

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

Yerson Alvarez Romero y Sergio Hurtado Avella

Facultad de Posgrados, Universidad ECCI

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Phd. Miguel Ángel Urián Tinoco

Febrero 15, 2021

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

Yerson Álvarez Romero, Código: 93296

Sergio Hurtado Avella, Código: 91782

Facultad de Posgrados, Universidad ECCI

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Phd. Miguel Ángel Urián Tinoco

Febrero 15, 2021

HOJA DE JURADOS

Dedicatoria

En primera instancia a mis padres (Héctor y Luz Marina) ya que ha sido fuente de apoyo y guía indispensable en cada una de las etapas de mi crecimiento profesional, también, por su interés en querer siempre lo mejor para mi utilizando la academia para lograrlo. A mi hermana (Yessica) pues me ha compartido su espíritu emprendedor con el que deseamos poder crear números proyectos. A mi novia (Estefany) por su paciencia, comprensión y apoyo en esta importante etapa de mi vida.

Sergio Hurtado Avella

A Dios por estar siempre conmigo, a mi madre Yaneth Romero, que siempre ha sido mi pilar y quien me da la fortaleza de seguir adelante en cada nuevo Camino, a mi hermano Diego Alejandro Picón Romero que me motiva a ser cada día mejor y quien supera cada vez más mis pasos y me hace sentir orgulloso. A mi abuela quien a pesar de los percances de la vida siempre permanece inquebrantable y me demuestra nunca darnos por vencidos y en cumplir nuestros sueños y metas.

Yerson Álvarez Romero

Agradecimientos

A cada una de las personas que puso su grano de arena desinteresadamente con aportes, observaciones y correcciones con el objetivo de lograr un buen documento.

A los todos los profesores de la especialización en gerencia de mantenimiento por permitir compartir su conocimiento ilustrando sus experiencias en vida profesional de la mano con la cátedra expresada en teorías fundamentales.

A la universidad por permitirnos ingresar y brindarnos la oportunidad para crecer profesionalmente aportando investigación para el progreso del país.

A la implementación tecnológica que tiene la universidad y la efectividad en cada proceso para estar a la vanguardia de eventos y situaciones impensables pues en este año 2020 las cosas no tuvieron su curso normal debido a la aparición del virus SARS CoV-2 (COVID19).

Introducción

Este documento de investigación tiene como principal objetivo realizar la propuesta de un plan de mantenimiento en base al análisis de los modos de falla en el sistema de soporte eléctrico de Falabella colina en la ciudad de Bogotá. Es de gran importancia mantener el flujo de energía eléctrica constante para garantizar la operación de las instalaciones en cualquier momento del día.

El desarrollo del documento se realiza mediante la elaboración de una propuesta de mantenimiento utilizando la estrategia de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (Reability Centred Maintenace RCM).

Resumen

En este documento de investigación analizamos 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.

Palabras Clave

Diseño, Plan de mantenimiento, Planta eléctrica, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Modos de falla.

Abstract

In this research document we analyze the Falabella Sede Colina power plant in the city of Bogotá because it is one of the most fundamental assets in the company's operation, it provides constant electrical energy support in the event of a failure by the local supplier. The implementation of the maintenance plan proposal is based on providing greater reliability to this equipment with Reliability Centred Maintenance in order to carry out follow-up through defined schedules and scheduled maintenance. Among the most relevant results obtained is the collection of important information such as the taxonomy of each of the systems, subsystems and components that intervene in the power plant up to a specific level of detail, in turn, a matrix where it is made the criticality analysis corresponding to the components and the adequate documentation of the failure modes and their causes. This is followed by a proposal for a maintenance plan to control the failure modes that have appeared after the analysis. In conclusion, the reader will have at hand a reference document for future research on maintenance centered reliability of power plants and thus detail a little more some type of system, subsystems or desired component.

Keywords

Desing, Maintenance plan, Reability Centred Maintenance, Power Plant, Failure Modes.

Contenido

Dedicatoria	4
Agradecimientos	5
Introducción	6
Resumen	7
Abstract	8
1. Título	14
2. Problema de investigación	14
2.1. Descripción del problema	14
2.2. Formulación del problema	16
2.3. Sistematización del problema	16
3. Objetivos	16
3.1. Objetivo general	16
3.2. Objetivos específicos	16
4. Justificación y delimitación	17
4.1. Justificación	17
4.2. Delimitación	19
4.3. Limitación	19
5. Marco de referencia	20

	10
5.1. Estado del arte	20
5.1.1. Estado del arte Nacional	20
5.1.2. Estado del arte Internacional.....	27
5.2. Marco teórico	35
5.2.1. Repaso en la historia del mantenimiento	35
5.2.2. Definición del mantenimiento.....	38
5.2.3. RCM – Reability Centred Maintenance.....	40
5.2.4. Preguntas de RCM – SAE JA1101	41
5.2.5. Definiciones principales del RCM.....	43
5.2.6. Ventajas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM2.....	46
5.2.7. AMFE - AMEF	48
5.2.8. Tareas de mantenimiento según RCM.....	49
5.2.9. Planta Eléctrica	50
5.3 Marco legal	52
6. Marco metodológico	53
6.1. Recolección de la información	53
6.1.1. Tipo de investigación.....	53
6.1.2. Fuentes de obtención de información	55
6.1.3. Metodología	56
6.2. Análisis de la información	57

	11
6.2.1. Objetivo No. 1.....	57
6.2.2. Objetivo No. 2.....	61
6.2.3. Objetivo No 3. – Propuesta plan de mantenimiento	67
7. Impactos esperados/generados	84
8. Análisis financiero.....	85
9. Conclusiones y recomendaciones.....	90
9.1. Conclusiones	90
9.2. Recomendaciones	91
10. Bibliografía.....	92

Listado de Anexos

- Anexo 1 - Hoja de Información Planta Eléctrica Falabella.
- Anexo 2 - Hoja de decisión Planta Eléctrica Falabella.
- Anexo 3 - Plan de Mantenimiento Planta Eléctrica Falabella.
- Anexo 4 – 5W+1H Planta Eléctrica Falabella.

Listado de figuras

Figura 1. Expectativas del mantenimiento a través de las generaciones	37
Figura 2. Percepción a través de las generaciones de mantenimiento sobre las condiciones de falla en relación con la edad de la máquina.	37
Figura 3. Cambios en las técnicas de mantenimiento.	38
Figura 4. Determinación de falla por el usuario.	45
Figura 5. Ilustración de planta eléctrica	50
Figura 6. Especificaciones Técnicas de planta Eléctrica Modelo GS 900	51
Figura 7. Metodología para creación de plan de mantenimiento basado en RCM.	57
Figura 8. Resultados de análisis R.A.M Inicial	59
Figura 9. Plan de mantenimiento actual Planta Eléctrica Falabella Colina	60
Figura 10. Pilares del TPM	64
Figura 11. Ventajas y desventajas CBM	65
Figura 12. Esquema de RCM	66
Figura 13. Fase de implantación RCM	67
Figura 14. Resultados de análisis R.A.M con propuesta del plan de mantenimiento RCM	84

Listado de tablas

Tabla 1. Marco legal proyecto	52
Tabla 2. Tipos de metodología de la investigación.....	54
Tabla 3. Tipos de Investigación	54
Tabla 4. Histórico de fallas planta eléctrica Falabella sede Colina.	57
Tabla 5. Análisis R.A.M de Planta Eléctrica Inicial (MTBF, MTTR)	58
Tabla 6. Taxonomía de Planta Eléctrica CUMMINS	68
Tabla 7. Matriz de criticidad por componente de la planta eléctrica.	70
Tabla 8. Análisis Modos de Falla y Efectos. Componentes y Función principal	71
Tabla 9. Análisis Modos de Falla y Efectos. Fallas funcionales y Modos de falla.....	73
Tabla 10. Análisis Modos de Falla y Efectos. Efectos y causas de modos de falla.....	75
Tabla 11. Análisis Modos de Falla y Efectos. Consecuencias de los modos de falla.....	78
Tabla 12. Fallas presentadas en propuesta de plan de mantenimiento RCM.....	81
Tabla 13. Análisis R.A.M. con propuesta de plan de mantenimiento RCM (MTBF, MTTR).....	83
Tabla 14. Listado de activos con mayor movimiento	84
Tabla 15. Valor de contratación mano de obra	85
Tabla 16. Análisis financiero de levantamiento de información sobre la propuesta de implementación de mantenimiento	86
Tabla 17. Proyección financiera detallada del presupuesto para el año (Parte 1).....	87
Tabla 18. Proyección financiera detallada del presupuesto para el año (Parte 2).....	88
Tabla 19. Total del presupuesto de recursos para actividades del plan de mantenimiento.	88

1. Título

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

2. Problema de investigación

2.1. Descripción del problema

Falabella es una cadena especializada en la prestación de servicios y atención al cliente con un portafolio bastante amplio la cual opera a nivel internacional en países como Chile, Argentina, Perú y Colombia. A nivel nacional cuenta con distintas sucursales en las principales ciudades del país como Barranquilla, Medellín, Cali, Bucaramanga, Manizales, Cartagena y Bogotá, entre otras. La primer filial se construyó en el Centro Comercial Santa Fe en el norte de la capital en el año 2006, desde entonces como lo indica en su misión, ha ido expandiendo su operación en diferentes puntos de la ciudad y también a nivel Latinoamérica. Para los intereses de este documento se va hacer el análisis correspondiente en la sede Colina de la ciudad de Bogotá fundada el 16 de diciembre de 2016. La sede colina de Falabella cuenta con servicios como venta de productos para hogar, electrodomésticos, tecnología, agencia de viajes, banco, ropa de hombre, tendencias en ropa para mujer y todo lo relacionado con belleza.

En la actualidad los activos de la compañía tienen establecidas estrategias de mantenimiento bajo modelos como son el mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo enfocados en la ejecución de actividades básicas. 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.

De acuerdo con la actividad económica de la empresa es necesario generar disponibilidad de los diferentes activos de la compañía 24 horas 7 días a la semana para prestar un excelente servicio hacia sus clientes de la mejor forma y a su vez también es indispensable el recurso de energía eléctrica para abastecer y dar funcionamiento a la mayoría de activos y productos. Teniendo en cuenta lo anterior la compañía realizó la inversión de una planta eléctrica de combustión interna para dar solución a la eventualidad ausencia del recurso energético en las instalaciones de la empresa.

En años pasados se presentaron interrupciones de energía eléctrica que habrían ocasionado reducción en las ganancias de capital de la compañía, pero gracias al soporte de la planta eléctrica en el suministro de energía eléctrica se ha mantenido la prestación del servicio. Sin embargo, en el 2017 se presentó un corte eléctrico en la tienda Falabella sede Colina y duró dos horas. De inmediato se puso en marcha la planta eléctrica, pero presentó un fallo por lo que no pudo cumplir con su función. Cada hora de no funcionamiento de la sede Colina equivale a más de \$100.000.000 COP (cien millones de pesos) en pérdidas.

Alrededor del año ocurren tres apagones programados y seis apagones repentinos por cortes eléctricos de la empresa de suministro a la red local.

En la actualidad colombiana se menciona que, para los próximos años, un futuro cercano, la capacidad instalada de empresas productoras de energía no darían abasto a la demanda del recurso debido a problemas en la creación de nuevas centrales de energía, factores climáticos, demoras en negociación y adjudicación de nuevos contratos, implementación de energías renovables no convencionales con tecnologías amigables al medio ambiente.

2.2. Formulación del problema

Teniendo en cuenta los incidentes mencionados, ¿Cómo se pueden aumentar la confiabilidad en el equipo que da soporte al sistema eléctrico de la compañía?

2.3. Sistematización del problema

- ¿En qué porcentaje de confiabilidad se encuentra la planta eléctrica con el plan de mantenimiento actual?
- ¿Qué debe incluir la propuesta de plan de mantenimiento para que disminuyan las fallas en la planta eléctrica?
- ¿Es posible obtener una mejor confiabilidad a la actual?

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Diseñar una propuesta de mantenimiento basada en análisis de criticidad y modos de falla para el soporte de sistema eléctrico (planta eléctrica) de Falabella de Colombia sede Colina mediante la investigación del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM.

3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar cómo se está ejecutando el mantenimiento actual en el sistema de soporte eléctrico de Falabella Colina por medio de datos históricos en la planta eléctrica.
- Realizar un cuadro comparativo sobre las posibles metodologías aplicadas en plantas eléctricas que permitan comparar el plan de mantenimiento actual que se ejecuta en el soporte del sistema eléctrico de Falabella.

- Analizar los resultados y realizar propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad para el soporte al sistema de Falabella Colina.

4. Justificación y delimitación

4.1. Justificación

La actividad económica de la empresa requiere que siempre exista el recurso energético para brindar un excelente confort y atención al cliente, además cada uno de los servicios que se ofrecen, activos de la compañía y un gran porcentaje de los productos de venta requieren de energía eléctrica, por ende, se convierte en la principal razón de buscar estrategias para reemplazar el suministro de energía por empresas generadoras locales en caso de ausencia de energía.

En Colombia, según datos del DANE, el precio de la energía eléctrica ha crecido más del doble que la inflación en el último quinquenio. El informe de Doing Business (2014) reporta que el costo de la electricidad en el país es más alto que el promedio de Latinoamérica y de los países de la OECD. (Orozco Sanchez, 2016)

Visto desde otro punto de vista en el ámbito internacional podemos observar que el valor de adquirir energía eléctrica puede disminuir así como lo demuestran (Hirth, 2018) comentando la caída de los precios debido a las ambiciosas inversiones por la implementación de nuevas energías renovables en Suecia, y también, en Alemania por la eliminación de centrales eléctricas nucleares contemplando a su vez la disminución del precio de materia prima CO₂ y de la demanda final de la electricidad.

Los estudios recientes afirman que el recurso energético depende de muchas variables y factores a lo largo de su cadena de servicio desde la generación hasta la distribución hacia el cliente final.

Una planta eléctrica es el activo adecuado para contrarrestar esos problemas externos a la compañía, sin embargo, se debe contar con la mejor metodología en planes de mantenimiento y así obtener una confiabilidad destacable.

Desde el departamento de mantenimiento se espera obtener el conocimiento adecuado y requerido para realizar la propuesta de una metodología de mantenimiento idónea para la planta eléctrica, matrices de criticidad, taxonomías detalladas con el fin de crear documentación e información relevante que alimenten las bases de datos logrando la gestión necesaria.

El diseño del plan de mantenimiento para el soporte del sistema de energía eléctrica trae muchos beneficios, a continuación, se mencionan algunos de ellos:

Reducción en los costos asociados al mantenimiento de la planta eléctrica debido a la adecuada asignación de recursos y materiales, soportado por los planes de mantenimiento resultado del análisis correspondiente en el activo.

Indirectamente se establece una cultura de mantenimiento responsable el cual se puede aplicar a los diferentes equipos de la compañía, mejorando la gestión en el mantenimiento y logrado excelentes resultados.

Los principales beneficiados sin duda serán los distintos tipos de clientes que se acercan a las instalaciones para realizar sus compras sin ningún tipo de percance generando sensaciones de confort y confiabilidad en la marca.

4.2. Delimitación

El alcance del proyecto tiene como objetivo principal el diagnóstico del plan de mantenimiento actual de la empresa para darnos a conocer si el mantenimiento que se está realizando es el indicado, de ser así buscar las herramientas para mejorarlo por medio del modelo de mantenimiento que han aplicado distintas empresas a nivel nacional e internacional. Es importante realizar un diagnóstico del plan de mantenimiento actual del equipo que da soporte al sistema eléctrico de Falabella para mejorar o cambiar la gestión en el mantenimiento que se ha realizado en épocas anteriores y así aumentar la disponibilidad del equipo y disminuir el tiempo entre fallas brindando la mejor confiabilidad del activo y mejorando simultáneamente los ingresos por el aumento del tiempo de funcionamiento del activo.

El diseño del plan de mantenimiento se realizará para la cadena Falabella en la ciudad de Bogotá, para la Sede Colina en el activo de soporte eléctrico en las instalaciones de la empresa, en la planta eléctrica CUMMINS Modelo GS-900.

4.3. Limitación

La limitación principal de este proyecto es la obtención de la información referente a este activo puesto que existen políticas de seguridad en la información y se administra de forma confidencial.

Otra limitación se debe a la transición y conformación del área de mantenimiento para la sede Colina por una reestructuración organizacional, en la cual hubo problemas de administración de la información y archivo de diferentes activos que tenían a cargo incluyendo a la planta eléctrica. Por lo tanto, es posible que no se encuentre información disponible.

