores de combustión	CE	Motor diésel	DE
		Motor Otto (gas)	GE

Fuente: ISO 14224.

7.1.5.2 Histórico de equipos de fallas:

Las máquinas describen su vida a través de su historial de fallas, el cual puede revelar información útil para determinar los síntomas de las averías, sus causas raíces, su física, el estado y característica de los componentes.

Figura 4.

Historial de equipos de fallas

HISTORIAL EQUIPO PROPIO					
FECHA	UBICACIÓN	TIPO MTO	CLASE MTTO	HOROMETRO	OT
19/09/2014	CLUSTER-118	Preventivo	M 300	12406	1000054940
7/02/2015	CLUSTER-118	Preventivo	M 300	12706	1000065620
8/05/2015	CLUSTER-118	Correctivo	Correctivo	12912	1000072839
6/08/2015	CLUSTER-118 TR	Preventivo	3 Meses	12976	1000079901
4/11/2015	CLUSTER-118 TR	Preventivo	3 Meses	13094	1000086521
5/08/2016	CLUSTER-118 TR	Correctivo	Correctivo	13771	1000095197
24/08/2016	CLUSTER-36	Preventivo	Preventivo	14252	1000102941
30/08/2016	CLUSTER-36	Preventivo	M 300	14369	1000110686
13/09/2016	CLUSTER-36	Correctivo	Correctivo	14726	1000118430
23/09/2016	CLUSTER-36	Preventivo	M 300	14966	1000126174
23/09/2016	CLUSTER-36	Preventivo	Preventivo	14966	1000133919
3/01/2017	CLUSTER-36	Preventivo	M 300	17409	10093885
14/01/2017	CLUSTER-36	Preventivo	M 300	17672	10099064
25/01/2017	CLUSTER-36	Correctivo	Correctivo	17913	10105237
29/01/2017	CLUSTER-36	Preventivo	M 300	17993	10081434
8/02/2017	CLUSTER-36	Preventivo	M 300	18220	10111028
24/02/2017	CLUSTER-36	Preventivo	M 300	18546	10116906
4/03/2017	PATIO GENERACIÓN	Correctivo	Correctivo	18546	10138895
5/03/2017	CLUSTER-277	Preventivo	Preventivo	18546	10128731
2/05/2017	PATIO GENERACIÓN	Correctivo	Correctivo	18546	10161012
2/05/2017	PATIO GENERACIÓN	Preventivo	M4	18546	10193293
17/05/2017	PATIO GENERACIÓN	Correctivo	Correctivo	18546	10168588
12/06/2017	CLUSTER-554	Correctivo	Correctivo	18546	10178793

Fuente: autores.

7.1.5.3 Manuales de fabricante: Manual de Operación y Mantenimiento Perkins (SSBU8387 Mayo 2007) Ver anexo 1.

La primera de las técnicas para determinar las tareas que componen el plan de mantenimiento actual, consiste en basar dicho plan de forma exclusiva en las instrucciones de los fabricantes, en este establece las tareas básicas recomendadas para estos equipos de generación.

7.1.5.4 Ficha técnica del equipo: (Series 2506C-E15TAG3 Diesel Engine – ElectropaK)

Describe las especificaciones, explica el rendimiento y las características técnicas del Motor Perkins, material, componentes, capacidad etc.

Figura 5.

Ficha técnica del equipo: (Series 2506C-E15TAG3 Diesel Engine – ElectropaK)

Specification		
Number of cylinders	6 vertical in-line	
Bore and stroke	137 x 171 mm	5.4 x 6.7 in
Displacement	15.2 litres	927 in ³
Aspiration	Turbocharged and air-to-air charge cooled	
Cycle	4 stroke	
Combustion system	Direct injection	
Compression ratio	16:1	
Rotation	Anti-clockwise, viewed on flywheel	
Total lubricating capacity	62 litres	16.4 US gal
Cooling system	Water-cooled	
Total coolant capacity	58 litres	15.3 US gal

Fuente: Data sheet Motor Perkins 2506 Diesel Engine – ElectropaK

7.1.5.5 Planes de mantenimiento: (Reportes IP18 - IA07) SAP PM texto. Ver anexo 2.

En la actualidad la empresa de mantenimiento especializado industrial cuenta rutinas de mantenimientos preventivos y de acuerdo a los resultados de estos se planean y ejecutan algunos mantenimientos correctivos, los cuales serán analizados como base para establecer las ventajas y desventajas de esta aplicación.

7.1.5.6 Materiales: (Kit de Repuestos Motores Perkins)

Un kit de mantenimiento preventivo del motor Perkins incluye todas las piezas necesarias para las respectivas frecuencias de mantenimiento requeridas.

Figura 6.

Lista de repuesto

CÓD	Marca Sugerida	Parte Numero	Prioridad	Descripcion	Unidad	Cantidad	Codigo SAP	Precio (\$COP)	Precio (\$US)
R1	DONALDSON	P551712	1	Filtro de Combustible Primario	Und.	1	71500070368	\$ 49.410	\$ 10
R2	DONALDSON	P551311	1	Filtro de Combustible Secundario	Und.	1	71000278739	\$ 125.385	\$ 26
R3	DONALDSON/RACOR	P552020	1	Filtro Racor	Und.	2	71000982868	\$ 65.000	\$ 14
R4	PRIMAX	N/A	1	Aceite 15W40	Und.	16 gl	72000969022	\$ 2.716.060	\$ 566
R5	DONALDSON	P554005	1	Filtro de Aceite	Und.	1	71003521739	\$ 109.738	\$ 23
R6	DONSSON	DA 2024	1	Filtro de Aire	Und.	1	71500062988	\$ 494.765	\$ 103
R7	PERKINS	CH11353	1	Empaque Tapa Valvula 2300/2500/2800/3000	Und.	1	71005967187	\$ 291.600	\$ 61
R8	PERKINS	CH11037	1	Correa Alternador 2200/2500/2800	Und.	1	71500062987	\$ 135.000	\$ 28
R9	PERKINS	CC-2835	1	Refrigerante Premium 50	Gls.	16	71004404224	\$ 66.586	\$ 14
R10	PERKINS	CH11950	1	Correa del Ventilador 2500	Und.	3	71500062985	\$ 400.000	\$ 83
R11	PERKINS	9-KIT2506COMB	1	Kit Mangueras ACPM 4 Unidades P	Und.	1	71500093180	\$ 138.500	\$ 29
R12	CATERPILLAR	CH11444	1	Rodamientos Poleas Frontales: Polea Venlador Y Pole Tensora - RODAMIENTO POLEA TENSORA	Un	2	71500093184	\$ 82.000	\$ 17
R13	PERKINS	CH12378	1	Retenedor Polea Ventilador Perkins	Un	1	71500062979	\$ 48.500	\$ 10
R14	PERKINS	CH10887	1	EMPAQUE CARTER	Und.	1	71500062939	\$ 293.000	\$ 61
R15	GENERICICO	4D	1	BATERIA 4D 12 VDC	Und.	2	71004404281	\$ 816.088	\$ 170
R16	PERKINS	CH12825	1	TAPA RADIADOR 7 LIBRAS DIAMETRO	Und.	1	71500093188	\$ 18.000	\$ 4
R17	PERKINS	CH11379	1	RETENEDOR DELANTERO CIGÜEÑAL 2300/2500/2800/3000	Und.	1	71500062980	\$ 216.000	\$ 45
R18	PERKINS	CH11352	1	EMPAQUE TAPA DISTRIBUCION 2300/2500/2800/3000	Und.	1	71500062978	\$ 300.000	\$ 63
R19	GENERICICO	9-BTP	1	BORNE BATERIA TIPO PESADO	Und.	4	71500093187	\$ 19.600	\$ 4
R20	PERKINS	KRP1643	1	EMPAQUETADURA INYECTOR 2300/2500/2800 JGDF/ MGDF/ MGEF/	Und.	6	71500068135	\$ 21.800	\$ 5
R21	PERKINS	CH10777	1	EMPAQUE MULTIPLE ESCAPE 2300/2500/2800/3000/ FGDF/ MGDF/	Und.	6	71500068139	\$ 19.500	\$ 4
R22	PERKINS	CH11223	1	EMPAQUE TUBO TURBO	Und.	1	71500068136	\$ 42.000	\$ 9
R23	PERKINS	CH11979	1	ALIMENTADOR PERKINS P 2500	Und.	1	71500068137	\$ 49.000	\$ 10
R24	PERKINS	JBHD039	1	EMPAQUE TUBO TURBO PERKINS P 2500 126-2702	Und.	1	71500068137	\$ 49.000	\$ 10
R25	PERKINS	CH11614	1	KIT EMPAQUETADURA ENFRIADOR ACEITE PERKINS P2500 1891814	Und.	1	71500069639	\$ 189.000	\$ 39
R26	PERKINS	CH11614	1	ORING CODO ADMISION PERKINS P2506/P2806 JGDF JGZF CH11614	Und.	1	71500068225	\$ 106.000	\$ 22
R27	PERKINS	ST91237	1	MANGUERA RADIADOR 2 1/2" 90 CMS	Und.	1	71500068213	\$ 93.000	\$ 19
R27	PERKINS	CH11128	1	HOSE - MANGUERA RADIADOR 3 1/2" PERKINS P 2500 1000007461	Und.	2	71500068214	\$ 270.000	\$ 56

R28	PERKINS	CH11002	1	FUEL PIPE	Und.	1	71500089134	\$ 219.000	\$ 46
R29	PERKINS	CH11001	1	FUEL PIPE	Und.	1	71500089133	\$ 160.000	\$ 33
R30	PERKINS	CH11110	1	CLAMP	Und.	3	71500089132	\$ 79.000	\$ 16
R31	PERKINS	CH11049	1	DUCT	Und.	1	71500089131	\$ 643.000	\$ 134
R32	PERKINS	CH11051	1	WATER PIPER	Und.	1	71500089130	\$ 299.000	\$ 62
R33	PERKINS	ST46410	1	CLIP	Und.	3	71500089129	\$ 11.000	\$ 2
R34	PERKINS	ST91230	1	HOSE	Und.	1	71500068175	\$ 84.000	\$ 18
R35	PERKINS	CH11966	1	AIR PIPE	Und.	1	71500089128	\$ 1.075.000	\$ 224
R36	PERKINS	CH11497	1	CLAMP	Und.	1	71500093186	\$ 12.200	\$ 3
R37	PERKINS	CH11498	1	SEAL - O RING	Und.	1	71500068223	\$ 24.000	\$ 5
R38	PERKINS	CH11328	1	PIPE LOW PRESSURE FUEL	Und.	1	71500093185	\$ 26.400	\$ 6
R39	PERKINS	CH10026	1	CONNECTION	Und.	1	71500089127	\$ 18.000	\$ 4
R40	PERKINS	CH11066	1	CONNECTOR	Und.	1	71500089126	\$ 192.000	\$ 40
R41	PERKINS	CH10999	1	FUEL FEED PIPE	Und.	1	71500062948	\$ 85.000	\$ 18
R42	PERKINS	CH10841	1	CONNECTION	Und.	2	71500089124	\$ 44.000	\$ 9
R43	PERKINS	CH10840	1	SEAL - O RING	Und.	2	71500089125	\$ 20.000	\$ 4
R44	PERKINS	CH11377	1	BAND	Und.	1	71500089123	\$ 286.000	\$ 60
R45	PERKINS	N/A	1	DESENGRASANTE	Gls	55	72500001330	\$ 25.714	\$ 5
R46	PERKINS	CH10944	1	TORNILLO CARTER FGA/FGAF/FGB/FGBF/FGD/FGDF/HG A/HGAF/HGB/MGA/MGAF/MGB/MGB	Und.	20	71500068173	\$ 5.100	\$ 1
R47	PERKINS	CH10955	1	TORNILLO TAPA VALVULAS FGA/FGB/FGD/HGA/HGB/JGAF/JGB/JGBF/JGD/JDGF/JGDFL/JGW/JGWF	Und.	15	71500062962	\$ 7.600	\$ 2
R48	PERKINS	CH11304	1	REten TRASERO CIGÜEÑAL 2300/2500/2800/3000 FGDF/ JGDF/ MGDF/ MGEF	Und.	1	71500068210	\$ 187.000	\$ 39
R49	PERKINS	CH11471	1	EMPAQUE TURBOCARGADOR 2200/2300/2800/2500	Und.	1	71500062949	\$ 26.667	\$ 6
R50	PERKINS	CH11979	1	EMPAQUE TUBO DRENAJE ACEITE	Und.	1	71500068137	\$ 49.000	\$ 10
R51	PERKINS	CH12375	1	RODAMIENTO FGAF/FGBF/FGDF/HGAF/HGBF/JGAF/JGBF/JGDF	Und.	1	71500069635	\$ 387.900	\$ 81
R52	PERKINS	6207 2RS	1	RODAMIENTO 6207 2RS C3	Und.	1	71000332445	\$ 150.000	\$ 31
R53	PERKINS	6314/6315	1	RODAMIENTO GENERADOR 6314/6315 2RS1/C3	Und.	1	71001459478	\$ 227.800	\$ 47
R54	PERKINS	CH10816	1	ORING BASE FILTRO ACEITE PERKINS P2506 2147568	Und.	2	71500068207	\$ 41.500	\$ 9
R55	PERKINS	CH10733-2N2765	1	PERNO TURBO PERKINS SERIE 2000	Und.	4	71500089145	\$ 28.000	\$ 6
R56	PERKINS	CH12006	1	SENSOR PRESION ACEITE PERKINS 2806 JGDF/PERKINS 2506 /CV18338-6/CH12006/2746719/KRP1688	Und.	1	71500072999	\$ 126.400	\$ 26
R57	ROYALDIA	BA0002-0	1	BARNIZ DIELECTRICO	Gls.	5	72004094421	\$ 99.926	\$ 21
R58	N/A	N/A	1	TYPE CLEANER LIMPIADOR	GLS.	20	72500001550	\$ 350.033	\$ 73
R59	GENERICICO	N/A	1	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 1000 A 5 AMP NUCLEO GRANDE	Und.	3	71500021683	\$ 965.900	\$ 201

Nota: Ver listado de repuestos completo en Excel “Análisis RCM - Motor Combustión Perkins” puede variar los precios en dólares de acuerdo a su precio (fecha de toma 17 de noviembre 2022)

Fuente: Empresa líder de Mantenimiento industrial Perkin./ SAP mm/pm

7.1.5.7 Hoja de vida del equipo

Nos permite la identificación de un equipo Motor Perkins. A través de este documento se identifican las características del equipo además de incluir la información del historial de los mantenimientos que se le han realizado a este ya sean correctivos o preventivos.