Por último, el tiempo de entrega en la elaboración de la propuesta. Como se mencionó inicialmente los cortes de energía eléctrica pueden pasar en el momento menos esperado y

además, ya se tiene conocimiento de casos reales en los que se han generado pérdidas millonarias. Es de gran importancia presentar en el menor tiempo posible la propuesta de implementación del plan de mantenimiento adecuado para la planta eléctrica.

5. Marco de referencia

5.1. Estado del arte

5.1.1. *Estado del arte Nacional*

5.1.1.1. Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo.

En el año 2014 (Barros Chaparro, Valencia Ocha, & Vargas Henriquez, 2014) de la Universidad del Atlántico describen en su documento de investigación “Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo” publicado para la Revista Tecnológica de Pereira a la metodología de RCM como un proceso que brinda importantes bondades para la determinación de requisitos de mantenimiento de todos las maquinas en su contexto operativo; por otro lado, también hace referencia a este concepto como un proceso para mantener o mejorar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad, así como controlar el costo de mantenimiento combinando varias técnicas y herramientas que permiten desarrollar el análisis de riesgo, a partir de las hojas de decisión que se fundamentan en el análisis de riesgos y las tareas de mantenimiento que permitan ser aplicadas en las áreas problemas.

Los autores constatan que la implementación de los programas RCM han mostrado importantes resultados en las organizaciones que utilizan maquinarias y puede ser incorporado dentro del modelo de negocio organizacional. Sin embargo, para su efectiva y exitosa implementación las compañías deben realizar una profunda revisión de sus actuales planes de mercadeo y negocio; teniendo en cuenta el punto de vista cualitativo, a partir de un conjunto de

información como el estudio del proceso, caracterización operacional de la máquina y registro histórico de las fallas presentadas.

El objetivo principal de este estudio fue confirmar la creencia de que las reparaciones generales, basadas en el tiempo, de componentes complejos en los sistemas (conjunto de equipos) en las aeronaves civiles, no contribuían mucho para reducir la frecuencia de las fallas y no eran económicas. Para esto, los investigadores llevaron a cabo la aplicación del concepto de RCM II en una fábrica de Baterías, en la sección destinada a la producción de lingotes de plomo cuya tasa de producción es de 600 lingotes por hora. La metodología para la implementación del RCM II involucra el análisis funcional, identificación de los modos de falla (Causas de las fallas), Efectos de las Fallas (Manifestación de las fallas), Jerarquización del Riesgo (Criticidad), entre otros pasos, asignando los modos de falla ya identificados, empleando el Diagrama de Decisión RCM II y bajo el análisis costo-efectivo para cada patrón de falla.

Como resultado de este estudio, los investigadores obtuvieron documentos para la Gestión de Mantenimiento (Hoja de información RCM y Hoja de Decisión RCM en sección de Metalurgia), Planos RCM (Relación gráfica entre las Tareas de mantenimiento propuestas y los equipos analizados). También constatan que el RCM piloto reveló condiciones de seguridad operacional y un rediseño en la configuración de los equipos para la mejora del MTBF. Los investigadores destacan que la información recopilada, sumado a los datos obtenidos sirven de base para planear las tareas de mantenimiento acordes con las necesidades reales, distribuyendo en una forma más eficiente el personal técnico de mantenimiento, reduciendo costos y optimizando presupuestos.

Por medio de este artículo podemos asociar a la metodología en RCM II como un proceso eficiente en aumentar la confiabilidad de los equipos y es un método que se podría analizar en

nuestra empresa para tratar de lograr un mejoramiento en los procesos internos de mantenimiento. Como dicen los autores es muy importante que poco a poco tomemos algunas características del modelo analizado y ajustarlos a las necesidades propias.

5.1.1.2. Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Top Rolls en Vidrio Andino S.A.

En el año 2016 los ingenieros (Mota Cruz, 2017) de la Universidad Santo Tomas adelantaron el “Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Top Rolls en Vidrio Andino S.A”, en este documento se plantea un problema inicial en la empresa Vidrio Andino donde realizan modelado de vidrio a partir de un conjunto procesos de transformación del producto con la finalidad de darle una forma en específico. En las diferentes etapas que menciona el autor es evidente destacar que cuenta con equipos y maquinaria especializada para lograr el objetivo. Desde el departamento de mantenimiento y mediante estadísticas e indicadores de gestión del mantenimiento se ha evidenciado que en la etapa número 3 denominada como flotado se encuentran los componentes críticos del proceso. Se realizaron los correspondientes análisis de criticidad del proceso productivo llegando a la identificación de los equipos críticos que son llamados Top Rolls, los cuales tienen algunas funciones indispensables como controlar el flujo de vidrio, conformar la hoja de vidrio y la definición de características principales del producto como el ancho y el espesor. Los Top Rolls para su operación deben tener definidas variables como el control de la temperatura, ubicación adecuada de ángulo, posicionamiento y prensado.

El objetivo principal del autor es realizar el diseño de un plan de mantenimiento para el equipo mencionado mediante técnicas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) estableciendo caracterización de funciones, criticidad de fallas y definición de planes de

mantenimiento abarcando frecuencias, modos de falla, planes de acción con recomendaciones pertinentes a dichos planes de mantenimiento.

Para la determinación del plan de mantenimiento el autor desarrolla el árbol lógico de decisiones el cual consiste en seleccionar y agrupar en diferentes categorías las actividades de mantenimiento que mejor se adecuan respondiendo las últimas dos preguntas básicas en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM): ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla? y ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible?

Al implementar un plan de mantenimiento específico mediante la aplicación de estrategias adecuadas para el proceso y equipo se logra disminuir costos asociados al mantenimiento y a su vez aumento en la producción, lo cual se traduce financieramente un aumento considerable.

5.1.1.3. Propuesta de un plan de mantenimiento a máquina de pruebas de golpe de ariete mediante la metodología RCM2.

En el año 2016 los autores de la Universidad ECCI de la ciudad de Bogotá, desarrollaron la propuesta de una implementación de plan de mantenimiento por medio de la metodología del RCM2 en una máquina de pruebas de golpe de ariete (Martinez Feo & Malagon Silva, 2016), este documento de investigación nos muestra que la metodología es posible aplicarla en diferentes sectores de la industria, así como lo definía el principal gestor de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en su libro (Moubray, 2004).

El proceso para la creación de la propuesta la desarrollaron en una máquina que estaba presentado un alto índice en tiempos de paradas entre fallas, además que no contaban con un plan de mantenimiento adecuado para el activo. Con uso de la hoja de decisión y las tareas propuestas de mejora que fueron resultado de realizar cada uno de los pasos de la metodología

RCM se pueden mejorar los indicadores de tiempos promedio entre fallas (MTBF), tiempos promedio para reparar (MTTR) y confiabilidad. Índices que sin duda desde el departamento de mantenimiento se desea que sean los mejores.

5.1.1.4. Evaluación de variables de mantenimiento utilizando equipos de monitoreo satelital en plantas eléctricas.

En el año 2016 los ingenieros de la Universidad ECCI de la ciudad de Bogotá, desarrollaron la monografía en una planta eléctrica bajo la premisa *“El Mantenimiento hoy en día no sólo es una actividad básica dentro del funcionamiento de una empresa, también se ha convertido en una necesidad y debe estar acompañado de una serie de herramientas que hagan posible su desarrollo y ayuden a la administración de su uso y aplicación”* (Porrás , Contreras, & Marizancen, 2016).

Lo mencionado anteriormente demuestra que los activos de una empresa son indispensables y que se le debe dar la importancia requerida buscando las estrategias adecuadas para realizar jornadas de mantenimiento según el valor de criticidad obtenido, resultado de la evaluación de impactos versus consecuencias.

Con el apoyo de la evolución de la tecnología se pueden realizar monitoreos a nivel satelital para determinar una serie de fallas frecuentes y así reducir el costo de mantenimiento por reparaciones no programadas.

De acuerdo con la investigación anterior se deja en evidencia que las plantas eléctricas de generación a base de un motor de combustión interna se han convertido en uno de los activos mas importante en varios sectores de la industria como hospitales, propiedades horizontales, centros comerciales, telecomunicación, fábricas de producción en línea, entre otros.

Es de gran importancia crear el plan de mantenimiento adecuado con las características de operación y así generar altos indicadores de confiabilidad.

5.1.1.5. Propuesta para la creación de un plan de mantenimiento basado en el Análisis Modal de Falla y Efecto (AMEF- AMFE), aplicable a empresas de impresión y artes gráficas.

En el año 2016 el ingeniero de la Universidad ECCI de la ciudad de Bogotá, desarrolló el análisis de modo de falla y efecto AMEF en un conjunto de maquinaria para el sector de impresión y artes gráficas. La principal razón para el realizar la propuesta de plan de mantenimiento se debe a que no se cuenta con el personal idóneo con el conocimiento técnico requerido y tampoco la descripción e información necesaria para realizar los planes de mantenimiento, involucrando funcionalidad de máquinas, características principales de los componentes, modos de fallas funcionales y potenciales. Así lo expresa el autor: *“esto se debe a que no existe dentro de las organizaciones un análisis modal de falla y efecto (AMEF) que permita identificar al área de mantenimiento las diversas actividades y el área específica a la cual pertenecen”* (García Carrión, 2016). El conjunto de procesos con el cual se desarrolla el Análisis Modal de Falla y Efecto – AMEF, brinda una cantidad de información necesaria para lograr el adecuado plan de mantenimiento. Es la herramienta principal que se utiliza en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

Como aporte al trabajo de investigación sobre la propuesta de implementación del plan de mantenimiento en la planta eléctrica de Falabella sede Colina, corrobora que es posible realizar la hoja de decisión del RCM2 y brinda una guía sobre como identificar los modos de fallo para determinar las tareas específicas con frecuencias, duración y responsable del mantenimiento a la planta eléctrica.

5.1.1.6. Propuesta para la aplicación del RCM en una Motobomba Centrifuga IHM 15H – 7.5TW

En el año 2016 los estudiantes de la Universidad ECCI de Bogotá, realizaron como proyecto de grado la investigación y propuesta de la metodología RCM en una motobomba centrifuga de 15 Hp. Seleccionaron este equipo ya que es el más comercial y el que más se vende en la compañía. Este equipo se instala en las unidades residenciales de propiedad horizontal para brindar mejor experiencia a los habitantes garantizando que el recurso hídrico llegue a cada uno de los niveles de la construcción a una altura máxima de 80m (Abril Bolivar, Ardila Mateus, & Cubillos Guzman, 2016).

Con el proceso realizado para el desarrollo de la propuesta de aplicación de la metodología RCM en la motobomba centrifuga se lograron conocer cuales son las fallas más frecuentes cuando el activo se encuentra en operación.

5.1.1.7. Diseño de una metodología para generar un plan de mantenimiento a través de la integración de Reability Centered Maintenance, World Class Manufacturing y Lean Manufacturing aplicable en procesos de trefilado de alambón.

Recientemente Emilio Pérez, autor del documento de investigación para la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (Pérez Adan, 2019) desarrolló una metodología para la integración de diferentes herramientas como RCM, WCM y Lean Manufacturing basado en la guía del proceso Desing Thinking (Empatizar, Definir, Idear, Prototipar, Evaluar) con el fin de reducir los costos de mantenimiento, mejorar el índice de disponibilidad de la maquinaria y establecer un plan de mantenimiento para el proceso productivo de trefilado en alambón de una empresa mexicana siempre enfocándose en la calidad.

Cada una de las herramientas tiene diferentes metodologías y maneras de desarrollarse, sin embargo, con este documento se puede observar que es posible realizar una integración de diversos métodos para concluir en un plan de mantenimiento completo. El talento humano es un factor clave para la evolución y desarrollo del proceso de implementación del mantenimiento. Desing Thinkg se enfoca en las necesidades humanas para lograr una solución económica, técnica y humanamente posible.

5.1.1.8. 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 iRMCS.

En el año 2016 el autor del artículo de investigación para la Universidad Eafit de la ciudad de Medellín, realizó un programa de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en el motor eléctrico de un sistema de bombeo de combustible generado en la refinería de Ecopetrol del municipio de Barrancabermeja, allí se realizó el desarrollo de la estrategia de mantenimiento nombrada anteriormente con la finalidad de integrarlo con un software de mantenimiento iRMCS (Vergara Osorio, 2016). Se utilizó el software para llevar una mejor manipulación de los datos y por medio de instructivos señala como hacer la correcta digitación de la información.

Con este artículo de investigación podemos evidenciar que al día de hoy ya existen herramientas computacionales que permitan administrar la información recopilada del análisis por el desarrollo del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

5.1.2. Estado del arte Internacional

5.1.2.1. Aplicación de un sistema de gestión del mantenimiento basado en un RCM adaptado.

En el año 2014 en la Escuela Politécnica Superior de Mondragón, Departamento de Mecánica y Producción Industrial los autores (Unzeta Aranguren, Goti Elordi, Garitano Aranda, & Sanchez Ganchegui, 2014) relatan en su artículo el resultado de la aplicación del RCM. Allí se define la metodología y la secuencia de pasos que conforman un proceso de mejora continúa definiendo la adecuada gestión que debe llevar el mantenimiento en la industria sin discriminar el tipo de sector en el que se desarrolle. También mencionan que es importante identificar cuáles son los equipos críticos con el respaldo de matrices como primer paso. Seguido a esto, es muy importante realizar la correcta adquisición de información y datos correspondiente al equipo crítico relacionando la experticia de los técnicos que desarrollan el mantenimiento con la investigación plasmada en manuales de operación y mantenimiento por parte del fabricante. El resultado es la creación de nuevos planes de mantenimiento detallados los cuales brindan información específica sobre fallas, causas y efectos, tiempos de paradas, frecuencias, herramientas a utilizar y número de personas requeridas dependiendo de la complejidad del mantenimiento.

En cada una de las organizaciones, departamentos o procesos la mejor forma de llevar un control es mediante la implementación de sistemas de gestión y contemplar las actividades del ciclo Deming (Planear, Hacer, Verificar, Actuar), de esta manera, se pueden realizar seguimientos a información obtenida por medio de la ejecución de planes de mantenimiento estipulados. Los datos que se recopilan deben tener su correcta administración con órdenes de trabajo que tengan referenciado que tipo de información es relevante a la hora de ejecutar los mantenimientos con el fin de llevar un proceso continuo. Esto se puede hacer con software administración del mantenimiento, aunque en la literatura menciona que para lograr la implementación de alguno se puede llegar a generar una inversión elevada, sin embargo, también

es importante la gestión de un ingeniero encargado para la actualización adecuada de la información y observar de forma inmediata el estado de los equipos.

La forma de realizar la evaluación para el mantenimiento ejecutado se realiza mediante la creación de indicadores propios de las actividades como disponibilidad, tiempos entre reparaciones, tiempo de respuesta ante mantenimiento correctivos urgentes y tiempo de respuesta ante mantenimientos correctivos programados entre otros. Dichos indicadores deben ser contruidos de acuerdo a cada departamento y organización. Los cargos directivos deben ser capaces de interpretar y concluir en base a los resultados para determinar las acciones a tomar y seguir con la filosofía de la mejora continua.

De acuerdo con lo mencionado en el artículo de investigación se corrobora de manera técnica que la efectividad en el funcionamiento y disponibilidad de un activo no se define únicamente de las fases de diseño y desarrollo, también es necesario llevar acabo la adecuada gestión del mantenimiento en la fase operación. De esta manera y basado en documentos de investigación se observan resultados en la implementación de el plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

5.1.2.2. Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica.

En el año 2016 los ingenieros (Díaz Concepción, y otros, 2016) mencionan que en la actualidad se busca aumentar la confiabilidad de los equipos de las empresas para generar un mayor valor en el área de mantenimiento y así enfocarlo como un recurso de la organización y no como un gasto. Por medio de la implementación de estas metodologías se logra un aumento en la confiabilidad de los equipos en un 92%. La única manera de demostrarlo es mediante indicadores que son el resultado de los procesos que se implementan, teniendo en cuenta que si

se aplica de la forma adecuada alineada a los objetivos organizacionales se puede lograr una reducción considerable en los costos del mantenimiento.

Gracias a las encuestas realizadas a los diferentes ingenieros de distintas especialidades se pudo concluir que la metodología de RCM es muy buena, sin embargo, la organización evaluada aún no está preparada para la implementación de RCM.

Tomando como referencia este artículo se podría generar cuestionarios para realizar el mismo ejercicio en área de mantenimiento de las instalaciones de Falabella Colina y así determinar que tanto se conoce del tema y a su vez sí sería factible realizar la implementación, empezando con uno de los activos más críticos, la planta eléctrica.

5.1.2.3. Revisión, Clasificación y análisis comparativo de modelos de gestión de mantenimiento.

En este artículo se los autores (López Campos & Crespo Márquez, 2008) hace un recorrido de los mantenimientos más importantes en la historia desde que se constituyó el mantenimiento como una metodología de gestión de conservación de activos. Los autores se enfocan en analizar cada uno de los modelos propuestos de mantenimiento y resaltar sus cualidades y debilidades de cada uno de sus procesos para poder hacer una selección exacta de lo que se necesitan en las diferentes organizaciones para el cumplimiento de los indicadores de gestión propuestos por la empresa para el área de mantenimiento.

Para esta investigación se recolectaron los datos de veinte modelos de mantenimiento y se relacionaron entre sí para tener una comparación más completa de cada una de las fortalezas que tienen y para dar una conclusión acerca de cuál modelo de mantenimiento es el más completo de los analizados. El análisis se realizó en varios pasos. Por ejemplo, en el primer paso se enumeraron los modelos de mantenimientos seleccionados. En el siguiente paso se hicieron

cuadros comparativos de cada uno de los procesos que utilizaban los modelos seleccionados y de esta forma se llegan a las conclusiones de cada uno de estos modelos utilizados, así como también, de los desafíos que enfrentan cada uno de ellos en cada momento de evolución de las empresas.

A pesar de la evolución que han tenido las empresas el autor se enfoca en mostrar como algunas empresas siguen teniendo un sistema arcaico de mantenimiento donde solo interviene si algo se daña y no tratan de alargar la vida útil de sus equipos, provocando muchas veces paradas de grandes producciones y pérdidas significativas de dinero.

Aunque algunas empresas manejan un mantenimiento nulo o insuficiente también existen otras donde la evolución de las mismas ha generado una mayor inversión en el área de mantenimiento generalmente en las grandes empresas, ya que han evidenciado la importancia que genera mantener la producción y los activos en el mejor punto posible.

La comparación de los diferentes modelos se hizo por medio de cada uno de los estándares aplicables, por ejemplo, se empezó con los basados en la ISO 9001 y se fueron analizando uno a uno para tener una base adecuada para su análisis.

Por medio de este artículo podemos conocer los diferentes modelos de mantenimiento más utilizados en el mundo, así como sus fortalezas y debilidades y de esta manera seleccionar el que se acople mejor a nuestras necesidades.

También los autores nos muestran las características más importantes entre los veinte modelos que toman para su análisis y nos dan un planteamiento muy crítico de cuáles son los modelos de mantenimiento más completos.

5.1.2.4. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Como Estrategia para Apoyar los Indicadores de Disponibilidad y Paradas Forzadas en la Planta.

En el año 2009 (Hung, 2009) plantea en su artículo las experiencias vividas con la implementación del mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para una planta de electricidad y explica porque las fallas o paradas de producción no pueden suceder ya que estas empresas deben funcionar en cada momento del año. La energía eléctrica es de mayor importancia para todas las empresas, además, la competencia es mayor ya que el precio del Kilowatt es mayor, constituyendo la estandarización de la calidad y la distribución de la energía, generando multas cuando ocurra energía de mala calidad en la producción o por competencia inapropiada con los demás proveedores energía eléctrica. Por ende las empresas que prestan este servicio se esfuerzan en tener siempre la disponibilidad de los equipos evitando cortes eléctricos, de esta forma, se han implementado modelos de mantenimiento enfocados en alta confiabilidad como los modelos de mantenimiento basado en el (RCM).

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para la planta de generación eléctrica según el autor se basa en estas características: (Hung, 2009)

- Considerar la fiabilidad inherente o propia del equipo.
- Asegurar continuidad de del desempeño de su función.
- Mantener la capacidad y la calidad productiva.
- Tener en cuenta la condición operacional.

En este artículo se destaca la implementación del modelo de mantenimiento en los sistemas auxiliares que son los más vulnerables a las fallas y así aumentar su confiabilidad y disminuir los tiempos de parada por completo, es así, como la empresa se ha enfocado en equipos de última tecnología en el área de mantenimiento para evitar los paros del equipo.

Para todo esto se generan algunas estrategias para mantener los equipos en la mejor manera posible y tener siempre una producción continua de energía eléctrica pero estas

estrategias no pueden superar el costo de la generación de dinero por motivos de producción por esto se deben hacer pequeños aportes a la implementación de este modelo de mantenimiento.

Como lo muestra el autor es de vital importancia hacer un seguimiento exhaustivo de los equipos a incorporar en el mantenimiento basado en confiabilidad para reconocer algunos fallos en el análisis planteado y evitar reproceso en la implementación del mismo.

Para poder tener ventajas sobre un área que tiene buenos competidores es importante ser flexible en los procesos de producción y para ello se deben implementar mejores planes de mantenimiento que generen constantemente una producción del servicio prestado sin elevar mucho los costos, ya que siempre debe hacer una ganancia para mantener la empresa a flote.

5.1.2.5. Aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a la Nuclear de Embalse.

En el 2010 los autores (Torres Valle, Perdomo Ojeda, Fornero, & Corcuera, 2010) escribieron para la revista Nucleus de la ciudad de la Habana Cuba un artículo donde se examina la seguridad de una planta nuclear por medio del mantenimiento centrado en confiabilidad. Este análisis se realizó junto a muchos especialistas de este campo desarrollando el objetivo principal del grupo de trabajo el cual mencionan que fue mejorar los procedimientos de seguridad de la planta nuclear por medio del RCM, de esta manera se rediseñaron algunos sistemas existentes en el área para hacerlos más eficientes en base a la seguridad.

Con el análisis efectuado en las instalaciones se obtuvieron mejoras en los procesos utilizando programación de mantenimientos preventivos y predictivos para lograr un ahorro en el trabajo de horas hombre y a su vez una disminución en los costos de mano de obra asociada al mantenimiento.

Para nuestro proyecto es de vital importancia realizar el análisis correspondiente siguiendo en el orden adecuado cada una de las etapas para la implementación de un RCM las cuales son: selección de sistemas críticos, análisis de la criticidad y determinación previa de acciones de mantenimiento recomendadas, revisión de la historia operacional y diseño de la política de mantenimiento a aplicar como lo mencionan (Torres Valle, Perdomo Ojeda, Fornero, & Corcuera, 2010).

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

En el año 2020 los ingenieros (Álvarez Zaldivar & Hernández Areu, 2020) determinaron para su artículo de 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. 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.

Se utilizaron muchas herramientas para disminuir los costos y aumentar la eficiencia de los procesos. Una de las metodologías que ayudan a la obtención de este logro es el mantenimiento centrado en confiabilidad, así, el artículo se centra en esta estrategia, sin embargo, hace énfasis en que es necesario complementar los resultados con la investigación y recolección de información a través de eventos ocurridos como en técnicas de detección y diagnóstico de fallas.

Este documento es muy útil puesto que favorece y complementa la investigación que se realiza proponiendo la selección de otras actividades que determinen las técnicas adecuadas para la propuesta de mantenimiento que se desea entregar para el área de mantenimiento en la Sede de Colina de Falabella de Colombia.

5.2. Marco teórico

5.2.1. Repaso en la historia del mantenimiento

El mantenimiento, así como lo define en su libro John Moubray (Moubray, 2004), ha pasado por tres generaciones en donde cada una tuvo gran importancia para consolidar lo que es hoy en día.

Primera generación: Hay que remontarse a la primera guerra mundial, allí los autores describen que la industria no estaba mecanizada, por lo general había equipos sobredimensionados generando una alta confiabilidad sin tener que realizar mantenimientos de alta capacidad. Los tiempos de paradas no eran una preocupación para los mantenedores.

Segunda generación: Ocurre a partir de la Segunda guerra mundial y la alta demanda en la creación de productos, ocasionando un aumento en la industrialización y mecanización de diversos tipos de máquinas generando como consecuencia el desarrollo de actividades preventivas para la manutención de ellas, en este punto, ya se empezaba a contemplar el tiempo de parada en las máquinas y los elevados costos por el *stand by* del equipo propiciando nuevas estrategias para la gestión e investigación del mantenimiento sobre el ciclo de vida de útil para la mejora en los procesos.

Tercera generación:

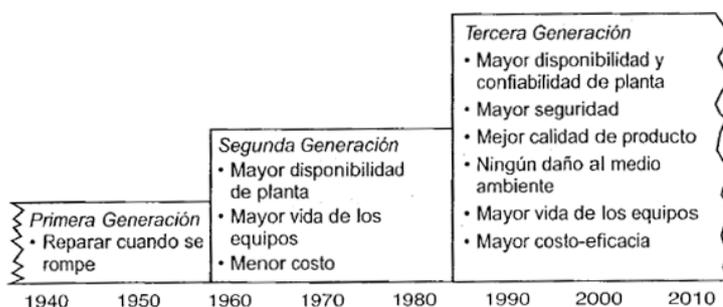
“Desde mediados de la década del setenta el proceso del cambio en la industria ha adquirido aún más impulso” (Moubray, 2004).

En esta etapa de la evolución de mantenimiento el autor menciona que hay tres puntos de vista en los que se puede observar al mantenimiento los cuales son: nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas. Se logra mirar el panorama general de la percepción sobre el mantenimiento a través de sus generaciones en cada uno de los aspectos mencionados anteriormente.

La evolución de las *expectativas* del mantenimiento señala que se convierte en un factor importante el tiempo de parada de una máquina, puesto que la cantidad en la producción se disminuye y su vez se elevan los costos operacionales. Cuando la industria comienza a ser más competitiva y más industrializada los equipos se vuelven más complejos lo cual conduce a que se debe tener un mayor seguimiento en cada uno de los sistemas, subsistemas y componentes que conforma la máquina. Cada falla que aparece indudablemente hace que se detenga el proceso productivo y por lo tanto se generen paradas no esperadas. De esta manera la disponibilidad y la confiabilidad en los activos se convierten en factor claves para el área de mantenimiento en las diferentes industrias como por ejemplo la minería, sector de transporte, sector salud, telecomunicaciones, entre otros.

También la seguridad y el medio ambiente entran a obtener una importancia relevante obligando a la industria a generar controles necesarios para minimizar el impacto que puedan tener. En cualquier proceso cuando aparece una falla funcional de un componente como consecuencia se pueden generar afectaciones en la seguridad y el medio ambiente. Teniendo en cuenta esto, al implementar controles se elevan los costos de operación y costos de manutención, cuestión que no se observaba en las generaciones anteriores del mantenimiento. Desde entonces los costos asociados al mantenimiento se convierten en un rubro de alta prioridad.

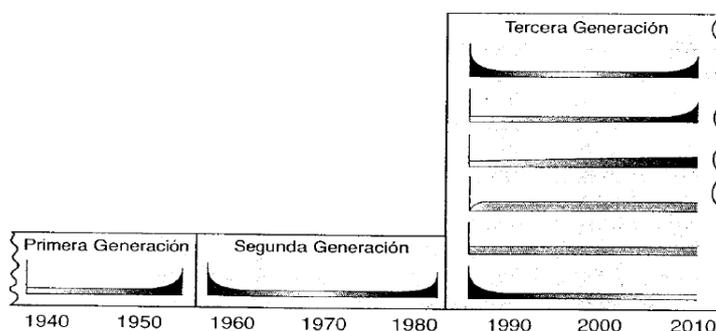
Figura 1. Expectativas del mantenimiento a través de las generaciones



Nota: Fuente: (Moubray, 2004).

El avance en las *investigaciones* y tomando como referencia los puntos de vista de las fallas en la evolución del ciclo de vida de una máquina a través de las diferentes generaciones de mantenimiento se llegó a la conclusión que para la tercera generación existen seis tipos de comportamientos, así como se observa en la figura 2, totalmente diferente a lo que se pensaba en la primera y segunda generación. Cada uno de ellos se diferencia entre sí por las condiciones de falla que puedan optar los equipos en relación con la edad del equipo. Estas investigaciones lograron determinar que muchas veces al realizar los mantenimientos correspondientes antes de la ocurrencia de la zona de desgaste se podría superar su vida útil.

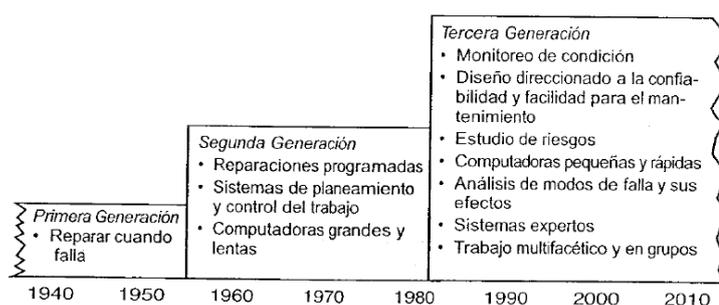
Figura 2. Percepción a través de las generaciones de mantenimiento sobre las condiciones de falla en relación con la edad de la máquina.



Fuente: (Moubray, 2004).

Debido a la constante evolución se han creado *nuevas técnicas* de mantenimiento las cuales se pueden observar en la figura 3, donde se escriben en cada una de las generaciones de forma general. Con el paso del tiempo se han ido apoyando con el uso de nuevas herramientas métodos, equipos de trabajo, entre otros, que han convertido al mantenimiento en pilar fundamental para la cadena productiva en cada una de las organizaciones. No existe un estándar sobre cómo realizar el correcto mantenimiento a equipos, es decir, la selección de cada estrategia o metodología se logra observando la naturaleza del funcionamiento y características de cada máquina para así mismo optimizar y reducir los costos en la no utilización de técnicas inapropiadas.

Figura 3. Cambios en las técnicas de mantenimiento.



Fuente: (Moubray, 2004).

5.2.2. Definición del mantenimiento

Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipo e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento. (García Garrido, 2003)

Otra definición que se puede citar es de autor John Moubray lo cual lo define como:

“Mantenimiento: asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan” (Moubray, 2004)

Los departamentos de mantenimiento hoy en día buscan prevenir el mayor número posible de fallas, estudiar las causas y los efectos que las producen y crear un plan de acción para contrarrestarlas con el fin de aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos o activos en el momento que sean necesario su uso. Para eso utilizan diferentes tipos de mantenimiento, cabe resaltar que no siempre es necesario la aplicación de solo uno, por lo contrario, la mayoría de las veces se usan de forma combinada según la necesidad que se está requiriendo en el activo físico.

Las siguientes definiciones se han tomado del autor (Garcia Garrido, 2003), el cual define de forma general cada uno de los tipos de mantenimiento.

5.2.2.1. 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.

5.2.2.2. Mantenimiento Preventivo

Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno.

5.2.2.3. 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 de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos.

5.2.3. RCM – Reability Centred Maintenance

Los procesos productivos cada día se ven en la necesidad de poner más atención en las fallas funcionales en algunos equipos y de porqué aparecen, ya que el estudio y análisis de estas nos dan la respuesta a las causas que las originan evitando la aparición de accidentes que se pueden traducir en pérdidas materiales, económicas e incluso humanas.

5.2.3.1. Historia del RCM

En 1974, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos comisionó a United Airlines para preparar un informe sobre los procesos usados por la industria de la aviación civil para elaborar programas de mantenimiento para los aviones. El informe resultante fue titulado Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (Moubray, 2004)

Algunos autores reconocidos como Stanley Nowlan y Howard Heap, autores que colaboraron en la investigación y documentación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad establecían que el mantenimiento programado que se aplicaba a la industria aeronáutica en los años 60's en la mayoría de las veces no lograba prevenir las fallas en algunos equipos generando un favor negativo en la confiabilidad y disponibilidad, ni siquiera, aplicando rigurosamente las metodologías del momento. Debido a esto se conformó un grupo de trabajo para determinar las capacidades de los mantenimientos que se estaban realizando a la flota aérea que al pasar del tiempo tendía al aumento del número de aviones. Se realizó inicial mente a un sistema de propulsión arrojando resultados interesantes y dos conclusiones contundentes: *“El reemplazo programado tiene poco efecto en la confiabilidad total de un ítem complejo a mejor que el*

mismo tenga un modo de falla dominante”, “hay muchos componentes para los cuales no existe una forma efectiva de mantenimiento programado”.

Siguiendo con el proceso de investigación en las metodologías de mantenimiento preventivo se establecieron procesos con enfoques lógicos basados en la confiabilidad, así, decidieron aplicarla a un avión comercial el Boenig 747. Se conoció como el MSG-1 definido como el primer plan de mantenimiento con enfoque en Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM. *“El programa de mantenimiento del Boenig 747 fue un éxito”.*

Posteriormente se desarrolló el MSG-2 con la aplicación de diferentes mejoras con el objetivo de crear programas de mantenimiento cíclicos para obtener un porcentaje de confiabilidad alto con el mejor costo posible. Estas estrategias de mantenimiento se realizaron a diferentes aviones de la industria comercial como Lockheed 1011 y Douglas DC10, también se aplicó a algunos de las fuerzas militares como Lockheed S-3 y P-3 con resultados favorables.