Figura 7.

Hoja de vida del equipo

GENERALIDADES DE PLANTA			HISTORIAL EQUIPO PROPIO					
TAG (ID) Equipo	GE-144		FECHA	UBICACIÓN	TIPO MTO	CLASE MTO	HOROMETRO	OT
Descripción	Planta electrica		19/09/2014	CLUSTER-118	Preventiva	M 300	12406	1000054940
Modo de Operación	Manual / automatico		7/02/2015	CLUSTER-118	Preventiva	M 300	12706	1000065620
MOTOR			8/05/2015	CLUSTER-118	Correctiva	Carreativa	12912	1000072839
Marca	Perkins		6/08/2015	CLUSTER-118 TR	Preventiva	3 Meses	12976	1000079901
Modelo	2506-E15TAG3		4/11/2015	CLUSTER-118 TR	Preventiva	3 Meses	13094	1000086521
S/N	MGDF5310B110052X		5/08/2016	CLUSTER-118 TR	Correctiva	Carreativa	13771	1000095197
Potencia	543 bKw 1800 RPM		24/08/2016	CLUSTER-36	Preventiva	Preventiva	14252	1000102941
GENERADOR			30/08/2016	CLUSTER-36	Preventiva	M 300	14369	1000110696
Marca	STAMFORD	13/09/2016	CLUSTER-36	Correctiva	Carreativa	14726	1000118430	
Modelo	HCI 534D	23/09/2016	CLUSTER-36	Preventiva	M 300	14966	1000126179	
S/N	M10F245161	23/09/2016	CLUSTER-36	Preventiva	Preventiva	14966	1000133919	
Potencia Nominal (KW)	500 KW	3/01/2017	CLUSTER-36	Preventiva	M 300	17409	10093885	
TIPO TABLERO		14/01/2017	CLUSTER-36	Preventiva	M 300	17672	10099064	
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		25/01/2017	CLUSTER-36	Correctiva	Carreativa	17913	10105237	
Otro Cual? Serial: 3800088		29/01/2017	CLUSTER-36	Preventiva	M 300	17993	10081434	
DATOS BÁSICOS TOTALIZADOR		8/02/2017	CLUSTER-36	Preventiva	M 300	18220	10111028	
Marca	ABB	24/02/2017	CLUSTER-36	Preventiva	M 300	18546	10116906	
Modelo	SACE P823 1VP	4/03/2017	PATIO GENERACIÓN	Correctiva	Carreativa	18546	10138895	
Voltaje de operación	220VAC/480VAC	5/03/2017	CLUSTER-277	Preventiva	Preventiva	18546	10128791	
Amperaje (si es a 3 cables o no) protección en sobre corriente, cortocircuito, ambs y protección de neutro. Frecuencia. Subte de tiempo	1600 AMPS	2/05/2017	PATIO GENERACIÓN	Correctiva	Carreativa	18546	10161012	
Tipo de interruptor	MANUAL	2/05/2017	PATIO GENERACIÓN	Preventiva	M4	18546	10193293	
ENSAMBLE		17/05/2017	PATIO GENERACIÓN	Correctiva	Carreativa	18546	10168588	
Largo (m ts)	6,25	12/06/2017	CLUSTER-554	Correctiva	Carreativa	18546	10178793	
Ancho (m ts)	2,9							
Alt (m ts)	2,43							
Peso (Kg)	7.500							

Fuente: autores.

7.1.5.8 Kpi: Hoja de vida del indicador Cumplimiento Programa IPMP

Este indicador mide el cumplimiento del programa de los Planes de Inspecciones, Pruebas y Mantenimiento Preventivo (IPMP) a los equipos. Los datos para este indicador se obtienen a partir del Sistema de Administración de Mantenimiento CMMS.

Figura 8.

Hoja de vida del indicador Cumplimiento Programa IPMP.

Nombre del indicador	Cumplimiento del programa Inspecciones, Pruebas y Mantenimiento Preventivo, (IPMP) a equipos	Unidad de Medida	%	
Descripción detallada del indicador	Este indicador mide el cumplimiento del programa de los Planes de Inspecciones, Pruebas y Mantenimiento Preventivo (IPMP) a los equipos críticos y no críticos. Los datos para este indicador deben obtenerse a partir del Sistema de Administración de Mantenimiento CMMS de Ecopetrol.			
Sentido del Indicador	Positivo	X	Negativo	
Fórmula de Cálculo del Indicador	$\% \text{ cumplimiento programa IPMP} = ((\text{No. de órdenes de mantenimiento cerradas}) / (\text{No. total de órdenes planeadas durante el periodo evaluado})) * 100\%$			
Fórmula de Cumplimiento	$\% \text{ Cumplimiento} = (\text{Real/Planeado}) * 100\%$			
Número de decimales para el cálculo del indicador	1	Número de Decimales de reporte del indicador utilizando el redondeo aritmético	1	

Definiciones, Notas y supuestos	Definiciones:
	<p>Notas y Supuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Las áreas ejecutoras deben poner en firme los planes IPMP mediante la correspondiente generación de órdenes de trabajo a través de la transacción IP30. La premisa básica es que los planes de mantenimiento activos deben ser generados y ejecutados. El cumplimiento del indicador se revisara con respecto a las líneas proyectadas que se obtienen a través de la transacción IP19. <p>Todas las líneas previstas por el sistema para ser ejecutadas en el periodo de medición serán consideradas para la gestión del indicador.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> La fecha de corte para obtener los datos del indicador será el último día del mes en curso. El periodo de medición será desde el 21 del mes anterior hasta el 20 del mes en curso. <p><i>La anterior consideración implica que se garantizan al menos 7 días hábiles para realizar la adecuada gestión de las órdenes de trabajo consideradas para el análisis de cumplimiento IPMP.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> El contraste de Ordenes de Trabajo se realizará a través de la transacción IW39, de donde se extraerán las ordenes generadas por un plan de mantenimiento (pueden ser Z1PM o Z3PM) Una orden de mantenimiento se categoriza como cumplida cuando su estado en SAP es CTEC (Cierre Técnico), pues en esta etapa ya cumplió con todo el ciclo PHVA de verificación de calidad de los trabajos. Para el primer año de medición del indicador (2020) se tomará como estado valido las OTs en estado OTEJ teniendo en cuenta que este estado aplica para las OTs con servicios asociados que han sido ejecutados y cuyo reporte previo haya sido recibido. Para las órdenes de larga duración (Marcadas como LD) o que tengan un tiempo de ejecución superior a una semana, se deben identificar como órdenes de trabajo "En Ejecución". Las ordenes de mantenimiento que no se hayan gestionado (identificadas en ejecución o cerrado dentro del periodo establecido) y cuenten con un análisis de riesgos, el cual se contempla en el formato HSE-F-100 (Formato de aplazamiento de equipos críticos), se podrá considerar como Aplazada. <p>El formato se debe anexar a la orden de mantenimiento. Estas órdenes afectarán la medición sin embargo su justificación estará soportada con el aplazamiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> Las ordenes de mantenimiento que no se hayan gestionado (identificadas en ejecución o cerrado dentro del periodo establecido) y no cuenten con un análisis de riesgos, se considerará como Vencida. Para el cumplimiento del programa las órdenes de mantenimiento que afectan el indicador serán las vencidas.
--	---

Frecuencia de Medición	Mensual			
Resultados a visualizar	Periodo	Acumulado al periodo	Año corrido (últimos 12 meses)	Otro
	X	X		

Alertas	En términos de CUMPLIMIENTO			
	Rangos	<90%	>=90% - <95%	>=95%
Clasificación del Indicador	<i>Eficacia</i>	<i>Eficiencia</i>	<i>Efectividad</i>	
	X			
Fecha de corte del indicador	El primer martes de cada mes con corte el último día del periodo programable inmediatamente anterior. El dato está sujeto a ajustes de acuerdo con la validación o verificación de soportes.			

Fuente: Extracto Hoja de vida del indicador Cumplimiento Programa IPMP industria de hidrocarburos

7.2 Análisis de la Información

7.2.1 Objetivo No 1

- Efectuar la descripción general del Motor Diesel del grupo electrógeno campo de Producción de Rubiales, su funcionamiento y partes constitutivas.

7.2.1.1 Función de generación distribuida- contexto operacional

7.2.1.1.1 Descripción general del Sistema de Pozos Productores

El propósito de los pozos productores y sus líneas / tuberías, es extraer y transportar los fluidos de pozos desde el yacimiento hasta la batería respectiva.

El sistema incluye los siguientes componentes:

- Unidades de bombeo pozos productores.
- Instrumentación asociada al x-tree.
- Líneas / tuberías de transporte de fluidos de pozos, desde la unidad de bombeo hasta el manifold de entrada a la respectiva batería.

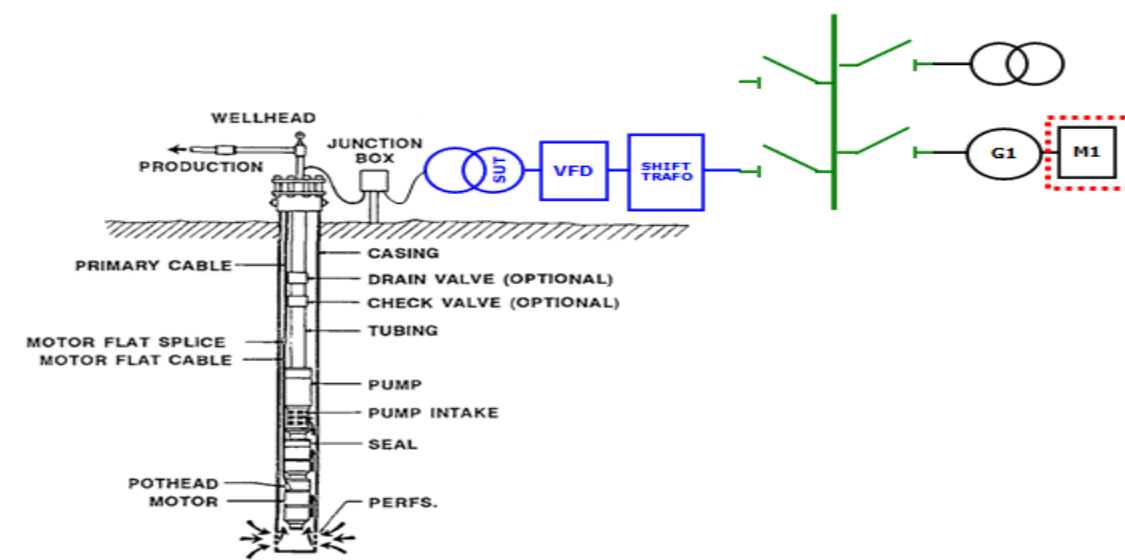
- Instrumentación, válvulas y demás accesorios de superficie, asociados al funcionamiento de los pozos productores, entre la unidad de bombeo y la entrada al manifold de la respectiva batería.
- Equipos para el suministro de energía eléctrica (Transformadores, variadores, grupo electrógenos, transferencias).

7.2.1.1.2 Descripción general del grupo de electrógenos del campo

Las unidades electrógenas tienen como función principal brindar un soporte eléctrico trifásico a todo el campo cuando se presentan fallas de red o servir de fuente de energía eléctrica a las locaciones donde aún no hay línea de transmisión cercana. Cuando los electrógenos sirven de soporte a la RED eléctrica, se busca minimizar el impacto causado por las fallas sobre pérdidas de producción.

Figura 9.

El presente análisis RCM tiene como alcance el motor de combustión interna diesel del sistema de pozos productores.



7.2.1.1.3 Motor de combustión interna diesel

Un motor de combustión interna se define como un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible (ACPM) que arde dentro de una cámara de combustión, donde posteriormente un conjunto móvil convierte un movimiento lineal en rotativo. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la propia máquina. También se conoce como motor a explosión o motor a pistón.

Figura 10.

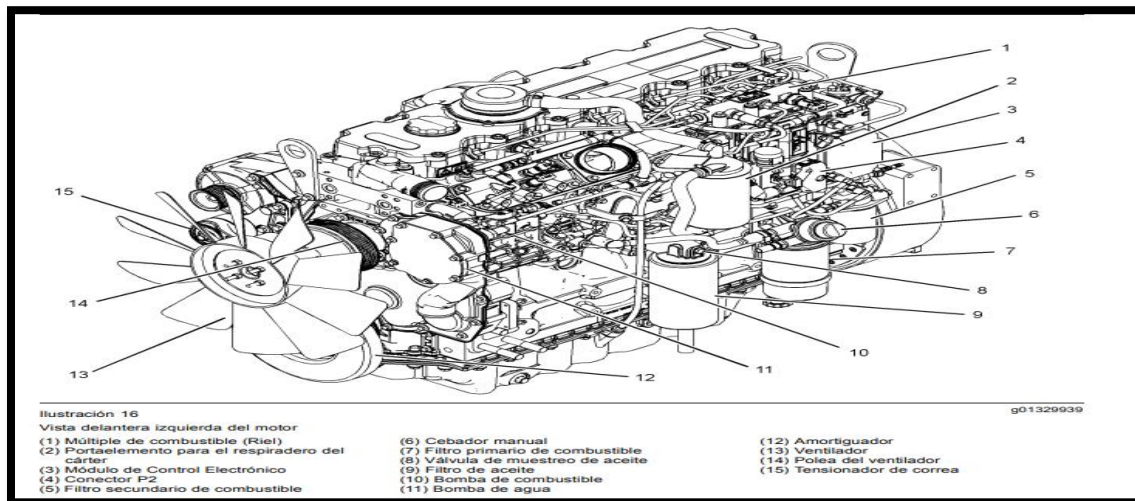
Generadores Perkins.



Fuente: autores.

Figura 11.

Despiece.

Fuente: *Manual de Operación y Mantenimiento Perkins 2506***Figura 12.**

Despiece.