5.2.3.2. Continuación del RCM a RCM2.

Para la época de 1990 John Moubray junto con distinguidos colegas decidieron ampliar el Mantenimiento Centrado a Confiabilidad a la industria, inicialmente al campo minero, manufactura industrial, petroquímicas, transporte masivo, servicios públicos y empresas militares. Sin embargo, las regulaciones ambientales y de seguridad empezaron a jugar un papel importante en la industria de tal forma que fue necesario agregar estos impactos en la hoja de decisión del plan de mantenimiento. También se tuvieron en cuenta diversas observaciones para una mejor interpretación por parte del personal que pretendía aplicar el RCM2 con un lenguaje más técnico y acertado a la hora del desarrollo de la metodología.

5.2.4. Preguntas de RCM – SAE JA1101

Dado el impacto que tuvo el RCM en las empresas aeronáuticas y su expansión a otro tipo de industrias con el RCM2, diferentes promotores realizaban algunas adiciones y variaciones en los procesos que originalmente se establecieron explícitamente en el RCM. Estas diferencias dieron origen a la idea de crear un estándar universal que recopilara de forma sistemática la esencia del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad original y que por lo contrario si no cumplía con ciertos criterios en la implementación de procesos de mantenimiento no era conveniente nombrarlo RCM. A finales de los años 90's la Sociedad de ingenieros de la industria automovilística emiten el estándar mencionado anteriormente.

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, siguiendo los procesos divulgados por autores Stanley Nowlan y Howard Heap,

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.

Los anteriores fueron tomados directamente de la norma SAE JA 1101. (Society of Automotive Engineers, August 2009)

5.2.5. Definiciones principales del RCM

Sin duda el mantenimiento industrial ha tenido diferentes etapas a lo largo de su línea de evolución según los tiempos y necesidades de cada una. La implementación hoy día de cadenas de producción altamente industrializadas involucra diversos tipos de maquinarias que se ensamblan y se sincronizan entre sí con el único fin de crear productos y tal vez servicios que satisfagan de forma completa las necesidades del ser humano. Algunos ensambles con diseños básicos y también por lo contrario altamente complejos.

El personal a cargo de esta maquinaria por lo general gerentes, jefes, supervisores de mantenimiento buscan evitar que esta cadena de producción tenga paradas ya que como consecuencia se generan pérdidas en tiempo y dinero para la organización, por lo tanto, siempre se desea que los equipos tengan una alta confiabilidad.

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una filosofía la cual se organiza estructuralmente que permite obtener una gran efectividad y precisión sobre el activo al que se le aplique.

La información expresada a continuación es tomada del libro de RCM2 - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de John Moubrey (Moubrey, 2004)

5.2.5.1. 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, el porqué 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.

5.2.5.2. 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. Se define falla funcional *“cuando un activo no puede cumplir con la función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable”*

Figura 4. Determinación de falla por el usuario.



Fuente: (Moubray, 2004).

5.2.5.3. 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.

5.2.5.4. 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. *“El proceso de identificar funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla trae asombrosas y muchas veces*

apasionantes oportunidades de mejorar el rendimiento y la seguridad, así como también de eliminar el desperdicio”

5.2.5.5. 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.

5.2.6. Ventajas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM2

5.2.6.1. Mayor seguridad e integridad ambiental.

La metodología de RCM tiene en cuenta las consecuencias ambientales y de seguridad que pueden generar una serie de fallos. Al mismo tiempo se cumplen con rigurosidad los estándares y la normatividad competente al medio ambiente y seguridad.

5.2.6.2. Mejor funcionamiento operacional.

En el momento de seleccionar un tipo de estrategia de mantenimiento para un activo físico existente se pueden aplicar la que mejor se acomode a las necesidades logrando un buen desempeño, sin embargo, la estrategia RCM se implementa con gran acogida a activos nuevos de los cuales no se tienen registros sobre su mantenibilidad ahorrando procedimientos de prueba y error y también gastos innecesarios.

5.2.6.3. Mayor costo-eficacia del mantenimiento.

El costo se ve reflejado en un gran porcentaje con la programación de tareas puesto que ya no se abarca una numerosa cantidad sino solamente número específico de actividades sobre los puntos críticos. Al mismo tiempo como ya se conocen y se tienen identificados los modos de falla específicos para los componentes se puede contratar empresas externas que se dediquen únicamente al desarrollo del mantenimiento correspondiente, descartando así, grandes compañías que abarquen el mantenimiento de forma más general.

5.2.6.4. Mayor vida útil de los componentes.

Al desarrollar la estrategia de RCM los activos van a tener una calidad en el mantenimiento asegurándose de cumplir con las funciones que el usuario desea que realice. También se maximiza su utilización con la procura de prolongarse aún más de límite establecido por el fabricante. Lo anterior es posible cuando se tienen los cuidados adecuados en el activo teniendo en cuenta su operación.

5.2.6.5. Base de datos global.

Las hojas de información y hoja de decisión del análisis RCM2 crea una base de datos muy específica donde se pueden añadir nuevos registros haciendo posible la trazabilidad de funciones existentes y nuevas de acuerdo con los cambios en las regulaciones para maquinarias.

5.2.7. 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.

5.2.7.1. Modos de falla.

Un modo de falla está definido como *“cualquier evento que causa una falla funcional”* (Moubray, 2004). Está asociado directamente con la pérdida de una función principal. La descripción del modo de falla debe ser completa, específica; ya que a partir de ella se determinan el conjunto de acciones para corregirlo.

Es de gran importancia definirlos ya que es la única forma de identificar la mayoría de modos de falla mediante mantenimientos proactivos o antes de que ocurran; de lo contrario, si se realiza mantenimiento reactivo se estaría haciendo actividades después de que ocurren.

Al realizar el Análisis de Modo de Falla y sus Efectos no se consideran únicamente aquellos modos de falla por el deterioro, existen otros grupos en los que se pueden clasificar los

cuales son: Capacidad de trabajo por debajo del deseado, funcionamiento elevado por encima del deseado y funcionamiento del activo en la etapa inicial no es el deseado.

5.2.7.2. Efectos de falla.

“Los efectos de la falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla” (Moubray, 2004). Los efectos de falla responden a la pregunta ¿Qué sucede cuando se produce la falla?

Estos deben ser definidos con información requerida, en lo posible debe contener: evidencias de cómo se produjo la falla; formas de afectación a la producción, operación, medio ambiente y seguridad; tipo de daños que ocasiona la falla; para valorar qué tipo de consecuencias se pueden generar a partir del modo y el efecto de la falla funcional.

5.2.8. Tareas de mantenimiento según RCM

5.2.8.1. Tareas a condición.

“Las tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales, para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional” (Moubray, 2004). Las tareas a condición reciben este nombre porque los componentes analizados aún siguen en funcionamiento, buscan determinar por qué suceden las fallas basándose en el comportamiento, también, es conocido como mantenimiento predictivo.

“Las tareas a condición deben ser realizadas a intervalos menores al intervalo P-F”. Estas pueden ser realizadas en su mayoría sin tener que realizar desplazamientos en el componente, no interfieren con el proceso de producción. Identifican condiciones específicas de fallas potenciales.

5.2.8.1. Tareas de reacondicionamiento cíclico y sustitución cíclica.

“El reacondicionamiento cíclico consiste en reacondicionar la capacidad de un elemento o componente antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición en ese

momento” (Moubray, 2004). Algunos modos de falla están relacionados con la vida útil del elemento, cuando ocurre esto, la única forma de recuperar la condición inicial es reemplazándolo por uno nuevo. Lo ideal es evitar que llegue hasta ese punto y se realice el cambio para evitar costos y paradas no programadas. La sustitución cíclica consiste en el mismo principio de reacondicionamiento cíclico con la diferencia de que en esta no se realizó una evaluación del porque fallo el componente viejo.

Por lo general este tipo de tareas deben realizarse únicamente cuando el equipo está parado y dependiendo del componente se tendría que llevar a un lugar especializado afectando el proceso de producción. Generan más trabajo que las tareas a condición a su vez los costos al intervenir equipos son más elevados.

5.2.9. Planta Eléctrica

La planta eléctrica de combustión interna da solución a la eventualidad ausencia del recurso energético en las instalaciones de la empresa. Las especificaciones principales de la planta se encuentran en la figura 5.

El equipo funciona mediante un conjunto de componentes ensamblados para que a partir de un motor de combustión interna se genere energía eléctrica.

Figura 5. *Ilustración de planta eléctrica*



Fuente: <https://www.cummins.com/es/cummins-generators-power-systems>

Figura 6. Especificaciones Técnicas de planta Eléctrica Modelo GS 900

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PLANTAS IGSA 20 - 2750KW MOTOR CUMMINS													
Modelo	Capacidad 60Hz		EPA/TIER	Transferencia (Amp)		Dimensiones de Transferencia (Cm)			Dimensiones PDE Abierta (Cm)			Tanque (Lts)	Peso PDE Aprox. (Kg)
	KW	KVA		220V	440V	Ancho	Alto	Fondo	Largo	Ancho	Alto		
GS-20	20	25	1	70	40	46	122	34	175	128	100	190	603
GS-30	30	38	1	100	50	46	122	34	175	128	100	190	603
GS-40	40	50	1	150	70	57	123	34	175	144	100	230	924
GS-50	50	63	1	200	100	57	123	34	222	144	100	230	947
GS-60	60	75	1	200	100	57	123	34	222	144	100	230	1001
GS-100	100	125	1	400	200	61	142	36	222	169	100	270	1151
GS-125	125	157	1	400	200	61	142	36	222	152	100	270	1172
GS-175	175	219	1	600	300	61	160	43	234	168	111	270	1172
GS-200	200	250	1	700	350	86	183	51	250	152	101	270	2286
GS-250	250	313	3	800	400	86	183	51	263	177	106	270	2406
GS-300	300	375	3	1000	500	86	183	51	290	185	117	500	2990
GS-350	350	438	1	1200	600	97	221	58	290	201	110	500	3928
GS-400	400	500	1	1600	700	90	228	122	290	201	110	500	4063
GS-450	450	563	1	1600	800	90	228	122	334	192	134	500	4120
GS-500	500	625	1	1600	800	90	228	122	334	192	134	1000	5016
GS-600	600	750	1	2000	1000	90	228	122	383	225	166	1500	7045
GS-800	800	1000	1	3200	1600	90	228	122	410	223	179	2500	8426
GS-900	900	1125	1	3200	2000	90	228	122	409	238	200	2500	9700
GS-1000	1000	1250	1	3200	2000	90	228	122	409	238	200	2500	9715
GS-1250	1250	1563	1	4000	2000	90	228	122	495	236	209	2500	13464
GS-1500	1500	1875	1	5000	2500	90	228	122	513	236	209	2500	13950
GS-2000	2000	2500	1	6300	4000	90	228	122	628	333	265	2500	15407
GS-2500	2500	3125	1	NA	5000	90	228	122	763	306	292	2500	23400
GS-2750	2750	3438	1	NA	5000	90	228	122	763	306	292	2500	23400

Fuente: <https://www.cummins.com/es/cummins-generators-power-systems>

5.3 Marco legal

Tabla 1. Marco legal proyecto

Título	Numeral de la Norma	Descripción
Norma técnica colombiana NTC-OHSAS 18001: 2007 "Sistemas de gestión en seguridad y salud ocupacional"	Completo	<p>“El Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST, tiene como propósito la estructuración de la acción conjunta entre el empleador y los trabajadores, en la aplicación de las medidas de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) a través del mejoramiento continuo de las condiciones y el medio ambiente laboral, y el control eficaz de los peligros y riesgos en el lugar de trabajo. Involucramiento de los trabajadores para un trabajo en equipo en pro de la seguridad y la salud de todos que participan en la cadena de valor de una empresa. El Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST consiste en el desarrollo de un proceso lógico y por etapas, basado en la mejora, continua y que incluye la política, la organización, la planificación, la aplicación, la evaluación, la auditoría y las acciones de mejora con el objetivo de anticipar, reconocer, evaluar y controlar los riesgos que puedan afectar la seguridad y la salud en el trabajo. Para su efecto, la Entidad aborda la prevención de los accidentes de trabajo y enfermedades laborales, la protección y promoción de la salud de los trabajadores, a través de la implementación de un método lógico y por etapas cuyos principios se basan en el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, verificar y Actuar) y que debe incluir la política, organización, planificación, aplicación, evaluación, auditoría y acciones de mejora.”</p>
Norma Técnica Colombiana NTC ISO 14001:2015 “Sistema de Gestión Ambiental”	Completo	<p>“Esta Norma Internacional ha sido traducida por el Grupo de Trabajo Spanish Translation Task Force (STTF) del Comité Técnico ISO/TC 207, Gestión ambiental, en el que participan representantes de los organismos nacionales de normalización y representantes del sector empresarial de los siguientes países: Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, España, Estados Unidos de América, México, Perú y Uruguay. El logro de equilibrio entre el medio ambiente, la sociedad y la economía, se considera esencial para satisfacer las necesidades del presente sin poner en riesgo la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades. El desarrollo sostenible como objetivo se logra mediante el equilibrio de los “tres pilares” de la sostenibilidad. Las expectativas de la sociedad en cuanto a desarrollo sostenible, transparencia y responsabilidad y rendición de cuentas han evolucionado dentro del contexto de legislaciones cada vez más estrictas, presiones crecientes con relación a la contaminación del medio ambiente, uso ineficiente de recursos, gestión inapropiada de residuos, cambio climático, degradación de los ecosistemas y pérdida de biodiversidad”</p>

Nota: Se debe hacer referencia a la normatividad mencionada en esta tabla ya que por la naturaleza del equipo y de las operaciones que realiza es necesario contemplar.

Fuente: Creación propia.

6. Marco metodológico

6.1. Recolección de la información

En la actualidad Falabella de Colombia cuenta con un mantenimiento productivo total (TPM) en el cual se define mantenimientos preventivos periódicos, dentro de los cuales se ejecutan algunos mantenimientos predictivos y de acuerdo a los resultados de estos se planean y ejecutan algunos mantenimientos correctivos.

Debido a que una de las limitaciones para este documento de investigación es el acceso a la información se va a tomar como base el historial actual y disponible de la planta eléctrica creado por el departamento de mantenimiento incluyendo el cronograma que se tiene establecido en el último año. Al mismo tiempo se va a tener en cuenta aquella información que sea útil para el desarrollo de los objetivos específicos.

6.1.1. Tipo de investigación

Existen varias metodologías de la investigación de acuerdo a la problemática que se quiere resolver, proceso de desarrollo de la investigación, cantidad y calidad de información, entre otros factores, y también el tipo de resultados que se quiere ofrecer a los lectores. En la tabla 2 se describen las principales características de cada una de las metodologías para la investigación.

Cada tipo de investigación tiene enfoques diferentes en cuanto a los resultados deseados y se aplican principalmente para conocer un tema a profundidad empezando con una hipótesis sobre un problema en específico basado en información confiable y relacionada a través del tiempo. Entre las características principales que permiten diferenciar cada tipo de investigación

se encuentran el nivel de profundización, según el tipo de datos empleados, grado de manipulación de las variables, grado de impacto y tiempo de realización.

Tabla 2. Tipos de metodología de la investigación

Metodología de la investigación	Descripción
Cualitativa	Entendemos cualquier tipo de investigación que produce resultados a los que no se ha llegado por procedimientos estadísticos y otro tipo de cuantificación. Se refiere a investigaciones que tratan sobre de la vida de las personas, historias, comportamientos y también al funcionamiento organizativo, movimientos sociales o relaciones e interacciones. Algunos de los datos pueden ser cuantificados pero el análisis en sí mismo es cualitativo.
Cuantitativa	Busca cuantificar un fenómeno, más estructurada, objetiva. Ayuda a reducir la influencia del investigador en los resultados. Se enfoca en el comportamiento de una persona respondiendo preguntas como cuántas, con qué frecuencia y en qué medida. Los datos cuantitativos son numéricos. Piensa en cantidades medibles como longitud, tamaño, cantidad, precio y duración. Los datos se pueden usar para confirmar o descartar hipótesis. Los datos cuantitativos se analizan utilizando métodos estadísticos y se presentan en tablas, gráficos, porcentajes u otras representaciones estadísticas.

Nota: En la anterior tabla se describen los tipos de metodologías para la investigación.

Fuente. Apuntes de clase. Primer semestre 2020. Seminario de trabajo de grado I, Universidad ECCI, Especialización de Gerencia de Mantenimiento.