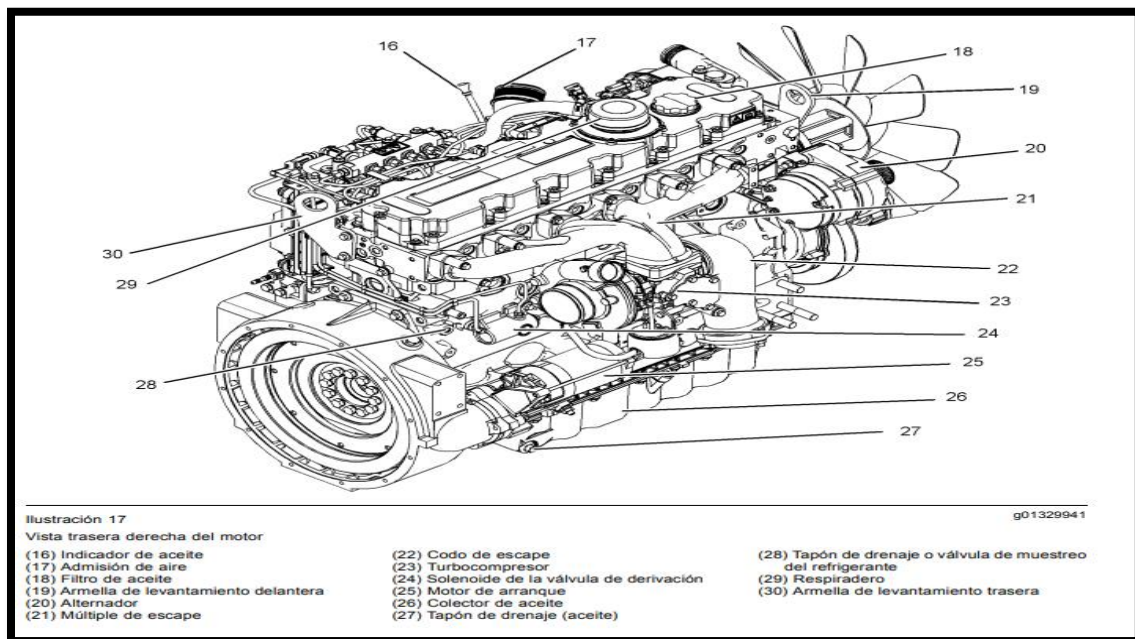
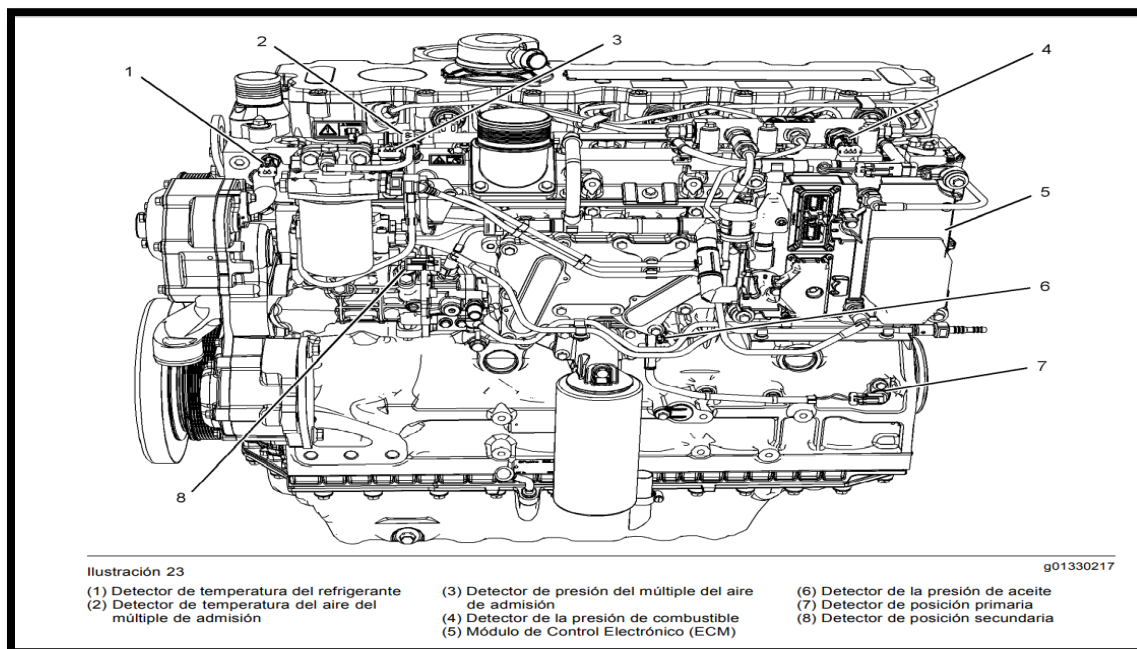
Fuente: *Manual de Operación y Mantenimiento Perkins 2506.*

Figura 13.

Despiece motor.



Fuente: *Manual de Operación y Mantenimiento Perkins 2506*


7.2.2 Objetivo No 2

- Diagnosticar cómo se está ejecutando el mantenimiento actual en el Motor Diésel del grupo electrógeno por medio de datos históricos en el campo de Producción de Rubiales.

El análisis de la información se realiza validando el plan de mantenimiento actual que se le está aplicando al equipo motor de generación eléctrica. De esta forma se logra identificar los puntos fuertes, falencias y oportunidades de mejora. En la actualidad el equipo es mantenido bajo las recomendaciones propias del fabricante.

Figura 14.

Manual del fabricante.

Mantenimiento Grupo Electrónico 2506	
	
Cuando sea necesario	
Batería - Reemplazar	
Batería o cable de la batería - Desconectar	
Motor - Limpiar	
Elemento del filtro de aire del motor (Elemento doble)	
Limpiar/reemplazar	
Elemento del filtro de aire del motor (elemento sencillo) - Inspeccionar/Reemplazar	
Muestra de aceite del motor - Obtener	
Sistema de combustible - Cebiar	
Aplicaciones de servicio severo - Comprobar	
Diariamente	
Nivel del refrigerante del sistema de enfriamiento - Comprobar	
Equipo impulsado - Comprobar	
Indicador de servicio del filtro de aire del motor - Inspeccionar	
Antefiltro de aire del motor - Comprobar/Limpiar	
Nivel de aceite del motor - Comprobar	
Filtro primario del sistema de combustible/Separador de agua - Drenar	
Inspección alrededor de la máquina	
Cada semana	
Correas del alternador y del ventilador - Inspeccionar	
Mangueras y abrazaderas - Inspeccionar/Reemplazar	
Cada 50 horas de servicio o cada semana	
Agua y sedimentos del tanque de combustible - Drenar	
Primeras 500 horas de servicio	
Luz de las válvulas del motor - Inspeccionar/Ajustar	
Cada 500 horas de servicio	
Espacio libre del ventilador - Comprobar	
Cada 500 Horas de Servicio o Cada Año	
Nivel del electrolito de la batería - Comprobar	
Aditivo de refrigerante suplementario (SCA) del sistema de enfriamiento - Comprobar/Añadir	
Respiradero del cárter (Lata) - Reemplazar	
Elemento del filtro de aire del motor (Elemento doble)	
Limpiar/reemplazar	
Elemento del filtro de aire del motor (elemento sencillo) - Inspeccionar/Reemplazar	
Aceite y filtro del motor - Cambiar	
Filtro primario del sistema de combustible (Separador de agua) - Reemplazar	
Filtro secundario del sistema de combustible - Reemplazar	
Radiador - Limpiar	
Cada 1000 horas de servicio	
Luz de las válvulas del motor - Inspeccionar/Ajustar	
Bomba de agua - Inspeccionar	
Cada 2000 horas de servicio	
Núcleo del posefriador - Inspeccionar	
Alternador - Inspeccionar	
Soportes del motor - Inspeccionar	
Motor de arranque - Inspeccionar	
Turbocompresor - Inspeccionar	
Cada 3000 Horas de Servicio	
Correas del alternador y del ventilador - Reemplazar	
Cada 3000 horas de servicio o cada 2 años	
Refrigerante del sistema de enfriamiento (Comercial de servicio pesado) - Cambiar	
Cada 4000 Horas de Servicio	
Núcleo del posefriador - Limpiar/Probar	
Cada 12.000 horas de servicio o 6 años	
Cambiar	
Refrigerante del sistema de enfriamiento (ELC) -	

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento Perkins 2506.

Figura 15.

Planes de mantenimiento.

Grupo	Equipo	Denominación de objeto técnico	Plan mant preventivo	Posición mantenim.	Descripción posición de mantenimiento
MTO	11125840	Motor Diesel Perkins GE-144	1106407	150190	PVO - Mecánico GE-144
MTO	11125840	Motor Diesel Perkins GE-144	1122837	174111	PVO - Mecánico GE-144
MTO	11125840	Motor Diesel Perkins GE-144	1130276	190700	PVO Parada Intermedia GE-144
MTO	11125840	Motor Diesel Perkins GE-144	1130291	191002	PVO Inspeccion Semanal GE-144

Fuente: Planes de mantenimiento: (Reportes IP18) SAP PM

Además, se analizan datos históricos e información que determinen con exactitud indicadores como confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad. El histórico de fallas que se presenta a continuación en la siguiente figura 12: Histórico de fallas planta de el al equipo motor

de generación eléctrica, se consolidó con la información suministrada por el área de mantenimiento y extraída del CMMS SAP.

De acuerdo con el histórico de fallas se evidencia que se han presentado ocho (8) fallas desde el año 2014 hasta el año 2017.

7.2.2.1 Falencias y puntos débiles

Existen varios puntos débiles sobre el plan de mantenimiento actual que se le está realizando el equipo Motor Perkins. Los cuales son:

- El mantenimiento preventivo del equipo es muy básico recomendado por el fabricante el cual no contempla las condiciones de operación del cada campo.
- El fabricante no propone tareas de mantenimiento predictivo.
- Las actividades para realizar en el mantenimiento son muy puntuales y no especifican en gran detalle cada una de las tareas que se deben ejecutar para hacer un seguimiento y un correcto cumplimiento de estas actividades.
- Solo se enfocan en componentes específicos dejando de lado otros elementos para un mantenimiento correctivo llevando a paradas por fallos.

7.2.2.2 Fortalezas, puntos fuertes

El mantenimiento preventivo actual se ha enfocado en las partes más grandes y críticas del equipo y al seguir con las recomendaciones inicialmente aplica a la garantía ofrecida del mismo.

7.2.2.3 Oportunidades de mejora

Analizar la estrategia de mantenimiento que mejor se adapta a instalación y la operación del campo con el objetivo de que al menos el 80% del mantenimiento sea preventivo y el 20%

correctivo, analizar componentes crítico que puedan generar parada y aumentar el tiempo promedio entre fallas que disminuye el cumplimiento de indicadores de confiabilidad del equipo.

7.2.2.4 Antecedentes

Las principales fallas que se pueden presentar en un motor diésel son:

- **Baja presión de compresión:** En ésta posible falla hace referencia a la demora del encendido, por lo cual la cantidad de combustible sin quemar es más de lo normal, una vez encendido, todo ese combustible se quema, generando humo blanco.
- **Inyección prematura del combustible:** Los combustibles se inyecta antes de que el aire tenga su debida temperatura, por lo que el combustible se demora en quemar, ocasionando que el encendido demore un poco.
- **Retardo de tiempos de la inyección de combustible:** El combustible no tiene el tiempo suficiente para su evaporación, por lo que el encendido se realiza cuando el pistón baja, fracasando la combustión por motivos de que la presión y la temperatura baja.
- **Baja presión en la inyección:** Cuando la presión es baja, el tamaño de las gotas de combustible es más grande, por lo que tarda en evaporarse, y por consecuencia tarda el encendido.
- **Inyección excesiva de combustible:** se carece la fusión del aire con el combustible, el combustible sin quemar genera carbón, el cual, una vez quemado crea humo negro. Como podemos observar las principales fallas de un motor a diésel son generadas por el mal funcionamiento de los inyectores de combustible, ya sea

inyección de combustible encarecido o en exceso, además de una mala presión en la cámara de combustión

- Kpi: Hoja de vida del indicador Cumplimiento Programa IPMP.

7.2.3 Objetivo No 3

- Analizar los resultados y realizar propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad que soporte el funcionamiento del Motor Diésel del grupo electrógeno.

7.2.3.1 Análisis RCM:

Posteriormente realizamos un análisis RCM a nuestro activo, el cual esta metodología ofrece un conjunto de tareas proactivas basadas en la confiabilidad y enfocada en mantener la funcionalidad deseada del equipo (Moubray, 2015). El cual nos facilita una buena planificación para que se pueda ejecutar de forma clara y concisa el mantenimiento preventivo al motor diésel Perkins de generación. En el cual aplicando esta herramienta para la propuesta se basó en:

- seleccionar primero el equipo a evaluar, aplicando la criticidad mencionada anteriormente, para poder desarrollar los objetivos operacionales.

7.3 Propuesta de solución

7.3.1 Taxonomía

Determinar la taxonomía del activo que se está analizando (Generador de energía en sistemas, subsistemas y componentes es de gran importancia ya que de esta forma podemos identificar más fácilmente los modos de fallas que aparecen frecuentemente. En la tabla N se puede observar la descomposición por componentes de la planta eléctrica llegando al nivel de detalle necesario para el Análisis de Modo de Falla y Efectos. Se realizó

de esta forma para identificar las principales fallas funcionales en cada uno de los componentes, a partir de ellos empezar a identificar los modos de falla, efectos y consecuencias correspondientemente.

Figura 16.

Motor Perkins 2506 MGD5310B110052X

SUBUNIDAD	EQUIPO
CONJUNTO MÓVIL	PISTONES
CONJUNTO MÓVIL	ANILLOS
CONJUNTO MÓVIL	BIELAS
CONJUNTO MÓVIL	BULONES
CONJUNTO MÓVIL	CIGÜEÑAL
CONJUNTO MÓVIL	CASQUETES (COJINETES)
CONJUNTO MÓVIL	EJE DE LEVAS
CONJUNTO MÓVIL	VÁLVULAS
CONJUNTO MÓVIL	BALANCINES
CONJUNTO MÓVIL	CADENA DE REPARTICIÓN
ELEMENTOS FIJOS	GENERAL
ELEMENTOS FIJOS	BLOQUE
ELEMENTOS FIJOS	CILINDROS (CAMISAS)
ELEMENTOS FIJOS	CULATA
ELEMENTOS FIJOS	CARTER
ELEMENTOS FIJOS	JUNTAS O EMPAQUES
SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	GENERAL
SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	BOMBA DE INYECCIÓN
SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	INYECTOR
SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	FILTROS DE COMBUSTIBLE
SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	TANQUE DE COMBUSTIBLE
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	GENERAL
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	ACEITE
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	BOMBA DE LUBRICACIÓN
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	FILTROS DE ACEITE
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	CIRCUITO DE LUBRICACIÓN
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	ENFRIADOR DE ACEITE LUBRICANTE
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	GENERAL
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	RADIADOR DEL MOTOR
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	TERMOSTATOS
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	VENTILADOR
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	BOMBA DE AGUA DE ALTA TEMPERATURA
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	TANQUE IGUALADOR
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	FILTROS DE REFRIGERANTE
SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	GENERAL
SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	TURBOCARGADOR
SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	POSTENFRIADORES DEL AIRE DE ADMISIÓN (INTERCOLER)
SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	FILTRO DE AIRE
SISTEMA DE ESCAPE DE GASES COMBUSTIÓN	GENERAL
SISTEMA DE ESCAPE DE GASES COMBUSTIÓN	MÚLTIPLE DE ESCAPE
SISTEMA DE ESCAPE DE GASES COMBUSTIÓN	EXOSTO
SISTEMA DE ARRANQUE	GENERAL

SUBUNIDAD	EQUIPO
SISTEMA DE ARRANQUE	MOTOR DE ARRANQUE
SISTEMA DE ARRANQUE	RELAY
SISTEMA DE ARRANQUE	BATERÍAS
SISTEMA DE ARRANQUE	CABLES DE ALTA
SISTEMA DE CARGA	GENERAL
SISTEMA DE CARGA	ALTERNADOR
SISTEMA DE CARGA	REGULADOR
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	GENERAL
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	MÓDULOS DE CONTROL ELECTRÓNICO (' ECM' o 'TARJETAS GOBERNADORAS')
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	VÁLVULA DE CONTROL
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	ACTUADOR DE RIEL
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	ACTUADORES DE SINCRONIZACIÓN
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	VÁLVULA DE CIERRE DE COMBUSTIBLE
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	SENSORES

Fuente: autores.