Tabla 3. Tipos de Investigación

Tipos de investigación	Características
Histórica	Analiza eventos del pasado y busca involucrarlos en otros del presente.
Documental	Analiza la información escrita sobre el tema objeto de estudio.
Descriptiva	Reseña rasgos, cualidades atributos de la población objeto de estudio.
Correlacional	Mide grado de relación entre variable de la población estudiada.
Explicativo estudio de caso	Da razones del por qué los fenómenos, analiza una unidad específica del universo recoge información del objeto de estudio en oportunidad única, compara los datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población con el propósito de evaluar cambios.

Experimental	Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o más variables que independientemente sobre otras que son independientes
---------------------	---

Nota: En la anterior tabla se describen los tipos de metodologías para la investigación.

Fuente: www.ecci.edu.co

El tipo de investigación que se utilizará es la histórica, ya que se analizarán datos del pasado acerca del activo analizado y comparándolos con los datos actuales. Por medio de estos datos se podrá tener una mayor idea del estado del equipo y cuál ha sido el mantenimiento realizado, su frecuencia y calidad.

6.1.2. Fuentes de obtención de información

6.1.2.1. Fuentes primarias.

Para llevar a cabo la recolección de la información se cuenta con los reportes actuales de la empresa contratista encargada de realizar el mantenimiento del sistema de soporte eléctrico. 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 RCM2.

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.

6.1.2.2. 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 guiarnos en el proceso de la elaboración del análisis de modo de falla y efecto 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.

6.1.3. Metodología

Cada uno de los objetivos específicos se desarrolla de forma independiente para obtener distintas conclusiones. A continuación, se presenta la metodología que se utiliza para el cumplimiento de los objetivos.

6.1.3.1. Desarrollo de objetivo específico No. 1.

A partir del plan de mantenimiento actual se realizará el análisis y revisión correspondiente para identificar las falencias, puntos fuertes y mejoras que se pueden obtener. Para ello es necesario contar con la información histórica correspondiente a la planta eléctrica que se encuentre disponible. Se utilizan los indicadores del análisis R.A.M que reflejan los resultados del plan de mantenimiento actual específico en el activo.

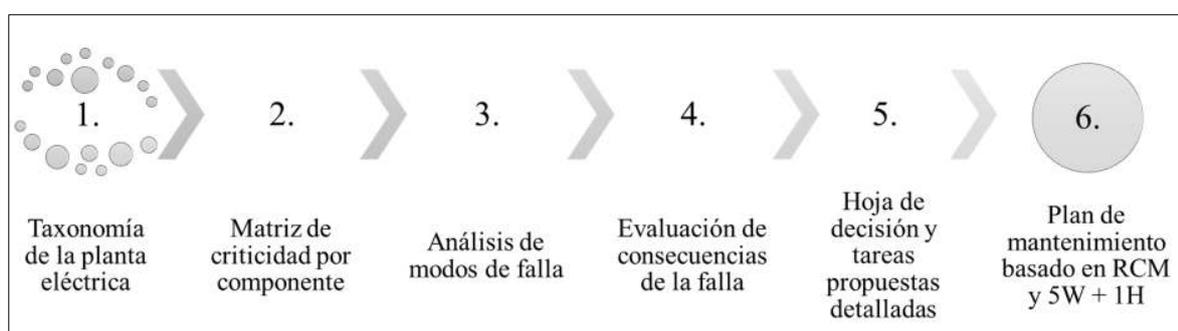
6.1.3.2. Desarrollo de objetivo específico No. 2.

Para el desarrollo de este objetivo se contempla la investigación de metodologías de mantenimiento aplicadas a nivel nacional y relevantes para la planta eléctrica. Al mismo tiempo indagación de los posibles planes de mantenimiento que pueden ofrecer empresas teniendo en cuenta dichas metodología.

6.1.3.3. Desarrollo de objetivo específico No. 3.

El desarrollo de la propuesta del plan de mantenimiento de la planta eléctrica se hará mediante la siguiente metodología como se indica en la figura 7. Cada uno de los pasos estipulados se describe a profundidad junto con su desarrollo en el numeral **6.2.3. Objetivo No 3.** – *Propuesta plan de mantenimiento* de este documento.

Figura 7. Metodología para creación de plan de mantenimiento basado en RCM.



Fuente: Creación propia.

6.2. Análisis de la información

6.2.1. Objetivo No. 1

El análisis de la información se realiza observando el plan de mantenimiento actual que se le está aplicando a la planta eléctrica. De esta forma se logra identificar los puntos fuertes, falencias y oportunidades de mejora. Al mismo tiempo se realiza un Análisis RAM (Reliability, Availability, Maintainability) con el fin de observar cómo se encuentran al día de hoy estos indicadores importantes. Actualmente a la planta eléctrica se le realiza un seguimiento muy superficial. A demás, no existen 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 Tabla 4: Histórico de fallas planta eléctrica Falabella sede Colina, se consolidó con la ayuda de todos los integrantes del departamento de mantenimiento el cual está conformado por técnicos mecánicos, técnicos eléctricos y jefe de mantenimiento general de la sede de Falabella en colina.

Tabla 4. Histórico de fallas planta eléctrica Falabella sede Colina.

#	FECHA	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN DE LA FALLA MTTR (HR)	TIEMPO ENTRE PARADAS MTBF (HR)
1	1/11/2016	Pre calentadores no están funcionando adecuadamente	24	360
2	12/03/2017	Planta eléctrica se quedó sin combustible	12	384

3	21/04/2017	Programación en tablero de control	24	288
4	1/01/2018	Batería de planta esta descargada	48	480
5	17/05/2018	Planta eléctrica se quedó sin combustible	24	408
6	29/06/2019	Pre calentadores no están funcionando adecuadamente	24	540
7	20/10/2019	Programación en tablero de control	48	180
8	21/02/2020	Planta eléctrica se quedó sin combustible	12	384
TOTALES			216	3024

Nota: En la anterior tabla se puede observar el histórico de fallas de la planta eléctrica. La información contenida en la tabla corresponde a información obtenida directamente de personal técnico.

Fuente: Creación propia

De acuerdo con el histórico de fallas se evidencia que se han presentado ocho (8) fallas desde el año 2016 hasta el año 2020. Para interpretar los datos se tiene en cuenta el análisis R.A.M y se obtienen los valores de MTBF (Tiempo medio entre fallas) y MTTR (Tiempo para reparación), a partir de estos se calculan los indicadores correspondientes a confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de planta eléctrica arrojando los siguientes valores que se observan en la figura 8: Resultados de análisis RAM Inicial. Los resultados obtenidos son de gran importancia ya que con ellos se puede hacer la comparación del plan de mantenimiento actual con respecto a la propuesta del plan de mantenimiento basado en confiabilidad.

La planta eléctrica se pone en operación únicamente cuando no existe suministro eléctrico por parte de la empresa local, lo cual significa que esta trabaja en promedio un total de 115.2 horas en el año, equivalentes a 9.6 horas en el mes incluyendo simulacros de operación y pruebas en funcionamiento. Sin embargo, debe estar totalmente disponible en caso de cualquier eventualidad.

Tabla 5. Análisis R.A.M de Planta Eléctrica Inicial (MTBF, MTTR)

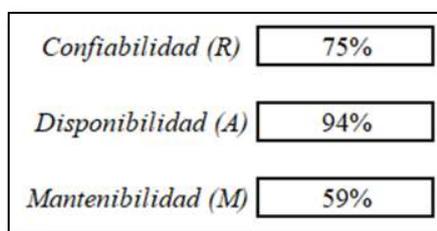
ANALISIS R.A.M PLANTA ELECTRICA INICIAL	
Cantidad de Fallas	8
Tiempo total de operación programado para producir	3240 hr

Tiempo promedio de operación TTO Promedio (Horas de uso por Año)	115,2	hr
Tiempo promedio de operación TTO Promedio (Horas de uso por Mes)	9,6	hr
Tiempo promedio de operación TTO Promedio (Horas de uso Día)	0,32	hr
Indicador MTBF	405	hr
Indicador MTTR	27	hr
Parámetro de forma, (manual de datos OREDA) B	1	
Tiempo previsto para reparación (t)	24	hr

Nota: En la anterior tabla se puede observar los resultados de MTBF Y MTTR para el cálculo de los indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad actuales de la planta eléctrica.

Fuente: Creación propia

Figura 8. Resultados de análisis R.A.M Inicial



Fuente: Creación propia

Por análisis previo que se realizó, se puede precisar que los valores de los indicadores de confiabilidad son de 75%, disponibilidad de 94% y mantenibilidad de 59% de acuerdo con el histórico de información que se tiene.

6.2.1.1. Plan de mantenimiento actual

El plan de mantenimiento actual está basado en la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y enfocándose en los mantenimientos preventivos esenciales para mantener en funcionamiento el equipo, de esta manera se ejecutan cuatro visitas donde se realizan actividades muy puntuales como la revisión del generador y la transferencia automática del equipo.

Figura 9. Plan de mantenimiento actual Planta Eléctrica Falabella Colina

VALOR MANTENIMIENTO AÑO 2									
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO DEL ALCANCE DE MANTTO	VISITAS ANUALES	FRECUENCIA	UND	CANT.	VR. UNITARIO POR EQUIPO	VR. VISITA	VR. TOTAL
1	FALABELLA REGIONAL CENTRO							\$ 9.586.875	\$ 37.563.037
1.6.1	GENERADOR IGSA 460KW/440VAC RGG125H051194	MP-RES01	4	TRIMESTRAL	UND	1	\$ 761.710	\$ 761.710	\$ 3.046.840
1.6.2	TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA 440VAC	MP-RES02	1	ANUAL	UND	1		\$ -	\$ -
1.7	FALABELLA LA FELICIDAD							\$ 784.463	\$ 2.353.389
1.7.1	GENERADOR CATERPILLAR 600 KVA	MP-RES01	3	TRIMESTRAL	UND	1	\$ 784.463	\$ 784.463	\$ 2.353.389
1.7.2	TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA 440VAC	MP-RES02	1	ANUAL	UND	1		\$ -	\$ -
1.8	FALABELLA DIVER PLAZA							\$ 784.463	\$ 3.137.852
1.8.1	GENERADOR STAMFORD 550 KVA	MP-RES01	4	TRIMESTRAL	UND	1	\$ 784.463	\$ 784.463	\$ 3.137.852
1.8.2	TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA 440VAC	MP-RES02	1	ANUAL	UND	1		\$ -	\$ -
1.9	FALABELLA COLINA							\$ 1.158.605	\$ 4.634.420
1.9.1	GENERADOR 990 KVA	MP-RES01	4	TRIMESTRAL	UND	1	\$ 1.158.605	\$ 1.158.605	\$ 4.634.420
1.9.2	TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA 440VAC	MP-RES02	1	ANUAL	UND	1		\$ -	\$ -
1.10	FALABELLA PLAZA CENTRAL							\$ 723.047	\$ 2.892.188
1.10.1	GENERADOR 500 KVA	MP-RES01	4	TRIMESTRAL	UND	1	\$ 723.047	\$ 723.047	\$ 2.892.188
1.10.2	TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA 440VAC	MP-RES02	1	ANUAL	UND	1		\$ -	\$ -
1.11	FALABELLA FONTANAR-CHÍA							\$ 723.047	\$ 2.892.188
1.11.1	GENERADOR SOMO 600 KVA - 485 KW/440VAC MOTOR DOOSAM, GENERADOR STANFORD	MP-RES01	4	TRIMESTRAL	UND	1	\$ 723.047	\$ 723.047	\$ 2.892.188
1.11.2	TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA 440VAC	MP-RES02	1	ANUAL	UND	1		\$ -	\$ -
1.12	FALABELLA LA PRIMAVERA-VILLAVICENCIO							\$ 734.822	\$ 2.939.288
1.12.1	GENERADOR SOMO - 600KVA/440VAC, MOTOR DOOSAN - TURBO 1800 RPM AT02950T	MP-RES01	4	TRIMESTRAL	UND	1	\$ 734.822	\$ 734.822	\$ 2.939.288
1.12.2	TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA 440VAC	MP-RES02	1	ANUAL	UND	1		\$ -	\$ -

Fuente: Creación propia.

6.2.1.2. Falencias y puntos débiles

Existen diferentes puntos débiles sobre el plan de mantenimiento actual que se le está realizando a la planta eléctrica. Dentro de ellos están:

- El presupuesto para el mantenimiento preventivo del equipo es muy bajo lo que genera costos muy altos en el mantenimiento correctivo.
- Las actividades a 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.

6.2.1.3. Fortalezas, puntos fuertes

El mantenimiento preventivo actual se ha enfocado en las partes más grandes y críticas del equipo.

Los periodos de mantenimientos son amplios.

6.2.1.4. Oportunidades de mejora

Implementar una hoja de vida más detallada de los componentes a mantener especificando cada una de las actividades que se deben ejecutar incluyendo frecuencias y duración por tareas. También, incluir componentes de alta criticidad que puedan generar paradas y aumentar el tiempo promedio entre fallas que disminuye el cumplimiento de indicadores de confiabilidad del equipo.

6.2.2. Objetivo No. 2

Para este objetivo se analizan varias metodologías como son:

6.2.2.1. TPM (Mantenimiento productivo total):

TPM es una metodología de mantenimiento cuyo objetivo principal es eliminar las pérdidas en producción debidas al estado de los equipos, o, en otras palabras, mantener los equipos en óptimas condiciones para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas. Esta metodología de mantenimiento supone los siguientes criterios para la consecución de todos sus objetivos:

- Cero averías: esta metodología tiene como objetivo evitar las paradas de los equipos por fallas de los elementos.
- Cero tiempos muertos: en caso de fallas de elementos es muy importante que los tiempos entre paradas sean los menores posibles para no generar retrasos en la producción.
- Cero defectos achacables a un mal estado de los equipos.

- Sin pérdidas de rendimiento o de capacidad productiva debidos al estado de los equipos.

Por ende, este mantenimiento está enfocado en su totalidad al aprovechar cada recurso a la producción de la compañía.

El mantenimiento ha sido visto tradicionalmente con una parte separada y externa al proceso productivo. El TPM emergió como una necesidad de integrar el departamento de mantenimiento y el de operación o producción para mejorar la productividad y la disponibilidad. En una empresa en la que TPM se ha implantado toda la organización trabaja en el mantenimiento y en la mejora de los equipos.

El mantenimiento productivo total se basa en ocho principios o pilares fundamentales.

- Estandarización autónoma: Participación activa de los operarios y del personal de producción, que consiste en elaborar actividades menos de mantenimiento para conservar el sitio de trabajo. Dentro de estas actividades encontramos que se pueden desarrollar habilidades. Emplear el equipo como herramienta de aprendizaje, desarrollo de análisis para resolución de problemas y creación de un nuevo pensamiento sobre el trabajo, construir y mantener las condiciones necesarias para que no existan averías, mejorar la moral del trabajador.
- Mejoras enfocadas: consiste en creación de diferentes tareas para realizar en grupos de personas que permitan optimizar la efectividad de los equipos de trabajo. El objetivo es listar y encontrar perdidas en fallos de equipos, perdidas por puesta en marcha, perdidas por problemas con herramientas de corte, perdidas por operaciones, perdidas por velocidad, perdidas por control de movimientos, perdidas por programación, perdidas por desorganización de las líneas de producción, perdidas por reprocesos, perdidas por

mediciones y ajustes, pérdidas por rendimientos de materiales, pérdidas por empleo eficiente de la energía, entre otros.

- **Mantenimiento planificado:** Realizar acciones preventivas, predictivas y de mejoramiento continuo que permiten evitar fallas. Es necesario contar con bases de información, obtención de conocimiento y experiencias. Mejorar la eficacia de las operaciones de mantenimiento.
- **Mantenimiento de la calidad:** Mejorar la calidad del producto reduciendo la variabilidad mediante el control de las condiciones de los componentes y condiciones del equipo. Realizando acciones de mantenimiento centradas al cuidado del equipo para que no genere defectos de calidad, prevenir defectos de calidad certificando que la maquinaria cumple con las condiciones de “cero defectos”, observar las variaciones de las características de los equipos para prevenir defectos y tomar acciones.
- **Control Inicial:** Actividades de mejora que se realizan en fase de diseño, construcción y puesta a punto con el objetivo de reducir los costos de mantenimiento durante su operación. Se propicia el desarrollo de la tecnología, investigación, desarrollo y diseño.
- **Administración eficiente:** El departamento de planificación, desarrollo y administración en ocasiones no producen valor directo a producción, pero facilitan y ofrecen el apoyo necesario para que el proceso productivo funcione eficientemente en la búsqueda de reducir las pérdidas que se pueden producir en el trabajo manual de las oficinas.
- **Educación y entrenamiento:** El objetivo de cada empleado es que conozca las técnicas y procedimientos de la máquina para así responder con calidad frente algún proceso. Se deben poseer habilidades, competencias y tener conocimiento de normas para identificar y detectar problemas en los equipos de trabajo, entender la relación entre los mecanismos de los equipos y las características, comprender el funcionamiento de los equipos.