7.3.2 Matriz de criticidad por componente.

La matriz se utiliza para identificar que componentes Motor Diésel Perkins y Generador Eléctrico presentado un valor medio de criticidad a partir de la evaluación de la frecuencia vs consecuencia de cada uno. Con la ayuda de la taxonomía elaborada en la figura 3. y esta matriz de criticidad se logró identificar los componentes a los que se les debe prestar más atención. Se realiza la asignación de un código para identificar de manera precisa y rápida cada uno de los componentes.

Figura 17.

Matriz de criticidad.

Descripción nivel Riesgo		Rango valor de Riesgo		PROBABILIDAD							
Muy Alto		Valor de riesgo ≥ 24 (Máximo*80% = 30*80%)		No ha ocurrido en la industria (Raro <5%)		Ha ocurrido en la industria (Improbable 5% - 20%)		Ha ocurrido en la operación de nuestra Compañía (Posible 20% - 50%)		Ocurre varias veces al año en la Compañía (Probable 50% - 80%)	
Alto		Valor de riesgo ≥ 15 (Máximo*50% = 30*50%) y < 24		$\lambda (1/y) < 0,01$		$0,01 \leq \lambda (1/y) \leq 0,1$		$0,1 < \lambda (1/y) \leq 0,3$		$0,3 < \lambda (1/y) \leq 1$	
Medio		Valor de riesgo > 6 y < 15									
Bajo		Valor de riesgo ≤ 6 (Máximo*20% = 30*20%)									
CONSECUENCIAS											
PERSONAS		AMBIENTAL		ECONÓMICA		Nivel		1		2	
Más de 3 fatalidades	Daño ambiental con recuperación mayor a 5 años	Catastrófica \geq USD\$1 millón		6		6		12		18	
*Entre 1 y 3 fatalidades	Daño ambiental con recuperación entre 3 a 5 años	Grave \geq USD\$500mil Y < USD\$1 millón		5		5		10		15	
*Incapacidad permanente (Parcial o total)	Daño ambiental con recuperación entre 2 a 3 años	Severo \geq USD\$100mil Y < USD\$500mil		4		4		8		12	
Incapacidad temporal > 1 día	Daño ambiental con recuperación entre 1 a 2 años	Importante \geq USD\$10 mil Y < USD\$100mil		3		3		6		9	
Tratamientos médicos	Daño ambiental con recuperación menor a 1 año	Marginal < USD\$10mil		2		2		4		6	
Primeros auxilios	No hay afectación ambiental	Ninguna		1		1		2		3	
Ninguna Lesión											

Fuente: autores

7.3.3 CONSIDERACIONES ANÁLISIS DE MODO DE FALLA

Las siguientes consideraciones hacen parte de la metodología utilizada para la definición y análisis de los modos de falla durante los talleres de RCM.

- La definición de los modos de falla se ha basado en los criterios de la norma SAE y en las conclusiones obtenidas en el desarrollo de los Talleres.
- Según la norma SAE-JA1012 los modos de fallas pueden ser definidos en varios niveles de detalles según la causalidad, en el taller se analizaron los modos de falla hasta tres niveles considerados como suficientes para definir una estrategia adecuada de mantenimiento afectando la probabilidad de ocurrencia de dicha falla.
- Solo se analizarán los modos de fallas hasta tres niveles, lo cual es suficiente para resumir las causas de una falla y permite identificar la política apropiada para el manejo de dicha falla.

- El análisis de falla se realizará en el equipo, subdividiendo el activo en sus componentes principales para luego listar la falla de cada componente como un modo de falla para luego y según la causalidad listar los modos de falla en un nivel 3.
- Se tiene en cuenta los modos de falla que tienen posibilidades razonables de ocurrir en el contexto operacional (Fallas que han ocurrido, modos de fallas que ya son objeto de rutinas de mantenimiento y modos de fallas que no hayan ocurrido todavía pero que tienen posibilidades reales de suceder).
- Se tiene en cuenta los modos de falla que tienen una probabilidad baja de ocurrencia pero que generen unas consecuencias realmente severas.
- La fuente de información de los modos de fallas es tomada del fabricante o proveedor de los equipos, listas genéricas de modos de fallas de activos idénticos ya analizados e información de las personas que operan y mantienen los equipos.

7.3.4 ANÁLISIS DE MODO DE FALLA

Para realizar la identificación de los modos de fallas, efectos y causas se identificó cada una de las funciones principales de los componentes que hacen parte de los subsistemas y sistemas que se definieron para el equipo Motor Perkins.

7.3.4.1 Componentes y Función principal

7.3.4.1.1 Función principal

Transformar la energía térmica precedente del combustible en energía mecánica rotacional.

7.3.4.1.2 Funciones Secundarias.

Tabla 3.

SUBUNIDAD	EQUIPO	FUNCIÓN
CONJUNTO MÓVIL	GENERAL	Convertir la energía térmica generada por el combustible en potencia mecánica de un movimiento rotacional
CONJUNTO MÓVIL	PISTONES	Constituir la pared móvil de la cámara de combustión, transmitiendo la energía de los gases de la combustión a la biela mediante un movimiento alternativo dentro del cilindro
CONJUNTO MÓVIL	ANILLOS	* Sellar herméticamente la cámara de combustión / expansión * Colaborar en la transferencia de calor desde el pistón a la pared del cilindro * Regular el consumo de aceite del motor
CONJUNTO MÓVIL	BIELAS	Recibir el impulso motriz rectilíneo del pistón y transmitirlo al cigüeñal
CONJUNTO MÓVIL	BULONES	Transmitir el movimiento rectilíneo del pistón a las bielas
CONJUNTO MÓVIL	CIGÜEÑAL	Recibir el impulso motriz de las bielas y transformarlo en energía rotacional
CONJUNTO MÓVIL	CASQUETES (COJINETES)	Servir de apoyo y pieza de desgaste entre las bielas y el cigüeñal
CONJUNTO MÓVIL	EJE DE LEVAS	Abrir y cerrar las válvulas de admisión y escape por medio de un movimiento rotacional
CONJUNTO MÓVIL	VÁLVULAS	* Permitir el ingreso de aire de combustión * Permitir la salida de los gases de combustión
CONJUNTO MÓVIL	BALANCINES	Transmitir el movimiento del eje de levas a las válvulas
CONJUNTO MÓVIL	CADENA DE REPARTICIÓN	Acoplar el movimiento rotacional del cigüeñal con el eje de levas
ELEMENTOS FIJOS	GENERAL	Alojar, sujetar o sellar los componentes del motor
ELEMENTOS FIJOS	BLOQUE	Alojar y sujetar todos los componentes del motor
ELEMENTOS FIJOS	CILINDROS (CAMISAS)	Alojar los pistones y servir de cámara de combustión
ELEMENTOS FIJOS	CULATA	* Brindar cierre a los cilindros y/o cámaras de combustión. * Soportar válvulas, balancines e inyectores del motor.
ELEMENTOS FIJOS	CARTER	Servir de depósito de aceite lubricante al motor
ELEMENTOS FIJOS	JUNTAS O EMPAQUES	Hacer cierre estanco entre dos puntos del motor
SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	GENERAL	Suministrar al motor el combustible necesario para su funcionamiento
SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	BOMBA DE INYECCIÓN	Empujar y elevar la presión del combustible
SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	INYECTOR	Introducir una determinada cantidad de combustible en la cámara de combustión en forma pulverizada, distribuyéndolo homogéneamente
SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	FILTROS DE COMBUSTIBLE	Retener las impurezas presentes en combustible ACPM
SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	TANQUE DE COMBUSTIBLE	Almacenar de forma segura el combustible
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	GENERAL	Mantener lubricadas todas las piezas móviles del motor y servir como medio refrigerante
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	ACEITE	* Lubricar las piezas móviles del motor * Servir como medio refrigerante * Remover las impurezas de las zonas lubricadas * Proteger el motor del desgaste
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	BOMBA DE LUBRICACIÓN	Bombear aceite para lubricar las partes móviles del motor
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	FILTROS DE ACEITE	Retener las impurezas presentes en el aceite del motor

SUBUNIDAD	EQUIPO	FUNCIÓN
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	CIRCUITO DE LUBRICACIÓN	Guiar a través del motor el aceite lubricante
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN	Controlar las variaciones constantes de presión
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	ENFRIADOR DE ACEITE LUBRICANTE	Mantener una regulación precisa de la temperatura del aceite
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	GENERAL	Reducir y mantener la temperatura del motor, aire de admisión y aceite dentro de los rangos de operación por medio de la transferencia de calor forzada
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	RADIADOR DEL MOTOR	Intercambiar el calor producido por el motor para reducir su temperatura, al hacer pasar aire forzado por los tubos de ventilación que contienen agua de refrigeración
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	TERMOSTATOS	Abrir y cerrar el paso de agua de los circuitos de refrigeración para mantener el motor y el aire de admisión en el rango normal de trabajo
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	VENTILADOR	Empujar aire forzado a través del radiador
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	BOMBA DE AGUA DE ALTA TEMPERATURA	Hacer circular el refrigerante a través del bloque del motor y el exterior de los cilindros
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	TANQUE IGUALADOR	* Reducir la turbulencia de los circuitos de refrigeración por medio de deflectores. * Mezclar en pequeñas cantidades el refrigerante de los dos circuitos
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O REFRIGERACIÓN	FILTROS DE REFRIGERANTE	Retener las impurezas presentes en el agua de refrigeración
SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	GENERAL	Suministrar grandes cantidades de aire limpio al motor
SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	TURBOCARGADOR	Empujar de manera forzada aire limpio al motor para aumentar su potencia
SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	POSTENFRIADORES DEL AIRE DE ADMISIÓN (INTERCOLER)	Reducir la temperatura del aire de admisión
SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	FILTRO DE AIRE	Retener las impurezas presentes en el aire de admisión
SISTEMA DE ESCAPE DE GASES COMBUSTIÓN	GENERAL	* Evacuar al ambiente los gases de combustión * Mover el turbocargador de motor
SISTEMA DE ESCAPE DE GASES COMBUSTIÓN	MÚLTIPLE DE ESCAPE	Guiar los gases de combustión desde el puerto de escape hasta el exosto
SISTEMA DE ESCAPE DE GASES COMBUSTIÓN	EXOSTO	* Guiar los gases de escape desde el múltiple hasta el ambiente * Reducir considerablemente el nivel de ruido de las cámaras de combustión del motor
SISTEMA DE ARRANQUE	GENERAL	Vencer el estado de reposo del motor de combustión
SISTEMA DE ARRANQUE	MOTOR DE ARRANQUE	Transformar energía eléctrica en energía mecánica para mover el conjunto móvil del motor
SISTEMA DE ARRANQUE	RELAY	Abrir o cerrar el paso de energía eléctrica al motor de arranque
SISTEMA DE ARRANQUE	BATERÍAS	Almacenar y suministrar carga eléctrica en forma de tensión directa de 24 VDC
SISTEMA DE ARRANQUE	CABLES DE ALTA	Servir como medio de transmisión de la corriente eléctrica
SISTEMA DE CARGA	GENERAL	* Generar energía eléctrica para operar los sistemas eléctricos y electrónicos del electrógeno * Generar corriente eléctrica para recargar la batería del vehículo
SISTEMA DE CARGA	ALTERNADOR	Producir energía eléctrica DC mediante inducción electromagnética a partir del movimiento del Motor
SISTEMA DE CARGA	REGULADOR	Mantener un nivel de tensión constante DC para alimentar la batería

SUBUNIDAD	EQUIPO	FUNCIÓN
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	GENERAL	Mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga, garantizando eficiencia en la combustión y monitoreando variables del motor
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	MÓDULOS DE CONTROL ELECTRÓNICO (' ECM' o 'TARJETAS GOBERNADORAS')	Regular la velocidad del motor para mantener la frecuencia de salida del generador en 60 Hz, de acuerdo con las variaciones de la carga
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	MÓDULOS DE CONTROL ELECTRÓNICO (' ECM' o 'TARJETAS GOBERNADORAS')	Optimizar la inyección de combustible para mejorar la eficiencia de la combustión
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	MÓDULOS DE CONTROL ELECTRÓNICO (' ECM' o 'TARJETAS GOBERNADORAS')	Controlar los solenoides de inyección del motor
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	VÁLVULA DE CONTROL	Regular el paso de combustible a los inyectores por medio de un solenoide
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	ACTUADOR DE RIEL	Regular el paso de combustible a los inyectores
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	ACTUADORES DE SINCRONIZACIÓN	Sincronizar la cantidad óptima de combustible para mejorar la eficiencia de la combustión
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	VÁLVULA DE CIERRE DE COMBUSTIBLE	Cerrar el paso de combustible
SISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	SENSORES	Monitorear las variables del motor tales como: Presión de aceite, velocidad motor, presión de sincronización, presión barométrica, temperatura del combustible, presión del riel, paso de gases al cárter, nivel de aceite, temperatura de aceite, presión del refrigerante, temperatura del múltiple de admisión, presión del múltiple de admisión, temperatura del refrigerante

Fuente: Autores.