- Seguridad y medio ambiente: se debe garantizar la minimización de accidentes de trabajo con la ayuda de la metodología de las 5's. Creación de un programa de seguridad e higiene donde se puedan llevar a cabo actividades como capacitación en normas actualizadas, supervisión de los puestos de trabajo, investigación de accidentes de trabajo, revisión e inspección de los mismos para mitigar los peligros.

Figura 10. Pilares del TPM



Fuente: Creación propia

6.2.2.2. CBM (Mantenimiento basado en condición):

El objetivo principal del mantenimiento basado en condición es monitorear y detectar las fallas futuras del equipo para que el mantenimiento se pueda programar de manera proactiva cuando sea necesario, y no antes. Las condiciones de los activos deben activar el mantenimiento dentro de un período de tiempo lo suficientemente largo antes de la falla, por lo que el trabajo puede finalizar antes de que el activo falle o el rendimiento caiga por debajo del nivel adecuado.

El CBM se realiza mientras el activo está funcionando, lo que disminuye las posibilidades de interrupción de las operaciones normales. Reduce el costo de las fallas de activos.

Figura 11. Ventajas y desventajas CBM

Ventajas	Desventajas
Minimiza el tiempo dedicado al mantenimiento.	Las fallas de fatiga o desgaste uniforme no se detectan fácilmente con las mediciones de MBC
Reduce las posibilidades de daños colaterales al sistema.	Puede requerir modificaciones
Mejora la seguridad de los trabajadores.	Los sensores de condición pueden no sobrevivir en el entorno operativo
Minimiza los costos de horas extras al programar las actividades.	Costo para capacitar al personal: necesita un profesional con conocimientos para analizar los datos y realizar el trabajo
Mejora la fiabilidad del equipo.	Periodos de mantenimiento impredecibles.

Fuente: Creación propia

6.2.2.3. RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad):

El mantenimiento centrado en fiabilidad (MCF) o RCM (Reliability Centered Maintenance) es una de las técnicas organizativas actuales aplicadas al mantenimiento que más significativamente mejora sus resultados. Es un proceso para determinar cuáles son las operaciones que debemos hacer para que un equipo o sistema continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, siempre y cuando sean rentables para la empresa.

Resulta muy adecuada para el diseño o la mejora del plan de mantenimiento preventivo de una instalación, persiguiendo conservar o incrementar la disponibilidad y seguridad de la misma mediante la asignación óptima de los recursos económicos disponibles. La implementación de las recomendaciones RCM contribuirá a la mejora de la eficiencia operativa de las instalaciones y, por tanto, al incremento de la rentabilidad de la utilización de los activos físicos implicados.

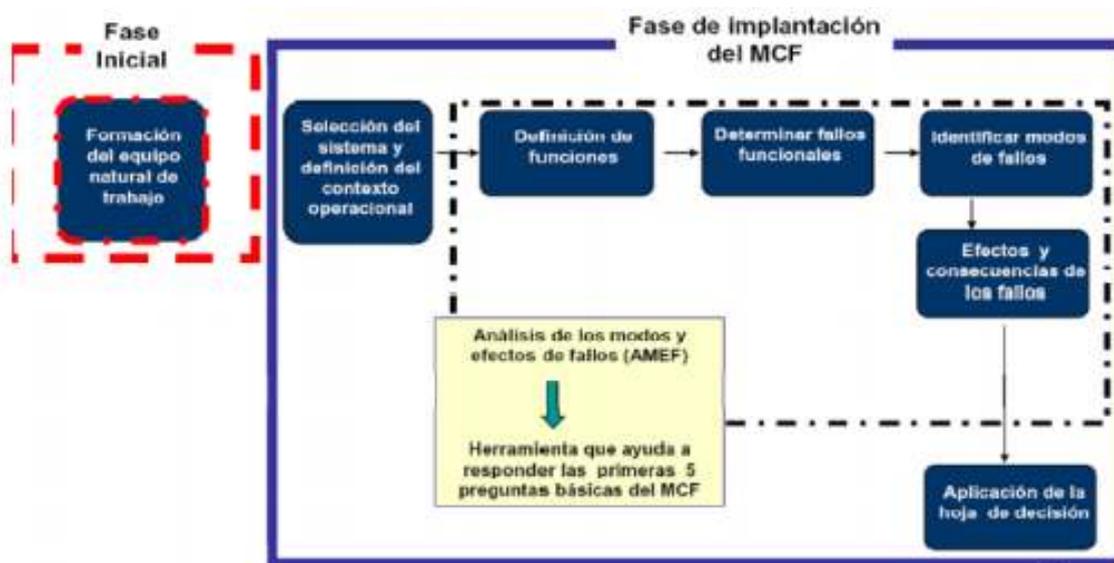
Figura 12. Esquema de RCM



Fuente: Creación propia

La idea central del RCM es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que los equipos mismos. El proceso consiste en una serie ordenada y lógica de pasos sistemáticamente orientados a identificar las funciones de los equipos, sus fallas funcionales, los modos y causas de fallas dominantes y sus efectos.

Figura 13. Fase de implantación RCM



Fuente: Creación propia

Uno de los costos más importantes para las empresas de transmisión son los relacionados con el mantenimiento, debido a este motivo nace la necesidad de que el mantenimiento de los activos de la empresa sean manejados con mayor análisis. Es por eso que los profesionales envueltos en las áreas operativas, dentro de la Transmisión de Energía Eléctrica, desean por razones obvias que sus activos se encuentren en estado de disponibilidad durante tanto tiempo como sea posible.

6.2.3. **Objetivo No 3. – Propuesta plan de mantenimiento**

La propuesta de solución a las deficiencias de disponibilidad que ha tenido el soporte del sistema eléctrico de Falabella Sede Colina es la implementación de la metodología basada en confiabilidad (RCM2), de esta forma priorizar el aumento de confiabilidad, disminución las fallas en los componentes y aumentar el tiempo promedio entre fallas (MTBF).

La propuesta de implementación de mantenimiento se encuentra desarrollada en los siguientes numerales.

6.2.3.1. Taxonomía del sistema de soporte eléctrico.

Determinar la taxonomía del activo que se está analizando (Planta Eléctrica CUMMINS) 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 6 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.

Tabla 6. Taxonomía de Planta Eléctrica CUMMINS

SUBSISTEMA	COMPONENTES	
1. Motor de combustión interna	1.1	Árbol de levas de la admisión.
	1.2	Culata
	1.3	Bloque de motor
	1.4	Cigüeñal
	1.5	Válvulas
	1.6	Pistones
	1.7	Cámara de admisión
	1.8	Inyectores
	1.9	Pre-calentadores
2. Sistema de carga y arranque	2.1	Alternador
	2.2.	Batería
	2.3	Correa de distribución
	2.4	Cableado
3. Sistema de abastecimiento de combustible	3.1	Tanque de almacenamiento
	3.2	Mangueras de combustible
	3.3	Bomba de inyección de combustible
	3.4	Filtro de combustible
	3.5	Tubería para combustible
4. Sistema de enfriamiento, refrigeración	4.1	Radiador
	4.2	Termostato
	4.3	Bomba de circulación de agua
	4.4	Ventilador

	4.5	Mangueras de agua
	4.6	Recipiente para agua
5. Sistema de Admisión de aire	5.1	Filtro de aire
	5.2	Compresor
	5.3	Turbocargador
	5.4	Mangueras
6. Sistema de lubricación	6.1	Carter
	6.2	Bomba de aceite
	6.3	Filtro de aceite
	6.4	Mangueras
7. Sistema de extracción de gases	7.1	Múltiple de escape
	7.2	Tubería de escape
	7.3	Exhosto
8. Sistema de control	8.1	Pantalla de control
	8.2	Tablero eléctrico
	8.3	Contactores
	8.4	Relevos
9. Generador	9.1	Estator
	9.2	Bobinado
	9.3	Eje principal
	9.4	Rodamientos
10. Estructura base de planta	10.1	Chasis - Estructura Base
	10.2	Guardas metálicas de protección
	10.3	Estructura base
	10.4	Caseta acústica
	10.5	Absorbedores de impacto

Nota: En la anterior tabla se encuentra la taxonomía de la planta eléctrica por subsistemas y posteriormente por componentes. Nivel al que se quiere llegar para proceder con el Análisis de Modo de falla y sus Efectos.

Fuente: Creación propia.

6.2.3.2. Matriz de criticidad por componente.

La matriz se utiliza para identificar que componente(s) de la planta eléctrica presentan un valor alto de criticidad a partir de la evaluación de la frecuencia vs consecuencia de cada uno. Con la ayuda de la taxonomía elaborada en la tabla 6 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.

Tabla 7. Matriz de criticidad por componente de la planta eléctrica.

SUBSISTEM A	CÓDIGO	COMPONENTE	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	GRADO
Motor de combustión interna (MCI)	PE-MCI-IY	Inyectores	3	5	15	A
	PE-MCI-PC	Pre-calentadores	3	5	15	A
	PE-MCI-PI	Válvulas, Pistones	3	4	12	A
Sistema de carga y arranque (SCA)	PE-SCA-CB	Baterías	2	2	4	B
	PE-SCA-AL	Alternador	2	4	8	M
	PE-SCA-CD	Correa de distribución	3	3	9	M
Sistema de almacenamiento de combustible (SAC)	PE-SAC-MF	Mangueras flexometálicas	1	3	3	B
	PE-SAC-FC	Filtro de combustible	2	4	8	M
	PE-SAC-BC	Bomba de combustible	1	5	5	M
	PE-SAC-TAQ	Tanque de almacenamiento	1	2	2	B
Sistema de admisión de aire (SER)	PE-SER-RAG	Recipiente agua	1	2	2	B
	PE-SER-MAG	Mangueras de agua	1	3	3	B
	PE-SER-RAD	Radiador	2	3	6	M
	PE-SER-TERM	Termostato	2	3	6	M
	PE-SER-VEN	Ventilador	3	2	6	M
Sistema de admisión de aire (SAA)	PE-SAA-F	Filtro de aire	3	2	6	M
	PE-SAA-TURB	Turbocargador	2	2	4	B
	PE-SAA-CO	Compresor	1	4	4	B
Sistema de lubricación (SL)	PE-SL-CA	Carter de aceite	1	4	4	B
	PE-SL-BA	Bomba de aceite	2	4	8	M
	PE-SL-FAC	Filtro de aceite	3	2	6	M
Sistema de extracción de gases (SEG)	PE-SEG-ET	Empaques de tubería	2	2	4	B
	PE-SEG-M	Múltiple	1	2	2	B
	PE-SEG-EX	Exhosto	1	1	2	B
Sistema de control (SCON)	PE-SCON-CE	Componentes eléctricos	2	4	8	M
	PE-SCON-TP	Tarjeta principal	3	4	12	A
	PE-SCON-CON	Contactores	3	3	9	M
	PE-SCON-REL	Relevos	2	2	4	B
Generador (GEN)	PE-GEN-ROD	Rodamientos	3	3	9	M
	PE-GEN-EST	Estator	2	4	8	M
	PE-GEN-SH	Eje principal	1	3	3	B

Nota: La anterior tabla identifica la criticidad de los diferentes componentes de la planta eléctrica. Los niveles de criticidad están definidos por la matriz de Impacto Vs. Frecuencia. El resultado de cada uno se interpreta de la siguiente manera. A: Criticidad Alta, M: Criticidad Media y B: Criticidad Baja. Los componentes críticos encontrados son los inyectores, precalentadores, válvulas, pistones y la tarjeta electrónica principal puesto que obtuvieron la calificación más alta (A: Criticidad Alta) en la matriz de criticidad evaluada.

Fuente: Creación propia.

6.2.3.3. Análisis de modos de fallas y efectos de los componentes.

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 la planta eléctrica. Se realizó un nivel adecuado para conocer las posibles causas y se determinó el efecto que logra al realizarse la falla funcional. Estos efectos podrían aparecer en los componentes analizados en cualquier momento de su vida útil.

Para efectos de mejor visualización el desarrollo del análisis se encuentra agrupado en las tablas 8, 9 y 10. Sin embargo, la tabla con toda la información completa se encuentra en el

Anexo 1 - Hoja de Información Planta Eléctrica.

Tabla 8. Análisis Modos de Falla y Efectos. Componentes y Función principal

SUBSISTEMA	COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIÓN PRINCIPAL
Motor de combustión interna (MCI)	Inyectores	PE-MCI-IY-1	Dirigir combustible hacia cuerpo de inyección para cámara de admisión
	Pre-calentadores	PE-MCI-PC	Generar un precalentamiento del motor para evitar choque térmico
	Pistones	PE-MCI-PI-1	Transmitir la energía generada a los demás componentes mecánicos
Sistema de carga y arranque (SCA)	Baterías	PE-SCA-CB-1	Almacenar energía eléctrica para uso de la planta.
	Alternador	PE-SCA-AL-1	Transformar la energía mecánica en energía eléctrica.
	Correa de distribución	PE-SCA-CD-1	Sincronizar a rotación de los ejes principales para que funcionen en un mismo tiempo

Sistema de almacenamiento de combustible (SAC)	Mangueras flexométalicas	PE-SAC-MF-1	Suministrar el combustible al motor
	Filtro de combustible	PE-SAC-FC-1	Mantener el combustible sin rastro de partículas
	Bomba de combustible	PE-SAC-BC-1	Mantener un flujo constante de combustible en el equipo
	Tanque de almacenamiento	PE-SAC-TAQ-1	Almacenamiento de combustible
Sistema de admisión de aire (SER)	Recipiente agua	PE-SER-RAG-1	Retener líquido refrigerante en un rango de niveles Máximo y mínimo.
	Mangueras de agua	PE-SER-MAG-1	Transpirar el líquido refrigerante para el motor
	Radiador	PE-SER-RAD-1	Hacer la transferencia de calor
	Termostato	PE-SER-TERM-1	Informar sobre la temperatura del equipo
	Ventilador	PE-SER-VEN-1	Eliminar/regular la temperatura del motor y componentes
Sistema de admisión de aire (SAA)	Filtro de aire	PE-SAA-F-1	Mantener un suministro constante de oxígeno limpio en el motor
	Turbocargador	PE-SAA-TURB-1	Aumentar el oxígeno inyectado al motor para aumentar la potencia
	Compresor	PE-SAA-CO-1	Incrementar el rendimiento y optimizar la combustión
Sistema de lubricación (SL)	Carter de aceite	PE-SL-CA-1	Almacenamiento de aceite que lubrica todas las partes metálicas del motor
	Bomba de aceite	PE-SL-BA-1	Bombear lubricante a los mecanismos del equipo
	Filtro de aceite	PE-SL-FAC-1	Mantener el fluido sin impurezas
Sistema de extracción de gases (SAG)	Empaques de tubería	PE-SEG-ET-1	Reducir el nivel de vibraciones entre partes metálicas de la tubería del exhosto
	Múltiple	PE-SEG-M-1	Redirigir los gases
	Exhosto	PE-SEG-EX-1	Evitar que los gases se acumulen en el motor y reduzcan su eficiencia
Sistema de control (SCON)	Componentes eléctricos	PE-SCON-CE-1	Dar funcionalidad a las partes mecánicas que están automatizadas
	Tarjeta principal	PE-SCON-CC-1	Dirigir todas las funciones del equipo
	Contactores	PE-SCON-CON-1	Encender y apagar el equipo
	Relevos	PE-SCON-REL-1	Iniciar encendido de elementos electrónicos

Generador (GEN)	Rodamientos	PE-GEN-ROD-1	Generar la energía eléctrica desde el equipo
	Estator	PE-GEN-EST-1	Transmitir potencia o corriente eléctrica
	Eje principal	PE-GEN-SH-1	Dirigir la potencia a los elementos mecánicos
Estructura base de planta (EBP)	Caseta acústica	PE-EBP-CA-1	Aislar el ruido que se produce en la planta eléctrica hacia el exterior.
Estructura base de planta (EBP)	Absorbedores de Impacto	PE-EBP-AI-1	Disminuir el nivel de vibraciones en la planta por el movimiento normal de operación

Nota: Descripción de funciones principales de cada componente. Permite identificar los modos de falla.

Fuente: Creación propia.

Una vez obtenidas las funciones principales de cada uno de los componentes es más fácil identificar los 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.