7.3.5 Fallas funcionales y Modos de falla.

Una vez obtenidas las funciones principales de cada uno de los componentes es más fácil identificar la falla funcional. No se tienen en cuenta fallas potenciales ya que cuando se lleva al límite se tienen que recurrir a tareas de sustitución cíclica inmediatamente.

El modo de falla se define como el evento que origina la pérdida de la función (total o parcial). Pueden ser debidos a agentes externos o desgastes en el mantenimiento del equipo (corrosión, erosión, suciedad, abrasión, lubricación inadecuada, ensamble incorrecto).

El modo de falla también se puede deber a una incorrecta operación o el empleo de materiales incorrectos en la fabricación.

7.3.5.1 Análisis Modos de Falla y Efectos.

A continuación, se muestra un ejemplo de fallas funcionales para los equipos del sistema de admisión de aire.

Tabla 4.

sistema de admisión de aire.

SUBUNIDAD 1	SUBUNIDAD 2	EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL
MOTOR DIESEL	SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	FILTRO DE AIRE	Retener las impurezas presentes en el aire de admisión	No retención de las impurezas presentes en el aire de admisión
MOTOR DIESEL	SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	FILTRO DE AIRE	Retener las impurezas presentes en el aire de admisión	No retención de las impurezas presentes en el aire de admisión
MOTOR DIESEL	SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	GENERAL	Suministrar grandes cantidades de aire limpio al motor	Bajo flujo de aire limpio al motor
MOTOR DIESEL	SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	TURBOCARGADOR	Empujar de manera forzada aire limpio al motor para aumentar su potencia	No suministro de la cantidad requerida de aire de admisión
MOTOR DIESEL	SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	TURBOCARGADOR	Empujar de manera forzada aire limpio al motor para aumentar su potencia	No suministro de la cantidad requerida de aire de admisión

Nota: Ver análisis de todos los modos, efectos de falla y consecuencias en el archivo en Excel “Análisis RCM - Motor Combustión Perkins”

Fuente: autores.

El análisis de modos de fallas y efectos FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) es un método utilizado para prevenir fallas y analizar los riesgos de un proceso mediante la identificación de causas y efectos a fin de determinar las acciones que se utilizaran para inhibir las fallas.

A continuación, se muestra un ejemplo del análisis de causas, modos, efectos de falla y consecuencias para los equipos del sistema de admisión de aire.

Tabla 5.

EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	CAUSAS DE FALLA	MODOS DE FALLA	EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLA
FILTRO DE AIRE	Retener las impurezas presentes en el aire de admisión	No retención de las impurezas presentes en el aire de admisión	Filtros de aire saturados	<ul style="list-style-type: none"> Baja eficiencia de la combustión Velocidad del motor no permanece constante 	<p>Perdida de eficiencia del turbocargador - El combustible suministrado no posee las condiciones ideales para la combustión - Baja eficiencia de la combustión - Velocidad del motor no permanece constante - Frecuencia de salida no permanece constante - Calidad de energía no eficiente - Perdida de generación/Alto consumo de combustible</p>
FILTRO DE AIRE	Retener las impurezas presentes en el aire de admisión	No retención de las impurezas presentes en el aire de admisión	Cumplimiento vida útil de Filtro de aire	<ul style="list-style-type: none"> Baja eficiencia de la combustión Velocidad del motor no permanece constante 	<p>Perdida de eficiencia del turbocargador - El combustible suministrado no posee las condiciones ideales para la combustión - Baja eficiencia de la combustión - Velocidad del motor no permanece constante - Frecuencia de salida no permanece constante - Calidad de energía no eficiente - Perdida de generación/Alto consumo de combustible</p>
GENERAL	Suministrar grandes cantidades de aire limpio al motor	Bajo flujo de aire limpio al motor	Falla de las tuberías de admisión de aire	<ul style="list-style-type: none"> Baja eficiencia de la combustión Velocidad del motor no permanece constante 	<p>El combustible suministrado no posee las condiciones ideales para la combustión - Baja eficiencia de la combustión - Velocidad del motor no permanece constante - Frecuencia de salida no permanece constante - Calidad de energía no eficiente - Perdida de generación/Alto consumo de combustible</p>
TURBOCARGADOR	Empujar de manera forzada aire limpio al motor para aumentar su potencia	No suministro de la cantidad requerida de aire de admisión	Falla del turbocargador	<ul style="list-style-type: none"> Baja eficiencia de la combustión Velocidad del motor no permanece constante 	<p>El combustible suministrado no posee las condiciones ideales para la combustión - Baja eficiencia de la combustión - Velocidad del motor no permanece constante - Frecuencia de salida no permanece constante - Calidad de energía no eficiente - Perdida de generación/Alto consumo de combustible</p>

Nota: Ver análisis de todos los modos, efectos de falla y consecuencias en el archivo en Excel “Análisis RCM - Motor Combustión Perkins”

Fuente: autores.

7.3.6 Evaluación de consecuencias de la falla.

Cada uno de los modos de fallas evidenciadas anteriormente puede ocasionar diferentes tipos de consecuencias. Pueden ser consecuencias ocultas, operacionales, no operacionales, de seguridad y medio ambiente. Es importante determinarlas ya que a partir de ellas se van a seleccionar las tareas en la hoja de decisión para la propuesta.

7.3.6.1 Análisis de riesgos no mitigados (Criticidad)

Matriz de Evaluación de Riesgos (RAM)

Descripción nivel Riesgo		Rango valor de Riesgo		PROBABILIDAD				
Muy Alto		Valor de riesgo ≥ 24 (Máximo*80% = 30*80%)		No ha ocurrido en la industria (Raro <5%)	Ha ocurrido en la industria (Improbable 5% - 20%)	Ha ocurrido en la operación de nuestra Compañía (Posible 20% - 50%)	Ocurre varias veces al año en la operación en la Compañía (Probable 50% - 80%)	Ocurre varias veces al año en el sitio en la Compañía (Con certeza >80%)
Alto		Valor de riesgo ≥ 15 (Máximo*50% = 30*50%) y < 24		$\lambda (1/\gamma) < 0,01$	$0,01 \leq \lambda (1/\gamma) \leq 0,1$	$0,1 < \lambda (1/\gamma) < 0,3$	$0,3 < \lambda (1/\gamma) \leq 1$	$\lambda (1/\gamma) > 1$
Medio		Valor de riesgo > 6 y < 15		CONSECUENCIAS				
Bajo		Valor de riesgo ≤ 6 (Máximo*20% = 30*20%)		PERSONAS	AMBIENTAL	ECONÓMICA	Nivel	
Más de 3 fatalidades	Daño ambiental con recuperación mayor a 5 años	Catastrófica \geq USD\$1 millón	6	1	2	3	4	5
*Entre 1 y 3 fatalidades *Incapacidad permanente (Parcial o total)	Daño ambiental con recuperación entre 3 a 5 años	Grave \geq USD\$500mil Y < USD\$1 millón	5	6	12	18	24	30
Incapacidad temporal > 1 día	Daño ambiental con recuperación entre 2 a 3 años	Severo \geq USD\$100mil Y < USD\$500mil	4	5	10	15	20	25
Tratamientos médicos	Daño ambiental con recuperación entre 1 a 2 años	Importante \geq USD\$10 mil Y < USD\$100mil	3	4	8	12	16	20
Primeros auxilios	Daño ambiental con recuperación menor a 1 año	Marginal < USD\$10mil	2	3	6	9	12	15
Ninguna Lesión	No hay afectación ambiental	Ninguna	1	2	4	6	8	10
				1	2	3	4	5

A continuación, se muestra un ejemplo del análisis de riesgos no mitigado para un modo y causa de falla Baja eficiencia de la combustión por Filtros de aire saturados.

Nota: Ver análisis de riesgos de todos los modos y causas de falla en el archivo en Excel “Análisis RCM - Motor Combustión Perkins”.

Tabla 6.

SUBUNIDAD		EQUIPO	
SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE		FILTRO DE AIRE	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	
Retener las impurezas presentes en el aire de admisión		No retención de las impurezas presentes en el aire de admisión	
CAUSAS DE FALLA	MODOS DE FALLA	EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLA	
Filtros de aire saturados	<ul style="list-style-type: none"> Baja eficiencia de la combustión Velocidad del motor no permanece constante 	Pérdida de eficiencia del turbocargador - El combustible suministrado no posee las condiciones ideales para la combustión - Baja eficiencia de la combustión - Velocidad del motor no permanece constante - Frecuencia de salida no permanece constante - Calidad de energía no eficiente - Pérdida de generación/Alto consumo de combustible	

Figura 18.

RIESGO NO MITIGADO (RNM)																		
EVALUACIÓN PROBABILIDAD				EVALUACIÓN CONSECUENCIAS														
				PERSONAS		AMBIENTAL		ECONÓMICA										
				PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN														
DESCRIPCIÓN PROBABILIDAD RNM	Rango λ (1/y)	VALOR PR RNM	λ (1/y)	DESCRIPCIÓN NIVELES DE GRAVEDAD - CO PE - RNM	VALOR CO PE - RNM	DESCRIPCIÓN NIVELES DE GRAVEDAD - CO AM - RNM	VALOR CO AM - RNM	Tiempo de Indisponibilidad (h)	COSTO PRODUCCIÓN (USD\$)	COSTO DAÑO DE EQUIPOS (USD\$)	OTROS COSTOS (USD\$)	COSTO TOTAL (USD\$)	VALOR COEC - RNM	Nivel CO Máx - RNM	Valor Riesgo NM	Nivel Riesgo NM	CONSECUENCIA FINANCIERA (\$USD ¹)	Riesgo No Mitigado (\$USD ¹)
Ocorre varias veces al año en la operación en la Compañía (Probable 50% - 80%)	0,3 < λ (1/y) <= 1	4	0,50	Ninguna Lesión	1	No hay afectación ambiental	1	24,0	36.000	\$ -	3.514	\$ 38.514	3	3	12	Medio	\$ 38.514	13.257

7.3.7 Tareas de mantenimiento

Una tarea de mantenimiento es una lista de acciones preventivas que deben realizarse en un equipo. Se realiza a intervalos regulares y garantiza el cumplimiento de los controles obligatorios y reglamentarios.

A continuación, se muestra un ejemplo de la definición de la tarea para un modo y causa de falla “Baja eficiencia de la combustión por Filtros de aire saturados”

Nota: Ver la definición de todas las tareas en el archivo en Excel “Análisis RCM - Motor Combustión Perkins”.

Tabla 7.

SUBUNIDAD		EQUIPO
SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE		FILTRO DE AIRE
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL
Retener las impurezas presentes en el aire de admisión		No retención de las impurezas presentes en el aire de admisión
CAUSAS DE FALLA	MODOS DE FALLA	EFFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLA
Filtros de aire saturados	<ul style="list-style-type: none"> Baja eficiencia de la combustión Velocidad del motor no permanece constante 	Perdida de eficiencia del turbocargador - El combustible suministrado no posee las condiciones ideales para la combustión - Baja eficiencia de la combustión - Velocidad del motor no permanece constante - Frecuencia de salida no permanece constante - Calidad de energía no eficiente - Perdida de generación/Alto consumo de combustible

Figura 19.

Diagrama de decisión.

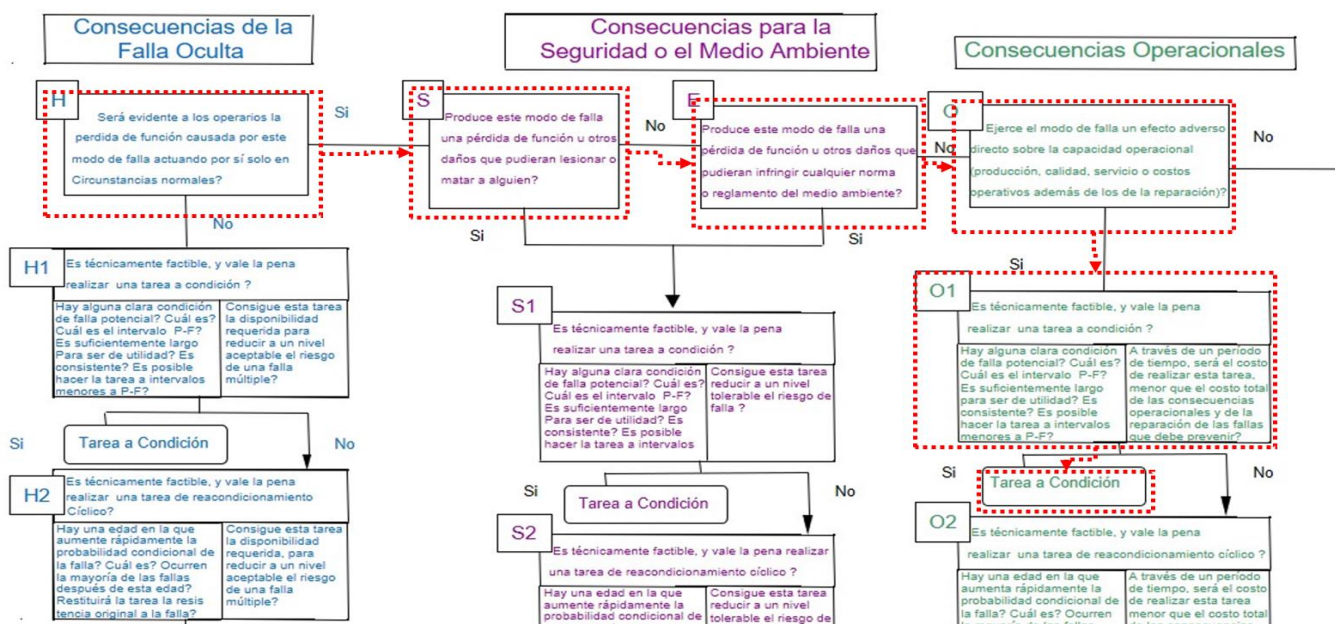


Figura 20.

RESPUESTAS DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM									
Evaluación de las consecuencias				Tareas A Condición y Preventivas			Tareas "a falta de"		
H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4
SI	NO	NO	SI	SI					

7.3.7.1 Tarea a condición:

Verificar y/o Revisar el Filtro de Aire:

- Estado del filtro de aire.
- Si el motor tiene indicador mecánico verifique su estado
- De ser necesario cambie el filtro

Figura 21.

Tipo de Tarea	Rutina	Intervalo (Días)	Especialidad	Duración Tarea Año (hr)	tiempo: parada equipo	Estado Unidad Funcional	Costo HH Anual (\$USD)	Repuestos	Cantidad Repuestos Anual	Costo Repuesto Anual (\$USD)	Costo Mantenimiento Anual (\$USD)	Costo perdida producción por indisponibilidad anual
Inspección	Semanal	7,0	Técnico Mecánico	2,6	0:00:00	ON	\$ 6,8	NO	0	\$ 0,0	\$ 6,8	\$ 0,0

7.3.7.2 Evaluación del riesgo residual y beneficio de la tarea

A continuación, se muestra un ejemplo de la evaluación del riesgo residual y beneficio para una tarea.

Nota: Ver la evaluación del riesgo residual y beneficios de todas tareas en el archivo en Excel “Análisis RCM - Motor Combustión Perkins”

Tabla 8.

SUBUNIDAD		EQUIPO
SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE		FILTRO DE AIRE
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL
Retener las impurezas presentes en el aire de admisión		No retención de las impurezas presentes en el aire de admisión
CAUSAS DE FALLA	MODOS DE FALLA	EFFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLA

Filtros de aire saturados	<ul style="list-style-type: none"> Baja eficiencia de la combustión Velocidad del motor no permanece constante 	Perdida de eficiencia del turbocargador - El combustible suministrado no posee las condiciones ideales para la combustión - Baja eficiencia de la combustión - Velocidad del motor no permanece constante - Frecuencia de salida no permanece constante - Calidad de energía no eficiente - Perdida de generación/Alto consumo de combustible
---------------------------	--	---

7.3.7.2.1 Tarea a condición:

Verificar y/o Revisar el Filtro de Aire:

- Estado del filtro de aire.
- Si el motor tiene indicador mecánico verifique su estado
- De ser necesario cambie el filtro

Figura 22.

Tipo de Tarea	Rutina	Intervalo (Días)	Especialidad	Duración Tarea Año (hr)	horas: minutos: segundos para equipo	Estado Unidad Funcional	Costo HH Anual (\$USD)	Repuestos	Cantidad Repuestos Anual	Costo Repuesto Anual (\$USD)	Costo Mantenimiento Anual (\$USD)	Costo perdida producción por indisponibilidad anual
Inspección	Semanal	7,0	Técnico Mecánico	2,6	0:00:00	ON	\$ 6,8	NO	0	\$ 0,0	\$ 6,8	\$ 0,0

Figura 23.

RIESGO RESIDUAL (RR)											
EVALUACIÓN PROBABILIDAD				EVALUACIÓN CONSECUENCIAS							
DESCRIPCIÓN PROBABILIDAD RR	Rango λ (1/y)	VALOR PR RR	λ (1/y)	Nivel Consecuencia RR	Valor Riesgo RR	Nivel Riesgo RR	CONSECUENCIA FINANCIERA RR (\$USD)	Riesgo Residual (\$USD/y)	Riesgo Mitigado (\$USD/y)	Beneficio Tarea (\$USD/y)	Tarea Costo Efectiva
Ha ocurrido en la operación de nuestra Compañía (Posible 20% - 50%)	$0,1 < \lambda (1/y) \leq 0,3$	3	0,20	3	3	Medio	\$ 38.514	7.703	11.554	11.547	SI

7.3.8 Plan de mantenimiento

7.3.8.1 Tareas especialidad mecánica

La estrategia de mantenimiento para el motor de combustión Perkins de la especialidad mecánica tiene tareas semanales, 300 H y 6000 H.

7.3.8.1.1 Tareas especialidad mecánica – Semanal.

Tabla 9.

Descripción de la Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Duración Tarea PMA ([h]:mm:ss)	Personas Requeridas	Duración Tarea Año (hr)	Horas Hombre-Anual	h:mm:ss parada equipo	Estado Unidad Funcional
Verificar y/o Revisar el Estado desfogue del cárter	Inspección	0:01	1	0,9	0,9	0:00:00	ON
Verificar que no se presenten fugas de aceite, combustible y/o refrigerante	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar: <ul style="list-style-type: none"> • Ruido del motor • Revoluciones por minuto "RPM" • Estado de limpieza del motor • Verifique y diagnostique si el motor necesita limpieza • De ser necesario programe el lavado a vapor del electrógeno por condición 	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar el Filtro de Aire: <ul style="list-style-type: none"> • Estado del filtro de aire. • Si el motor tiene indicador mecánico verifique su estado también. • De ser necesario cambie el filtro 	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar las Tuberías de admisión de aire: <ul style="list-style-type: none"> • Estado mangueras y abrazaderas. Ver que no haya grietas, soltura o perforaciones. • Apriete o reemplace partes, según sea necesario. • Revise si hay corrosión de la tubería del sistema de admisión, debajo de las abrazaderas y mangueras. • Desensamble y limpie según se requiera. 	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar: Medir Temperatura del turbo con la pistola laser	Inspección	0:01	1	0,9	0,9	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar: Temperatura de refrigerante y motor	Inspección	0:01	1	0,9	0,9	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar el Nivel de Refrigerante, reponga nivel.	Inspección	0:01	1	0,9	0,9	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar el Estado del radiador principal: <ul style="list-style-type: none"> • Revise el estado de limpieza de los radiadores y/o todo el conjunto electrógeno • De ser necesario programe el lavado de los radiadores según condición • Revise estado de fugas o daños 	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar correas: <ul style="list-style-type: none"> • Ver que no haya correas agrietadas o defectuosas. • Verifique tensión. • Verifique alineación. • De ser necesario ajuste o reemplace 	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:03:00	OFF

Descripción de la Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Duración Tarea PMA ([h]:mm:ss)	Personas Requeridas	Duración Tarea Año (hr)	Horas Hombre-Anual	h:mm:ss parada equipo	Estado Unidad Funcional
Verificar y/o Revisar el estado del ventilador: • Revise que las aspas del ventilador no estén dobladas, flojas, con remaches en mal estado, rotas o defectuosas	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:03:00	OFF
Verificar y/o Revisar: • Estado Sistema de escape de gases: Verifique estado de las tuberías de escape de gases, exosto, juntas y recubrimiento térmico • Medir la temperatura del exosto	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar filtros de combustible: • Drene el agua y los sedimentos a través del separador del filtro de combustible. • Verifique el sensor mecánico del filtro si lo tiene	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:03:00	OFF
Verificar y/o Revisar coloración del Humo de Escape, si se presenta coloración blanca, azul, muy oscura o con exceso de material particulado	Inspección	0:01	1	0,9	0,9	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar la Temperatura del combustible	Inspección	0:01	1	0,9	0,9	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar: Presión de Aceite, Temperatura del Aceite	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar el nivel de aceite, reponga los niveles de ser necesario.	Inspección	0:01	1	0,9	0,9	0:01:00	OFF

Fuente: autores.

7.3.8.1.2 Tareas especialidad mecánica – 300 H

Tabla 10.

Descripción de la Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Duración Tarea PMA ([h]:mm:ss)	Personas Requeridas	Duración Tarea Año (hr)	Horas Hombre-Anual	h:mm:ss parada equipo	Estado Unidad Funcional
Cambiar el filtro de aire	Preventivo	0:30	1	14,4	14,6	0:30:00	OFF
Cambiar el filtro de refrigerante	Preventivo	0:30	1	14,4	14,6	0:30:00	OFF
Engrasar rodamientos del tensor de correas del ventilador principal	Preventivo	0:30	1	14,4	14,6	0:30:00	OFF
Cambiar el filtros de combustible	Preventivo	0:30	1	14,4	14,6	0:30:00	OFF
Toma de muestra de aceite lubricante usado	Inspección	0:15	1	7,2	7,3	0:15:00	OFF
Cambiar el aceite Lubricante	Preventivo	0:30	1	14,4	14,6	0:30:00	OFF
Cambiar el filtro de aceite	Preventivo	0:30	1	14,4	14,6	0:30:00	OFF

7.3.8.1.3 Tareas especialidad mecánica – 6000 H

Tabla 11.

Descripción de la Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Duración Tarea PMA ([h]:mm:ss)	Personas Requeridas	Duración Tarea Año (hr)	Horas Hombre-Anual	h:mm:ss parada equipo	Estado Unidad Funcional
Turbocargador: <ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar las aspas de impulsor, verifique su estado, que giren libremente • Medir desplazamiento radial y axial del turbocargador • Si encuentra daños reporte al departamento de mantenimiento • Verificar torque de pernos • Cambiar según condición 	Inspección	1:00	2	1,0	2,9	1:00:00	OFF
Bomba de Agua: <ul style="list-style-type: none"> • Verificar estado de sellos mecánicos • Revisar impulsores y carcazas • Revisar tubos de derivación por fuga de refrigerante o de aceite • Revise el orificio de derrame de las bombas de agua por fuga excesiva • En caso de que las bombas o sus partes estén en mal estado se recomienda cambiarlas por otras en buen estado y repararlas en el taller 	Preventivo	1:30	2	1,5	4,4	1:30:00	OFF
Cambiar el refrigerante	Preventivo	1:00	1	1,0	1,5	1:00:00	OFF
Limpiar internamente el sistema de enfriamiento	Preventivo	1:00	2	1,0	2,9	1:00:00	OFF
Reemplazar la correa del ventilador	Preventivo	1:00	1	1,0	1,5	1:00:00	OFF
Ventilador principal: <ul style="list-style-type: none"> • Inspeccione el ensamble de brazo loco del mando de ventilador por grietas, tornillos rotos. • Conjunto de Polea Loca del Mando de Ventilador: Mida, verifique y ajuste correctamente la tensión de la correa. • Cubo del ventilador: Verificar los valores axiales y radiales según fabricante. Si los valores esté por fuera del rango cambiar rodamientos o toda la pieza 	Preventivo	1:00	2	1,0	2,9	1:00:00	OFF
Exosto: Inspeccionar y ajustar los soportes, abrazaderas, junta flexible y aislamiento térmico del exhosto	Inspección	0:30	2	0,5	1,5	0:30:00	OFF

7.3.8.2 Tareas especialidad electricidad

La estrategia de mantenimiento para el motor de combustión Perkins de la especialidad electricidad tiene tareas semanales, 300 H, 3000 H y 6000 H.

7.3.8.2.1 Tareas especialidad electricidad – Semanal.

Tabla 12.

Descripción de la Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Duración Tarea PMA ([h]:mm:ss)	Personas Requeridas	Duración Tarea Año (hr)	Horas Hombre-Anual	h:mm:ss parada equipo	Estado Unidad Funcional
Verificar y/o Revisar el estado de baterías: <ul style="list-style-type: none"> • Verificar estado físico de cableado, bornes • Nivel de electrolito y carga de las baterías • Verifique y registre tensión de las mismas • Medir densidad relativa del electrolito • Limpiar y ajustar bornes de ser necesario 	Inspección	1:00	1	51,4	52,1	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar estado de precalentador de Aceite (Heater): <ul style="list-style-type: none"> • Revise que su operación sea apropiada. • Inspeccione por conexiones flojas y cables deshilachados, • Inspeccione que no haya fugas 	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar el Estado de cargador de baterías: Verificar estado de conexiones y que esté suministrado carga continuamente	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:00:00	ON
Verificar y/o Revisar Estado de alarmas del sistema y control	Inspección	0:30	1	25,7	26,1	0:00:00	ON
Verificar y/o registrar: <ul style="list-style-type: none"> • Que la velocidad del motor se mantenga constante y que no se presente cascabeleo • Estado y correcta operación de módulo ECM y sistema de inyección. 	Inspección	0:03	1	2,6	2,6	0:00:00	ON

7.3.8.2.2 Tareas especialidad electricidad – 300 H.

Tabla 13.

Descripción de la Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Duración Tarea PMA ([h]:mm:ss)	Personas Requeridas	Duración Tarea Año (hr)	Horas Hombre-Anual	h:mm:ss parada equipo	Estado Unidad Funcional
Suiches: Verificar el estado y calibrar los suiches de bajo nivel de aceite, alta temperatura de aceite, alta temperatura de agua, bajo nivel de agua, sobrevelocidad	Preventivo	1:00	1	28,8	29,2	1:00:00	OFF
Motor de arranque: Limpiar y ajustar contactos. Verificar operación	Preventivo	0:30	1	14,4	14,6	0:30:00	OFF
Alternador: <ul style="list-style-type: none"> • Limpiar (Sopletear) y ajustar contactos • Aplicar limpiador de contactos 	Preventivo	0:30	1	14,4	14,6	0:30:00	OFF

7.3.8.2.3 Tareas especialidad electricidad – 3000 H

Tabla 14.

Descripción de la Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Duración Tarea PMA ([h]:mm:ss)	Personas Requeridas	Duración Tarea Año (hr)	Horas Hombre-Anual	h:mm:ss parada equipo	Estado Unidad Funcional
PRUEBA DE DIAGNÓSTICO DE BATERÍAS CON EQUIPO ESPECIALIZADO	Predictivo	1:00	1	3,0	2,9	1:00:00	OFF

7.3.8.2.4 Tareas especialidad electricidad – 6000 H

Tabla 15.

Descripción de la Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Duración Tarea PMA ([h]:mm:ss)	Personas Requeridas	Duración Tarea Año (hr)	Horas Hombre-Anual	h:mm:ss parada equipo	Estado Unidad Funcional
Cambiar los suiches de bajo nivel de aceite, alta y baja presión de aceite, temperatura de aceite, alta temperatura de agua, bajo nivel de agua, sobrevelocidad.	Preventivo	1:00	2	1,0	2,9	1:00:00	OFF
Motor de arranque: • Hacer cambio de rodamientos e inspeccionar estado de piñón de engrane y automático. (Cambiar, reparar de ser necesario) • Limpiar, Engrasar	Preventivo	1:30	2	1,5	4,4	1:30:00	OFF
Alternador: • Hacer cambio de rodamientos • Limpiar y Engrasar • Reemplazar la correa • (Se recomienda cambiar el alternador por otro en buen estado y hacer la reparación en el taller)	Preventivo	1:30	2	1,5	4,4	1:30:00	OFF
Termostatos: Desmontar y verificar operación. Cambiar según condición	Prueba Funcional	1:00	2	1,0	2,9	1:00:00	OFF
Sensores: • Solenoides y sensores: Limpiar y ajustar contactos	Preventivo	1:00	2	1,0	2,9	1:00:00	OFF

7.3.8.3 Tareas especialidad CBM

La estrategia de mantenimiento para el motor de combustión Perkins de la especialidad CBM tiene tareas 300 H y 3000 H.

7.3.8.3.1 Tareas especialidad CBM – 300 H

Tabla 16.