Tabla 9. *Análisis Modos de Falla y Efectos. Fallas funcionales y Modos de falla.*

CÓDIGO	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA NIVEL 1	MODO DE FALLA NIVEL 2
PE-MCI-IY-1	Taponamiento de inyectores	Obstrucción en algún inyector por suciedad en el combustible.	Taponamiento de inyectores
PE-MCI-PC	Pre calentador fundido por altas temperaturas	Resistencias dañadas	N/A
PE-MCI-PI-1	Falla en empaquetadura del bloque	Fuga de aceite por medio del bloque con la culata	El empaque entre el Carter y el bloque esta desgastado por vida útil
PE-SCA-CB-1	Planta eléctrica no enciende	Batería de planta eléctrica esta descargada	Se evidencia desgaste total de batería por vida útil
PE-SCA-AL-1	Planta eléctrica no enciende	Alternador no está funcionando correctamente	Al parecer el bobinado del alternador está muy desgastado
PE-SCA-CD-1	Planta eléctrica no enciende	Correa de distribución esta averiada	La correa seleccionada es lisa lo cual genera más fricción.
PE-SAC-MF-1	Taponamiento de mangueras abastecimiento	Mangueras de combustible se encuentran oxidadas en su interior	Genera poco paso de combustible por disminución de diámetro del ducto
PE-SAC-FC-1	Taponamiento en filtro	Impurezas y partículas de gasolina	Mal funcionamiento del equipo por partículas en gasolina

PE-SAC-BC-1	Taponamiento por material particulado	Material particulado que logra atravesar genera taponamiento del elemento	Genera oxidación en los componentes metálicos del sistema
PE-SAC-TAQ-1	Oxidación de la estructura	Oxidación de estructura interna por ingreso de sustancias químicas no compatibles	Los aditivos usados pueden generar capas en las tuberías y componentes de abastecimiento
PE-SER-RAG-1	Fuga de líquido refrigerante	Recipiente de líquido refrigerante presenta fisuras	Mezcla de refrigerante con el combustible
PE-SER-MAG-1	Fuga de líquido refrigerante	Mangueras de agua se encuentran mal instaladas	Aumento de temperatura en los elementos que dependen del radiador
PE-SER-RAD-1	Daño de serpentín	Estructura de radiador presenta golpes	Aumento de la temperatura en diferentes elementos de los sistemas
PE-SER-TERM-1	No dar aviso sobre el aumento de la temperatura cuando el equipo funciona de forma inadecuada	Sobrecalentamiento debido a mal funcionamiento de termostato	Aumento de presión en el activo generando apagado del sistema por medio del presostato
PE-SER-VEN-1	Daño eléctrico	Daño de bobina por elevación de voltaje	No puede encender la tarjeta principal ya que el voltaje que le llega es muy bajo
PE-SAA-F-1	Filtro de aire superó horas de trabajo	Taponamiento del filtro de aire por suciedad	Puede disminuir la potencia generada ya que no recibe el suministro de aire adecuado
PE-SAA-TURB-1	Funcionamiento inadecuado del turbocargador	Fugas de presión en turbocargador	Exceso de partículas en el filtro de aire. Filtro de aire se encuentra mal instalado
PE-SAA-CO-1	Carbonización de la carcasa del cojinete	Falta de lubricación en compresor	Representante del cliente realizó una mala selección del aceite en la rutina de mantenimiento
PE-SL-CA-1	Perdida de nivel de aceite adecuado para la operación	Temperatura elevada en diferentes componentes mecánicos	Fuga de lubricante por algún sello, o inclusive tapón
PE-SL-BA-1	Perdida de presión	Perdida de presión por taponamiento	La tornillería de ensamble no está completa. Hay residuos de aceite en la superficie de montaje
PE-SL-FAC-1	Taponamiento	El material particulado puede generar taponamiento en el elemento aumentando la presión	No existía filtro de aceite en stock de almacén, postergando el cambio del filtro para el siguiente mantenimiento
PE-SEG-ET-1	Vibraciones excesivas en el exhosto.	Tornillería y componentes de sujeción sueltos o con partes faltantes	Por descuido en el último mantenimiento no se realizó la verificación correspondiente del ajuste de la tornillería
PE-SEG-M-1	Vibraciones excesivas en el múltiple	Desajuste y pérdida de tornillería en mecanismo	Por descuido en el último mantenimiento no se realizó la verificación correspondiente del ajuste de la tornillería

PE-SEG-EX-1	Mal funcionamiento del exhosto	Aumento considerable los decibles cuando la planta se encuentra en operación	Trabajo durante mucho tiempo con vibraciones excesivas provocando fisuras y grietas
PE-SCON-CE-1	Falla en funcionalidad	Falla en relés o componentes eléctricos	Contactos y conexiones eléctricas se encuentran flojas, están desajustados. No están haciendo buen contacto
PE-SCON-CC-1	Falla en programación o automatización del equipo	Fallas en la tarjeta de programación	Vibraciones excesivas en el compartimiento de la tarjeta de programación. Suciedad, polvo, humedad al interior del módulo evitan refrigeración adecuada
PE-SCON-CON-1	No enciende equipo	Falla de contactor por vida útil que no genere encendido en el equipo	Contactos y conexiones eléctricas se encuentran flojas, están desajustados. No están haciendo buen contacto
PE-SCON-REL-1	Tarjetas sin energizar	Daño en relé por vida útil o sobrevoltaje	Contactos y conexiones eléctricas se encuentran flojas, están desajustados. No están haciendo buen contacto
PE-GEN-ROD-1	Fallas en los rodamientos del eje principal	Rodamientos evidencian sonidos inusuales	Punto de lubricación de rodamiento se encuentra con taponamiento, no permite el ingreso de grasa al rodamiento, Lubricación en rodamiento no es la suficiente
PE-GEN-EST-1	Falla en bobinado	Falla en el bobinado por sobrevoltajes	La presencia de humedad en el ambiente propicia la oxidación sobre las espiras del bobinado
PE-GEN-SH-1	Fatiga del elemento	Sobre presión del elemento que puede generar fatigas estructurales	Montaje entre componentes puede que presente desajuste, desplazándose algunos centímetros de su lugar inicial
PE-EBP-CA-1	Ruido excesivo	Se escucha bastante ruido cuando la planta entra en operación	Tornillos sujeción no tienen tuercas ni arandelas
PE-EBP-AI-1	Daño en elementos por vibración	Desajuste de elementos	Por descuido en el último mantenimiento no se realizó la verificación correspondiente del ajuste de la tornillería

Nota: En esta tabla se encuentra la descripción de la falla funcional, modos de falla nivel 1 y modos de falla nivel 2 para determinar los efectos y causas que generan.

Fuente: Creación propia.

Tabla 10. Análisis Modos de Falla y Efectos. Efectos y causas de modos de falla.

COMPONENTE	CÓDIGO	EFEECTO (¿QUE SUCEDE CUANDO SE PRODUCE LA FALLA?)	CAUSA
------------	--------	---	-------

Inyectores	PE-MCI-IY-1	Los inyectores dejan de brindar el combustible al equipo lo que genera una alarma en el equipo por aumento de presión y de temperatura.	Obstrucción en algún inyector por suciedad en el combustible.
Pre-calentadores	PE-MCI-PC	Las resistencias se pueden dañar por temperaturas muy altas o por largos periodos de tiempo de trabajo	Vida útil del elemento
Pistones	PE-MCI-PI-1	Se generan fugas de combustible ya que no hay un buen cierre hermético entre la manguera y el equipo.	Empaquetadura defectuosa
Baterías	PE-SCA-CB-1	El mecanismo de encendido de la planta no se mantiene por lo cual genera una alarma y el apagado inmediato de la planta	Se evidencia desgaste total de batería por vida útil
Alternador	PE-SCA-AL-1	El daño del alternado evita el encendido de los componentes eléctricos del motor eléctrico	El alternador está generando una carga eléctrica muy pequeña
Correa de distribución	PE-SCA-CD-1	No transfiere la potencia necesaria al equipo	La correa supera la vida útil sugerida
Mangueras flexométalicas	PE-SAC-MF-1	Disminución de potencia eléctrica por poco paso de combustión y apagado de equipo por taponamientos de filtros.	El combustible se puede ensuciar por el óxido de las mangueras generando taponamientos
Filtro de combustible	PE-SAC-FC-1	Apagado de emergencia del equipo por alarma de sobrepresión debido a taponamiento en filtros.	Las impurezas de la gasolina generan taponamiento en los filtros
Bomba de combustible	PE-SAC-BC-1	Apagado de emergencia del equipo por alarma de sobrepresión debido a taponamiento en filtros.	El material genera obstrucción en las mangueras de distribución
Tanque de almacenamiento	PE-SAC-TAQ-1	Daño de componentes metálicos por oxidación	El combustible se puede ensuciar por el óxido de las mangueras generando taponamientos
Recipiente agua	PE-SER-RAG-1	Puede generar el daño de los componentes del motor de combustión por mezcla de refrigerante en el sistema	Empaquetadura defectuosa
Mangueras de agua	PE-SER-MAG-1	Cortos circuitos y calentamiento excesivo en elementos mecánicos, generando malfuncionamiento.	Aumento de temperatura en los elementos que dependen del radiador
Radiador	PE-SER-RAD-1	Calentamiento excesivo en equipo, que genera apagado de emergencia en equipo	Mala transferencia de calor por daño de serpentines
Termostato	PE-SER-TERM-1	La sobrepresión puede generar daño en elementos mecánicos que generan un apagado total de la planta eléctrica	Aumento de presión en el activo generando apagado del sistema por medio del presostato

Ventilador	PE-SER-VEN-1	Daño en la automatización de la planta eléctrica porque la tarjeta no enciende o está dañada por daño en bobina	Esto puede generar bajas de energía en la tarjeta y la puede dañar
Filtro de aire	PE-SAA-F-1	Daño en los mecanismos internos del motor de combustión interna, generando un correctivo mayor	Esto puede generar sobrepresión en el sistema de admisión por poco suministro de aire
Turbocargador	PE-SAA-TURB-1	Funcionamiento inadecuado afectando otros sistemas de la planta eléctrica	No se han realizado los mantenimientos preventivos en el momento requerido
Compresor	PE-SAA-CO-1	Rendimiento del compresor no es el requerido para el funcionamiento óptimo de la planta	Apriete del tapón del compartimiento de aceite no se realizó adecuadamente
Carter de aceite	PE-SL-CA-1	Varios componentes de la planta eléctrica se pueden ver afectados, el costo de reparación es elevado	Nivel de aceite por debajo del recomendado por el fabricante
Bomba de aceite	PE-SL-BA-1	Funcionamiento inadecuado de bomba de aceite, cuando hay fuga de aceite se producen derrames	No se encuentra bien instalada la bomba de aceite, mal montaje
Filtro de aceite	PE-SL-FAC-1	No circula el aceite por los circuitos donde es necesario afectado otros componentes	No se hizo el cambio del filtro de aceite en el momento indicado
Empaques de tubería	PE-SEG-ET-1	Aumento en el ruido por choque entre partes metálicas	Tornillería suelta o faltante
Múltiple	PE-SEG-M-1	Escape de gases por en medio de la brida	Tornillería suelta o faltante
Exhosto	PE-SEG-EX-1	Afectan el rendimiento y la potencia de la planta eléctrica	Tornillería suelta o faltante
Componentes eléctricos	PE-SCON-CE-1	No circula la energía eléctrica hacia componentes mecánicos automatizados	Desajuste en las conexiones eléctricas
Tarjeta principal	PE-SCON-CC-1	Componentes por sobrecalentamiento no tienen la ventilación adecuada para la operación	Suciedad, polvo, humedad al interior del módulo evitan refrigeración adecuada
Contactores	PE-SCON-CON-1	No circula la energía eléctrica hacia componentes mecánicos automatizados	Desajuste en las conexiones eléctricas
Relevos	PE-SCON-REL-1	No circula la energía eléctrica hacia componentes mecánicos automatizados	Desajuste en las conexiones eléctricas

Rodamientos	PE-GEN-ROD-1	Deterioro de los rodamientos hasta el punto en que se vuelve necesario el cambio	Deficiencia en la lubricación, no se hace oportunamente.
Estator	PE-GEN-EST-1	No permite la generación de energía eléctrica, energía para suministrar	La presencia de humedad en el ambiente propicia la oxidación en el bobinado
Eje principal	PE-GEN-SH-1	Reducción en la vida útil del eje principal	Elementos rotativos desalineados
Caseta acústica	PE-EBP-CA-1	Aumento en el ruido de operación de la planta eléctrica por desajuste en la caseta acústica	Faltan tornillos de sujeción de la caseta acústica con la estructura de soporte
Absorbedores de Impacto	PE-EBP-AI-1	Aumento en el ruido de operación de la planta eléctrica por desajuste en la caseta acústica	Mantenimiento preventivo incompleto

Nota: En esta tabla se pueden observar los efectos y las causas originadas por los modos de fallas identificados anteriormente.

Fuente: Creación propia.

6.2.3.4. Evaluación de consecuencias de la falla.

Cada uno de los modos de fallas evidenciadas anteriormente puede ocasionar diferentes tipos de consecuencias. Estas de acuerdo con lo mencionado anteriormente por (Moubray, 2004) 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 de la implementación del mantenimiento para el sistema de soporte eléctrico de Falabella sede Colina.

Tabla 11. Análisis Modos de Falla y Efectos. Consecuencias de los modos de falla.

CÓDIGO	COMPONENTE	CAUSA	CONSECUENCIAS
PE-MCI-IY-1	Inyectores	Obstrucción en algún inyector por suciedad en el combustible.	No operacional
PE-MCI-PC	Pre calentadores	Vida útil del elemento	No operacional
PE-MCI-PI-1	Pistones	Empaquetadura defectuosa	Operacional

PE-SCA-CB-1	Baterías	Se evidencia desgaste total de batería por vida útil	No operacional
PE-SCA-AL-1	Alternador	El alternador está generando una carga eléctrica muy pequeña	No operacional
PE-SCA-CD-1	Correa de distribución	La correa supera la vida útil sugerida	Operacional
PE-SAC-MF-1	Mangueras flexométalicas	El combustible se puede ensuciar por el óxido de las mangueras generando taponamientos	No operacional
PE-SAC-FC-1	Filtro de combustible	Las impurezas de la gasolina generan taponamiento en los filtros	Ocultas
PE-SAC-BC-1	Bomba de combustible	El material genera obstrucción en las mangueras de distribución	Ocultas
PE-SAC-TAQ-1	Tanque de almacenamiento	El combustible se puede ensuciar por el óxido de las mangueras generando taponamientos	Ocultas
PE-SER-RAG-1	Recipiente agua	Empaquetadura defectuosa	Operacional
PE-SER-MAG-1	Mangueras de agua	Aumento de temperatura en los elementos que dependen del radiador	No operacional
PE-SER-RAD-1	Radiador	Mala transferencia de calor por daño de serpentines	No operacional
PE-SER-TERM-1	Termostato	Aumento de presión en el activo generando apagado del sistema por medio del presostato	No operacional
PE-SER-VEN-1	Ventilador	Esto puede generar bajas de energía en la tarjeta y la puede dañar	No operacional
PE-SAA-F-1	Filtro de aire	Esto puede generar sobrepresión en el sistema de admisión por poco suministro de aire	Ocultas
PE-SAA-TURB-1	Turbocargador	No se han realizado los mantenimientos preventivos en el momento requerido	No operacional
PE-SAA-CO-1	Compresor	Apriete del tapón del compartimento de aceite no se realizó adecuadamente	Medio ambiente
PE-SL-CA-1	Carter de aceite	Nivel de aceite por debajo del recomendado por el fabricante	Medio ambiente
PE-SL-BA-1	Bomba de aceite	No se encuentra bien instalada la bomba de aceite, mal montaje	Operacional
PE-SL-FAC-1	Filtro de aceite	No se hizo el cambio del filtro de aceite en el momento indicado	Medio ambiente
PE-SEG-ET-1	Empaques de tubería	Tornillería suelta o faltante	No operacional
PE-SEG-M-1	Múltiple	Tornillería suelta o faltante	Ocultas
PE-SEG-EX-1	Exhosto	Tornillería suelta o faltante	Ocultas

PE-SCON-CE-1	Componentes eléctricos	Desajuste en las conexiones eléctricas	Operacional
PE-SCON-CC-1	Tarjeta principal	Suciedad, polvo, humedad al interior del módulo evitan refrigeración adecuada	Operacional
PE-SCON-CON-1	Contactores	Desajuste en las conexiones eléctricas	Ocultas
PE-SCON-REL-1	Relevos	Desajuste en las conexiones eléctricas	Ocultas
PE-GEN-ROD-1	Rodamientos	Deficiencia en la lubricación, no se hace oportunamente.	No operacional
PE-GEN-EST-1	Estator	La presencia de humedad en el ambiente propicia la oxidación en el bobinado	Ocultas
PE-GEN-SH-1	Eje principal	Elementos rotativos desalineados	Operacional
PE-EBP-CA-1	Caseta acústica	Faltan tornillos de sujeción de la caseta acústica con la estructura de soporte	Medio ambiente
PE-EBP-AI-1	Absorbedores de Impacto	Mantenimiento preventivo incompleto	Medio ambiente

Nota: En esta tabla se determinaron las consecuencias por cada componente y modo de falla. A partir de ellas se desarrolla la hoja de decisión de RCM2 y se plantean las tareas propuestas.