Descripción de la Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Duración Tarea PMA ([h]:mm:ss)	Personas Requeridas	Duración Tarea Año (hr)	Horas Hombre-Anual	h:mm:ss parada equipo	Estado Unidad Funcional
MEDICIÓN GLOBAL DE VIBRACIONES <ul style="list-style-type: none"> • Toma de vibraciones en motor • Toma de vibraciones en base electrógeno • Análisis 	Predictivo	1:30	1	43,2	43,8	0:00:00	ON
TERMOGRAFÍA CUANTITATIVA Y CUALITATIVA, PUNTOS DE CONTROL MOTOR (Toma y análisis): <ul style="list-style-type: none"> - Filtros de combustible - Tanque de combustible - Filtros de aceite - Enfriador de aceite lubricante - Radiador del motor 	Predictivo	1:30	1	43,2	43,8	0:00:00	ON

7.3.8.3.2 Tareas especialidad CBM – 3000 H

Tabla 17.

Descripción de la Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Duración Tarea PMA ([h]:mm:ss)	Personas Requeridas	Duración Tarea Año (hr)	Horas Hombre-Anual	h:mm:ss parada equipo	Estado Unidad Funcional
ANÁLISIS DE DESEMPEÑO & CONDICIÓN MECÁNICA DE MAQUINARIA RECIPROCANTE <ul style="list-style-type: none"> • Realizar el análisis de desempeño y diagnosticar completamente la condición mecánica del electrógeno apoyándose en los diagramas de temperatura, presión, vibración mecánica, emisiones acústicas de ultrasonido, FFT, voltaje, fase, medidas de ignición, ángulos de giro cigüeñal, etc. • Medir compresión del motor • Verificar tiempos de encendido del motor 	Predictivo	3:00	1	9,0	8,8	0:00:00	ON
Realizar escaneo del sistema de control y de los sensores del electrógeno para identificar fallas y diagnosticar su estado	Predictivo	1:00	1	3,0	2,9	0:00:00	ON

7.3.8.4 Tareas contratista externo

La estrategia de mantenimiento para el motor de combustión Perkins por contratista externo tiene tareas 300 H y 6000 H.

7.3.8.4.1 Tareas contratista externo – 300 H

Tabla 18.

Descripción de la Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Duración Tarea PMA ([h]:mm:ss)	Personas Requeridas	Duración Tarea Año (hr)	Horas Hombre-Anual	h:mm:ss parada equipo	Estado Unidad Funcional
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL ACEITE: <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de propiedades: Viscosidad, Oxidación, Índice PQ • Análisis de partículas de desgaste: ppm de Ag(Plata), Al(Aluminio), Cr(Cromo), Cu(Cobre), Fe(Hierro), Mo(Molibdeno), Ni(Níquel), Pb(Plomo), Sn(Estaño), Ti(Titanio) • Análisis de elementos contaminantes: ppm de B(Boro), K(Potasio), Na(Sodio), Si(Silicio), V(Vanadio), Ind de Refrigerante, % Hollín, % Agua, TBN • Análisis de aditivos: Ba(barium), Ca(Calcio), Mg(magnesio), P(Fósforo), Zn(Zinc) 	Predictivo	1:00	1	28,8	29,2	0:00:00	Indiferente

7.3.8.4.2 Tareas contratista externo – 6000 H

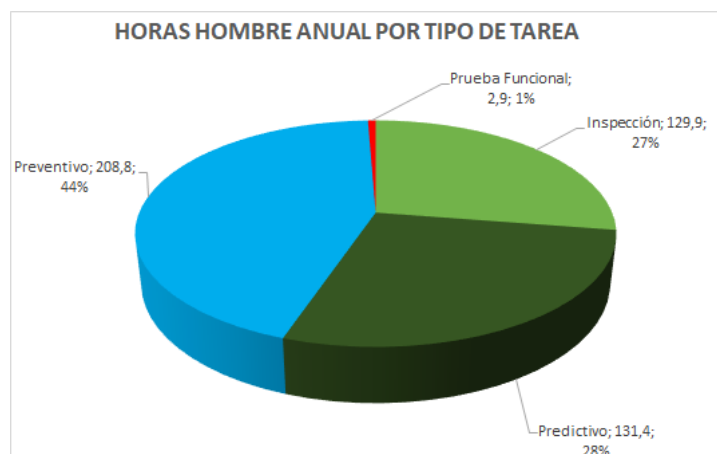
Tabla 19.

Descripción de la Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Duración Tarea PMA ([h]:mm:ss)	Personas Requeridas	Duración Tarea Año (hr)	Horas Hombre-Anual	h:mm:ss parada equipo	Estado Unidad Funcional
Calibrar las válvulas de inyección y escape	Preventivo	2:00	2	2,0	5,8	2:00:00	OFF
Calibrar y realizar pruebas funcionales a bomba de inyección en laboratorio especializado	Preventivo	16:00	1	16,0	23,4	0:00:00	Indiferente
Calibrar y realizar pruebas funcionales de inyectores	Preventivo	4:00	1	4,0	5,8	4:00:00	OFF

7.3.9 Análisis de resultados

7.3.9.1 Análisis de horas hombre

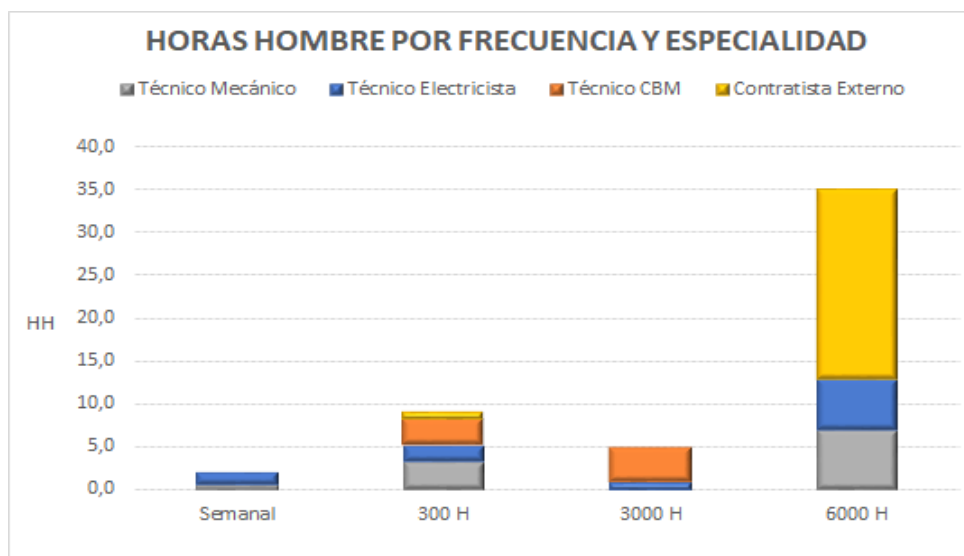
Figura 24.



Fuente. Autores

En el gráfico se observa que la mayor cantidad de tiempo de trabajo es del tipo de mantenimiento a condición (55% = Predictivo + Inspección) seguido del preventivo (44%) y prueba funcional (1%).

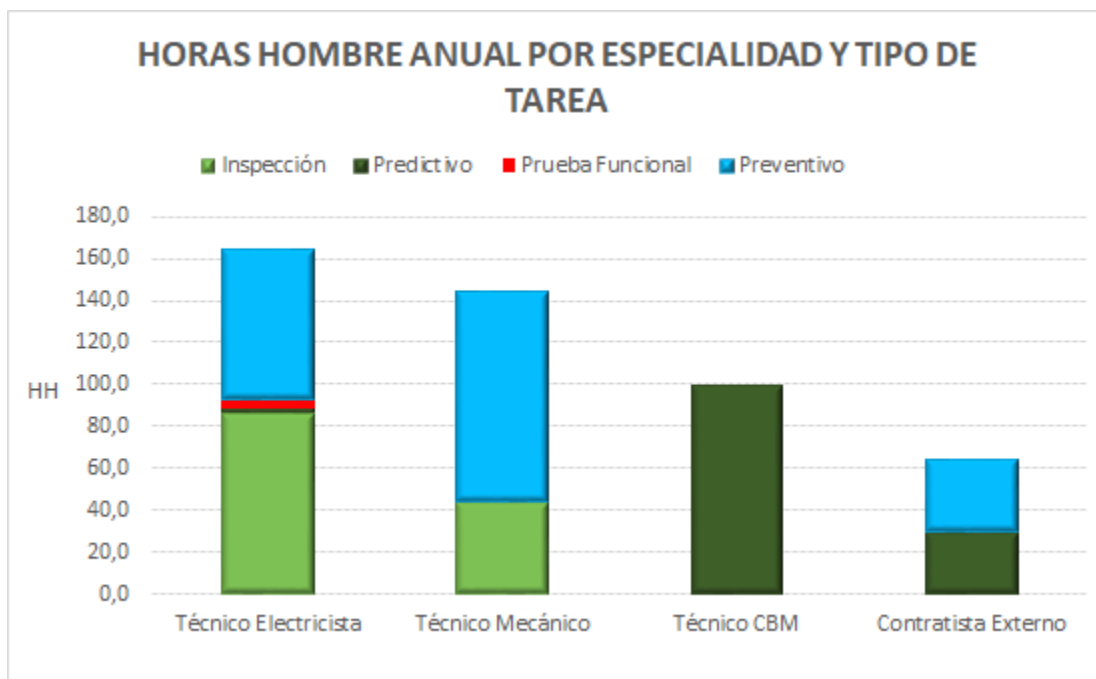
Figura 24.



Fuente. Autores

En el gráfico se observa que las actividades con frecuencia 6000 H tienen el mayor tiempo de trabajo (35 h 0 m) seguido de las actividades con frecuencia 300 H (9 h 15 m), 3000 H (5 h 0 m) y semanal (2 h 16 m).

Figura 25.



Fuente. Autores

En el gráfico se observa que la mayor cantidad del trabajo anual es responsabilidad del técnico electricista (164 h 52 m), seguido de técnico mecánico (144 h 34 m), técnico CBM (99 h 16 m) y contratista externo (64 h 14 m).

8 Impactos alcanzados y esperados

8.1 Impactos alcanzados

Los impactos alcanzados en la presente investigación para la Propuesta de diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para el motor diésel, fueron:

- Se realizó la recolección de la información donde se conoció la hoja de vida del equipo y cada una de las intervenciones que se le realizaron, plan de mantenimiento, repuestos entre otros.
- Se realizó la Taxonomía macro jerarquía de equipos, sistemas, subsistemas y componentes, ya que de esta forma podemos identificar más fácilmente los modos de fallas que aparecen frecuentemente.
- Se realizó la matriz de criticidad por componente, lo cual se logró identificar los componentes a los que se les debe prestar más atención.
- Se realizó la identificación de los modos de fallas, efectos y causas. Se identificó cada una de las funciones principales de los componentes que hacen parte de los subsistemas y sistemas que se definieron para el equipo Motor Perkins.
- Se determinó los modos de fallas y fallas funcionales del activo en estudio.
- Se determinó las Causas y efectos de modos de falla de cada componente.
- Se realizó las tareas de mantenimiento de cada componente del caso de estudio.
- Se realizó un análisis financiero del costo de la implementación del proyecto de investigación.

8.2 Impactos esperados

A partir de la metodología RCM, los impactos esperados que deseamos es crear conciencia de la cultura de mantenimiento en la organización con esta investigación, lo cual mejorará los

procesos y aumentará la productividad dentro de la empresa. Por motivos de permiso y confidencialidad no se pudo realizar un mejor plan, ya que la organización no nos dio el aval, lo cual generaría un gran impacto positivo dentro de la misma.

9 Análisis financiero

9.1 Costo de implementación /Inversión/Ejecución

El análisis financiero realizado está basado en los costos de los recursos necesarios para la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad. La tabla establece las tarifas aproximadas para la contratación de mano de obra indispensable para la etapa del levantamiento de la información de la propuesta del plan de mantenimiento centro en confiabilidad y su respectiva ejecución.

Tabla 20.

Valor de contratación mano de obra implementación.

1	Cuadrilla	Unidad	Salario básico	Básico + Prestaciones
1,1	Técnico de mantenimiento	Mes	\$ 2.400.000	\$ 3.168.000
1,2	Ingeniero de mantenimiento	Mes	\$ 5.500.000	\$ 7.260.000
1,3	Documentador SAP	Mes	\$ 2.400.000	\$ 3.168.000
1,4	Técnico en seguridad industrial	Mes	\$ 2.400.000	\$ 3.168.000
2	Bienes y servicios	Unidad	Cantidad	Valor total
2,1	Computador portátil	Unidad	2	\$ 4.600.000
2,2	Papelería	Unidad	1	\$ 150.000
2,3	Servicio de consulta (personal especializado)	Global	1	\$ 800.000
2,4	Plan móvil y radio	Global	1	\$ 250.000
2,5	Trasporte	Global	1	\$ 880.000
2,6	EPP y dotación	Global	4	\$ 2.000.000
Total				\$ 25.444.000

Fuente: Autores

Tabla 21. Información detallada.

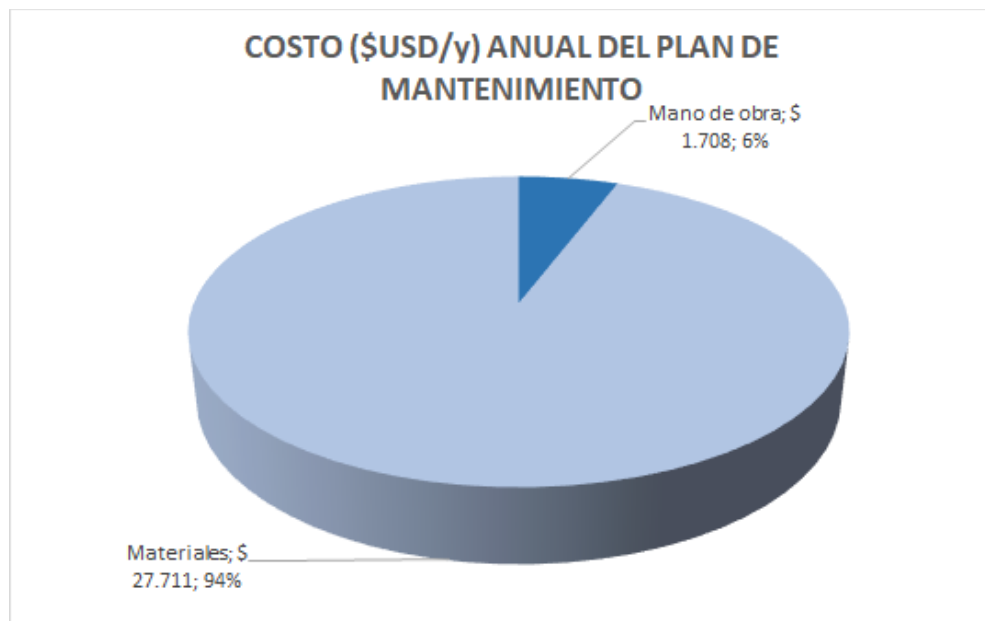
1	Mano de obra	Unidad	Cantidad
1,1	Levantamiento de estado actual del sistema de soporte mecánico. (1 técnico), durante 8 horas por 2 semanas.	Días (hábil)	12
1,2	Recolección de información del tiempo medio entre fallas, cantidad de fallas y tiempo medio de reparación, (1 ingeniero), durante 8 horas por 1 semanas.	Días (hábil)	6
1,3	Realizar análisis de matriz de criticidad y matriz de fallas del sistema de soporte mecánico, (1 ingeniero y 1 técnico), durante 8 horas por 1 semanas.	Días (hábil)	12
1,4	Evaluación de las modos y consecuencias de falla para el sistema mecánico, (1 ingeniero), durante 8 horas por 1 semanas.	Días (hábil)	6
1,5	Elaborar las tareas de mantenimiento, las frecuencias de mantenimiento y los responsables del mantenimiento, (1 ingeniero y 1 técnicos), durante 8 horas por 1 semanas.	Días (hábil)	12
1,6	Prevenir a los trabajadores de accidentes y en general garantizar que el lugar de trabajo sea seguro y respetuoso con el medio ambiente. (1 Técnico en seguridad industrial), durante 8 horas por 4 semanas.	Días (hábil)	24
1,7	Documentar la información registrada (1 Documentador) durante 8 horas por 4 semanas.	Días (hábil)	24

Fuente: Autores.

9.2 Análisis de costos de ejecución

En la propuesta de plan de mantenimiento se van a tener en cuenta los rubros necesarios para la ejecución de las actividades que se están planificando en plan de mantenimiento. Lo rubros son: Mano de obra interna; técnico especializado; Materiales, insumos y documentación.

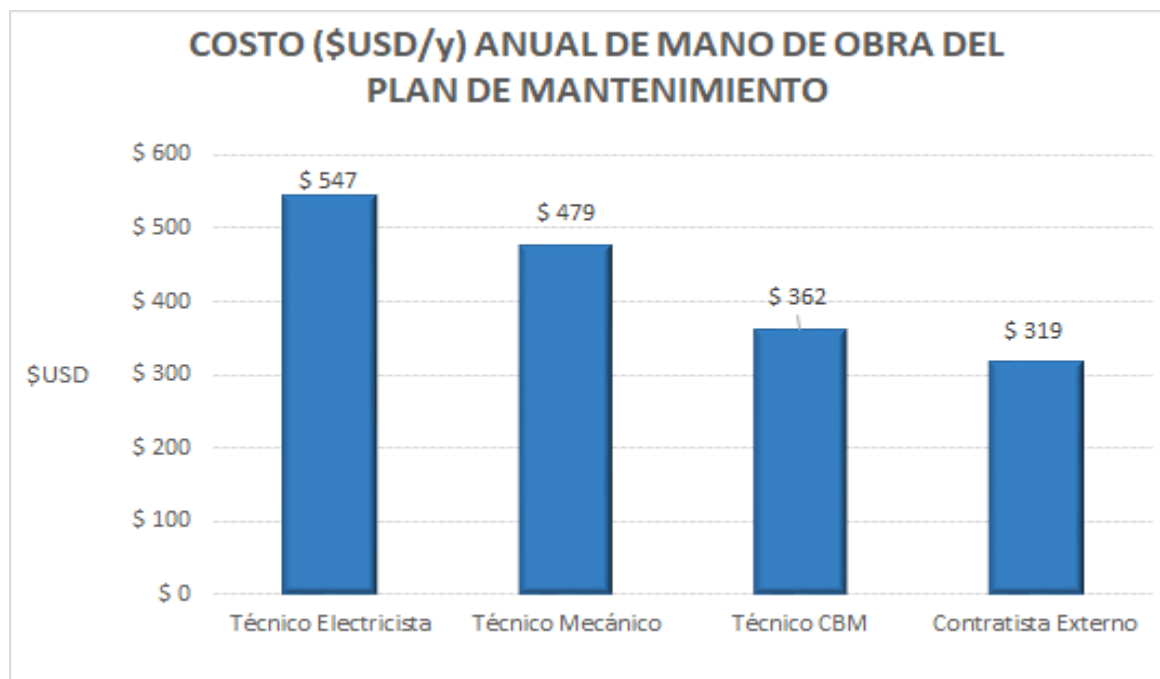
Figura 26.



Fuente: Autores.

El costo anual de la estrategia de mantenimiento es de \$USD 29.419, que corresponden a la suma de: \$USD 1.708 del costo de la mano de obra y \$USD 27.711 del costo de materiales del mantenimiento preventivo.

Figura 27.

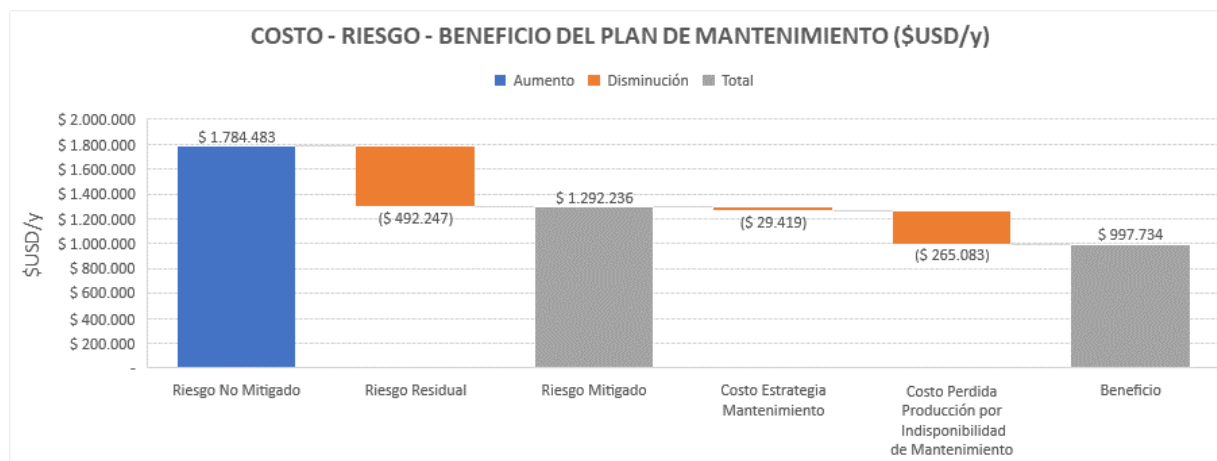


Fuente: Autores.

9.3 Utilidad esperada

9.3.1 Análisis de Costo - Riesgo – Beneficio

Figura 28.



Fuente: Autores.

El beneficio anual de la estrategia de mantenimiento sería de \$USD 997.734, que corresponde al riesgo mitigado \$USD 1.292.236 menos el costo de la estrategia de mantenimiento \$USD 29.419 y menos Costo Perdida Producción por Indisponibilidad de Mantenimiento \$USD \$ 265.083

10 Conclusiones y recomendaciones

10.1 Conclusiones

De los análisis realizados se puede concluir que no se obtienen valores elevados de riesgo en el equipo analizado a pesar de que cada equipo se considera esencial para la generación, esto es debido a que las instalaciones, el diseño y mejoras implementadas en las facilidades le han dado una flexibilidad operativa que permite sacar equipos de línea y operar las máquinas de stand by.

. Siendo para todos estos Riesgos la Categoría predominante de la consecuencia, la Categoría Económica, representados en las posibles afectaciones a la generación por la pérdida de capacidad de alguno de los grupos motorizados.

La Estructura de control de gestión debe hacer seguimiento a la implementación de las estrategias de mantenimiento definidas por el RCM y a las listas de acciones definidas en él.

10.2 Recomendaciones

Obtener histórico de información sobre el activo con datos y recomendaciones de fabricante, personal que opera y realiza el mantenimiento y listas genéricas de modos de fallas, resulta en la mejor herramienta para el departamento de mantenimiento. Definir el nivel de profundidad que se quiere con el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y el análisis de modo

de falla y sus efectos es muy importante puesto que si se realiza a un nivel de detalle muy superficial no se pueden lograr buenos resultados y por lo contrario si se realiza un nivel de detalle muy específico se puede perder el objetivo olvidando la razón inicial del análisis.

GLOSARIO

A continuación, el agrupamiento de términos y definiciones aplicados en general a los talleres RCM:

- RCM: Reliability Centred Maintenance, mantenimiento basado en confiabilidad como un proceso estructurado y soportado en una decisión multidisciplinaria para la determinación del costo efectivo de los requerimientos óptimos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional.
- Activo (Asset): Todo equipo o maquinaria o ítem permanente requerido en el proceso.
- RC: Reacondicionamiento Cíclico, Tipo de tarea de mantenimiento preventivo realizada de acuerdo con una frecuencia establecida, bien sea por tiempo de operación, por periodo de tiempo o por ciclos operativos
- BC/CBM: Tarea de mantenimiento basada en la condición del activo, o Condition Based Maintenance, es de tipo proactivo, originada en el monitoreo, en la medición continua y la interpretación de la información recopilada.
- RTF: Run to Failure, opción de mantenimiento que se selecciona para un ítem en el cual no se justifica el mantenimiento proactivo o monitoreo por no considerarse costo efectivo.
- FMEA: Failure Mode and Effects Analysis, es un método cualitativo de análisis de confiabilidad el cual involucra el estudio de los modos de falla que pueden existir

en cada componente de un ítem y la determinación de los efectos de cada modo de falla sobre otros componentes y sobre la función requerida del ítem.

- PLE: (Process Loss Equation) Ecuación de pérdida del proceso
- FM: Modo de falla o descripción cualitativa de la manera en que un ítem puede fallar.
- Falla Evidente: Cuando la ocurrencia de la falla es obvia por la terminación o alteración de la capacidad o habilidad del ítem afectado para realizar su función requerida.
- Falla Oculta: Toda falla cuya ocurrencia puede ser solo detectada por un efecto secundario, por inspección o por prueba.
- IME: Índice de mantenimiento efectivo, relación entre la reducción del riesgo económico anualizado y los costos de reducción.

11 Bibliografía

Álvarez Romero Yerson, s. H. (15 de 02 de 2021). Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte del sistema eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella sede colina.

Obtenido de <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/866>

Angie Rodriguez, D. P. (2014). *universidad industrial de santander*. Obtenido de

<https://www.researchgate.net/profile/David-Parra->

[Ortiz/publication/322070662_Plan_de_Mantenimiento_Centrado_en_Confiabilidad_RC](https://www.researchgate.net/publication/322070662_Plan_de_Mantenimiento_Centrado_en_Confiabilidad_RC)

M_II_para_maquinas_rectificadoras_sin_centros_M017_y_M018_en_Industrias_LAVC
O_Ltda/links/5a42eac3458515f6b04fdb0d/Plan-de-Manten

Arrazola, J. (2018). Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/68640203/Actividad-aprendizaje-Semana-Uno-Bombas-Line-Electronicasdoc/>

Barrera, D. (2009). *Aplicación de la metodología R.C.M. a un motor diésel para la selección del plan de mantenimiento*. universidad de Cadiz. Obtenido de <https://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/8069>

Beltrán Manjarrés, J. A. (2017). *repositorio digital ute-ecuador*. Obtenido de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/16531>

Blasco, V. (s.f.). Obtenido de http://www.geocities.ws/tecnilibros/articulos/Biografia_Diesel.pdf

Carlos Calahorrano, D. C. (2010). *Escuela Politecnica Nacional* . Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2375/1/CD-3107.pdf>

Cespedes, R. M. (02 de 27 de 2014). *Universdad Carlos III de Madrid*. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22647/PFC_raul_mora_cespedes_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Deivis Alvares Zaldivar, O. h. (08 de 2020). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/348407159_Propuesta_de_un_nuevo_programa_de_mantenimiento_a_los_motores_hyundai_de_grupos_fuel_oil

Diaz, C. M. (11 de 10 de 2010). *Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2454>

Justo Callo, E. J. (2018). *Repositorio Universidad Nacional de Ingeniería Lima-Peru*. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/15788>

- OSCAR LOPEZ, M. T. (2019). *INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html>
- Osorio, J. V. (2016). *repositorio institucional universidad EAFIT*. Obtenido de file:///C:/Users/isabe/Downloads/JohnFredy_VergaraOsorio_2016.pdf
- Pacheco, S. C. (2007). Obtenido de <https://www.itsa.edu.co/docs/17-S-Consuegra-Modulo-Motores-Diesel.pdf>
- Pedro Abril, C. A. (2016). *repositorio ecci*. Obtenido de <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/284/PROYECTO%20DE%20ESPECIALIZACION.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peso Chalén, L. L. (enero de 2019). *repositorio digital uide*. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2949>
- Ponciano, J. L. (2016). *USAC*. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5271/>
- Renovetec. (s.f.). *manual del jefe de mantenimiento*. Obtenido de <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>
- SAE. (01 de 2002). Obtenido de <file:///C:/Users/isabe/OneDrive/Desktop/proyecto%20mono/norma-sae-ja1012-siles-kk.pdf>
- SAE. (08 de 2009). Obtenido de [file:///C:/Users/isabe/OneDrive/Desktop/proyecto%20mono/SAE%20JA1011%20Evaluacion%20Criteria%20for%20RCM%20Processes%20\[2009\].pdf](file:///C:/Users/isabe/OneDrive/Desktop/proyecto%20mono/SAE%20JA1011%20Evaluacion%20Criteria%20for%20RCM%20Processes%20[2009].pdf)

Sánchez, G. F., Velasco, J. L., & Guerrero, A. C. (junio de 2013). *universidad industrial de santander*. Obtenido de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2013000100005

Tabares, S. (2020). *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM PARA EL SISTEMA DE TRACCIÓN DEL VEHÍCULO CHEVROLET LV150 MODELO 2009*. universdiad de antioquia. Obtenido de

http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15784/1/TabaresSebastian_2020_ElaboracionPlanMantenimiento.pdf

Westreicher, G. (14 de 12 de 2020). Obtenido de

<https://economipedia.com/definiciones/mantenimiento.html>