Fuente: Creación propia.

6.2.3.5. Hoja de decisión y tareas propuestas detalladas con responsable.

Para evitar las consecuencias que se encontraron en la evaluación realizada anteriormente se realiza la hoja de decisión de RCM2, identificando las tareas a hacer en el plan de mantenimiento. La selección estas actividades se realiza según el tipo de consecuencia y a su vez de tarea: tarea a condición (mantenimiento predictivo), reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica (mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo).

La hoja de decisión se puede observar en el archivo con el nombre **Anexo 2** – Hoja de decisión planta eléctrica Falabella. Allí se puede observar de manera detallada cada tarea de mantenimiento con frecuencia y responsable.

6.2.3.6. Plan de mantenimiento basado en RCM y 5W + 1H – Planta eléctrica Falabella.

El resultado del análisis realizado queda resumido en los siguientes anexos: **Anexo 3** - Plan de Mantenimiento Planta Eléctrica Falabella y **Anexo 4** - 5W+1H Planta Eléctrica Falabella. En cada documento se especifica la tarea correspondiente a cada modo de falla para cada componente.

6.2.3.7. Análisis R.A.M esperado.

Al ser una propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad los resultados no se pueden ver reflejados inmediatamente, es decir, aún no se ha realizado. A su vez, al ser un estudio más detallado y completo se obtuvieron un número superior de modos de falla con respecto al plan de mantenimiento anterior, con el objetivo principal de aumentar la confiabilidad del activo.

Tomando como referencia la información obtenida del plan de mantenimiento actual y los modos de fallas desarrollados en el documento, tiempos promedio de operación y cantidad de fallas, se pueden hallar las variables necesarias como los indicadores de MTBF (tiempo medio entre fallas) y MTTR (tiempo promedio para reparar) para obtener los indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de acuerdo a la propuesta plan de mantenimiento basado en confiabilidad, para así, lograr el cumplimiento de la estándares requerida por la empresa.

Tabla 12. Fallas presentadas en propuesta de plan de mantenimiento RCM

ANALISIS RAM. (RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTENANCE) PARA AÑO 2021				
Código	#	Descripción	Duración de la falla MTTR (hr)	Tiempo entre paradas MTBF (hr)
PE-MCI-IY-1	1	Taponamiento de inyectores	5	2160
PE-MCI-PC	2	Pre calentador fundido por altas temperaturas	5	4320
PE-MCI-PI-1	3	Falla en empaquetadura del bloque	3	8640
PE-SCA-CB-1	4	Batería de planta eléctrica esta descargada	5	8640

PE-SCA-AL-1	5	Alternador no está funcionando correctamente	3	8640
PE-SCA-CD-1	6	Correa de distribución esta averiada	2	2160
PE-SAC-MF-1	7	Taponamiento de mangueras abastecimiento	1	4320
PE-SAC-FC-1	8	Taponamiento en filtro	1	2880
PE-SAC-BC-1	9	Taponamiento por material particulado	2	2160
PE-SAC-TAQ-1	10	Oxidación de estructura interna por ingreso de sustancias químicas no compatibles	4	2880
PE-SER-RAG-1	11	Recipiente de líquido refrigerante presenta fisuras	3	2160
PE-SER-MAG-1	12	Mangueras de agua se encuentran mal instaladas	2	4320
PE-SER-RAD-1	13	Daño de serpentín	4	8640
PE-SER-TERM-1	14	No dar aviso sobre el aumento de la temperatura cuando el equipo funciona de forma inadecuada	2	2160
PE-SER-VEN-1	15	Daño eléctrico, Daño de bobina por elevación de voltaje	2	4320
PE-SAA-F-1	16	Filtro de aire superó horas de trabajo	1	2160
PE-SAA-TURB-1	17	Funcionamiento inadecuado del turbocargador	1	2160
PE-SAA-CO-1	18	Carbonización de la carcasa del cojinete	2	2160
PE-SL-CA-1	19	Perdida de nivel de aceite adecuado para la operación	3	4320
PE-SL-BA-1	20	Perdida de presión	2	1440
PE-SL-FAC-1	21	Taponamiento	2	4320
PE-SEG-ET-1	22	Vibraciones excesivas en el exhosto	2	4320
PE-SEG-M-1	23	Vibraciones excesivas en el múltiple	2	1440
PE-SEG-EX-1	24	Mal funcionamiento del exhosto	4	4320
PE-SCON-CE-1	25	Falla en funcionalidad, Falla en relés o componentes eléctricos	4	8640
PE-SCON-CC-1	26	Falla en programación o automatización del equipo	8	4320
PE-SCON-CON-1	27	Falla de contactor por vida útil que no genere encendido en el equipo	4	4320
PE-SCON-REL-1	28	Tarjetas sin energizar	4	2880
PE-GEN-ROD-1	29	Fallas en los rodamientos del eje principal	6	2880
PE-GEN-EST-1	30	Falla en bobinado	2	2880
PE-GEN-SH-1	31	Fatiga del elemento	8	2880
PE-EBP-CA-1	32	Ruido excesivo	1	4320
PE-EBP-AI-1	33	Daño en elementos por vibración	1	4320
TOTALES			101	132480

Nota: En esta tabla se encuentran listados de forma resumida todos los modos de fallas planteados. Los modos de fallas se encuentran más detallados en la hoja de información y hoja decisión de RCM2

Fuente: Creación propia.

De acuerdo con el listado de fallas de la tabla 12 se presentan 33 fallas en los diferentes sistemas de la planta eléctrica. El siguiente análisis se realiza proyectando que durante los siguientes años se presenten cada una de las fallas de forma consecutiva, recreando un escenario conservador. En este orden de ideas la planta eléctrica estaría en funcionamiento 576 horas en el año, equivalentes a 48 horas en mes, sumando tiempos netos de operación y pruebas de funcionamiento garantizado disponibilidad del activo que se está estudiando.

Tabla 13. Análisis R.A.M. con propuesta de plan de mantenimiento RCM (MTBF, MTTR)

ANÁLISIS RAM. (RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTENANCE) PARA AÑO 2021		
Cantidad de Fallas	33	
Tiempo total de operación programado para producir	132581	hr
Tiempo promedio de operación TTO Promedio (Horas de uso por Año)	576	hr
Tiempo promedio de operación TTO Promedio (Horas de uso por Mes)	48	hr
Tiempo promedio de operación TTO Promedio (Horas de uso Dia)	1,6	hr
Indicador MTBF	4014,5	hr
Indicador MTTR	3,06	hr
Parámetro de forma, (manual de datos OREDA) B	1	
Tiempo previsto para reparación (t)	8	hr

Nota: En la anterior tabla se puede observar los resultados de MTBF Y MTTR para el cálculo de los indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la planta eléctrica con la propuesta del plan de mantenimiento basado en confiabilidad.

Fuente: Creación propia

Al realizar el análisis correspondiente para determinar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad con la propuesta del plan de mantenimiento basado en confiabilidad se obtienen los valores esperados como requerimiento de la empresa. Estos se pueden observar en la figura 10.

Figura 14. Resultados de análisis R.A.M con propuesta del plan de mantenimiento RCM

Confiabilidad (R)	87%
Disponibilidad (A)	100%
Mantenibilidad (M)	93%

Fuente: Creación propia

7. Impactos esperados/generados

Uno de los principales impactos esperados es la creación de la cultura de mantenimiento en el departamento de mantenimiento. Si bien sabemos que la planta eléctrica es el activo más crítico de la compañía existen que están por debajo que se encuentran en la matriz de activos críticos, así como se muestra en la tabla 14 y también sería muy bueno implementar el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. De esta manera se podría llegar a pensar que en algún momento se puede estructurar un plan de mantenimiento general para todos los activos.

Tabla 14. Listado de activos con mayor movimiento

Ítem	ID activo	Denominación del Activo	Criticidad	Fabricante	Modelo	Serie	Capacidad	Año fabricación
1	100100	Paquetes de Aire Acondicionado	A	Daikin	2015	000-1	80 ton	2015
2	100101	Planta Eléctrica	A	Cummins	2014	000-2	900 Kva	2014
3	100102	Escaleras Eléctricas	A	Fuji	2014	000-3	5 hp	2014
4	100103	Impresoras	B	Lenovo	2016	000-4	12 W	2016
5	100104	Teléfonos	B	Avaya	2017	000-5	1,3 W	2017
6	100105	Radios	B	Motorola	2016	000-6	15 m	2016
7	100106	Muebles de posicionamiento	B	Falabella	2017	000-7	350 Kg	2017
8	100107	Sillas administrativas	B	Falabella	2017	000-8	100 Kg	2017
9	100108	Estibadores	A	Falabella	2017	000-9	500 Kg	2017
10	100109	Pantallas	C	LG	2017	000-10	5 W	2017
11	100110	Ventiladores axiales	A	SoleryPalau	2016	000-11	1 Hp	2016
12	100111	Tabletas	C	Invue	2019	000-12	N/A	2019
13	100112	Extintores	A	N/A	2019	000-13	10 Lb	2019

14	100113	Cámaras	A	Axis	2016	000-14	24 V	2016
15	100114	Archivadores	C	Falabella	2016	000-15	200 Kg	2016
16	100115	Maniqués	C	Falabella	2019	000-16	N/A	2019
17	100116	Escaleras tipo tijera	A	Werner	2018	000-17	100 Kg	2018
18	100117	Dispensadores de agua	B	Quality	2018	000-18	1 Galón	2018
19	100118	Pantallas Inteligentes	C	Samsung	2019	000-19	N/A	2019
20	100119	Canecas de basura	C	Vanyplas	2020	000-20	10 Lts	2020

Nota: La anterior tabla menciona los activos más críticos y con mayor movimiento. Los niveles de criticidad están definidos por el departamento de mantenimiento. A: Criticidad Alta, B: Criticidad Media y C: Criticidad Baja.

Fuente: Creación propia.

Las hojas de información y hoja de decisión obtenida en del análisis de planta eléctrica logran una gran motivación en el personal directo del área de mantenimiento. Así ellos se interesan más sobre el funcionamiento de los equipos.

8. Análisis financiero

El análisis financiero realizado está basado en los costos de los recursos necesarios para la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Tabla 15. Valor de contratación mano de obra

VALOR DE CONTRATACIÓN MANO DE OBRA			
Personal	1,5	Factor Prestacional	
	Salario Básico	Básico + Prestaciones	Valor día
Auxiliar de mantenimiento	\$ 1.050.000	\$ 1.575.000	\$ 35.000
Ingeniero de mantenimiento	\$ 1.950.000	\$ 2.925.000	\$ 65.000
Ingeniero de seguridad industrial	\$ 1.350.000	\$ 2.025.000	\$ 45.000

Fuente: Creación propia.

Nota: La anterior 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.

Las horas hombre para la ejecución de las actividades de la propuesta están determinadas como se pudo observar en la tabla 15. A partir de ellas se estable un valor base en la contratación de este rubro.

Tabla 16. Análisis financiero de levantamiento de información sobre la propuesta de implementación de mantenimiento

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Mano de obra				
1.1	Levantamiento de estado actual del sistema de soporte eléctrico (1 ingeniero y 2 técnicos), durante 1 semana por 8 horas que equivalen a 56 horas de trabajo diurno, costo día ingeniero \$ 65.000, costo día de técnico \$35.000	Hora	56	\$ 135.000	\$ 7.560.000
1.2	Recolección de información del tiempo medio entre fallas, cantidad de fallas y tiempo medio de reparación, 1 ingeniero, durante 8 horas por dos semanas	Hora	112	\$ 65.000	\$ 7.280.000
1.3	Realizar análisis de criticidad del sistema de soporte eléctrico, 1 ingeniero, 1 siso durante una semana 8 horas diarias, precio siso por día \$45.000	Hora	56	\$ 110.000	\$ 6.160.000
1.4	Realizar análisis de matriz de criticidad y matriz de fallas del sistema de soporte eléctrico, 2 ingeniero por 2 semanas, 8 horas diurnas.	Hora	112	\$ 130.000	\$ 14.560.000
1.5	Evaluación de las consecuencias de falla para el sistema de soporte eléctrico, 1 ingeniero y 1 técnico, durante una semana, 8 horas diurnas	Hora	56	\$ 135.000	\$ 7.560.000
1.6	Elaborar las tareas de mantenimiento, las frecuencias de mantenimiento y los responsables del mantenimiento, 1 ingeniero por 2 semanas, 8 horas diurnas	Hora	112	\$ 130.000	\$ 14.560.000
2	Bienes y servicios				
2.1	Computador portátil	Unidad	1	\$ 2.300.000	\$ 2.300.000
2.2	Impresora	Unidad	2	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
2.3	Papelería	Global	1	\$ 150.000	\$ 150.000

2.4	Servicios de consulta (libros, personas especializadas)	Global	1	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
2.5	Plan móvil	Global	1	\$ 120.000	\$ 120.000
2.6	Transporte	Global	1	\$ 140.000	\$ 140.000
2.7	Imprevistos	Global	1	\$ 450.000	\$ 450.000
Total					\$ 71.700.000

Nota: El valor obtenido de \$71.700.000 corresponde al costo necesario para el levantamiento de la información de la propuesta de implementación del plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para la planta eléctrica en la sede Colina de Falabella.

Fuente: Creación propia.

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. Los rubros son: Mano de obra interna; técnico especializado CUMMINS; Materiales, insumos y documentación; Servicios externos de Mantenimiento Predictivo; Herramientas y equipos; Imprevistos y llamadas de emergencia.

Tabla 17. Proyección financiera detallada del presupuesto para el año (Parte 1).

PROYECCIÓN FINANCIERA DETALLADA DEL PRESUPUESTO PARA EL AÑO (PARTE 1)						
EGRESOS POR RUBROS	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
01. Mano de obra interna	\$1.462.500	\$462.500	\$962.500	\$1.275.000	\$962.500	\$2.125.000
02. Técnico Especializado CUMMINS	\$0	\$0	\$0	\$0	\$2.800.000	\$0
03. Capacitación específica a técnico interno	\$0	\$200.000	\$0	\$200.000	\$0	\$200.000
04. Materiales, insumos y documentación	\$700.000	\$700.000	\$700.000	\$700.000	\$700.000	\$1.297.500
05. Servicios externos de Mantenimiento Predictivo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$7.200.000	\$2.400.000
06. Herramientas y equipos	\$0	\$1.155.000	\$0	\$0	\$0	\$0
07. Imprevistos y llamadas de emergencia	\$330.000	\$330.000	\$330.000	\$330.000	\$330.000	\$330.000
TOTAL	\$2.492.500	\$2.847.500	\$1.992.500	\$2.505.000	\$11.992.500	\$6.352.500

Nota: Proyección presupuestal del plan de mantenimiento para los primeros seis meses.

Fuente: Creación propia.

En la tabla 17 y tabla 18 se especifican los costos generales del plan de mantenimiento por mes para el primer año. Los valores reflejados están aproximados y sus totalidades se resumen en la tabla 19.

Tabla 18. *Proyección financiera detallada del presupuesto para el año (Parte 2).*

PROYECCIÓN FINANCIERA DETALLADA DEL PRESUPUESTO PARA EL AÑO (PARTE 2)						
EGRESOS POR RUBROS	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
01. Mano de obra interna	\$1.275.000	\$587.500	\$1.087.500	\$1.025.000	\$775.000	\$1.950.000
02. Técnico Especializado CUMMNIS	\$0	\$0	\$0	\$0	\$2.800.000	\$0
03. Capacitación específica a técnico interno	\$0	\$200.000	\$0	\$200.000	\$0	\$200.000
04. Materiales, insumos y documentación	\$700.000	\$700.000	\$700.000	\$700.000	\$700.000	\$1.297.500
05. Servicios externos de Mantenimiento Predictivo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$7.200.000	\$2.400.000
06. Herramientas y equipos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
07. Imprevistos y llamadas de emergencia	\$330.000	\$330.000	\$330.000	\$330.000	\$330.000	\$330.000
TOTAL	\$2.305.000	\$1.817.500	\$2.117.500	\$2.255.000	\$11.805.000	\$6.177.500

Nota: Proyección presupuestal del plan de mantenimiento para segundo semestre.

Fuente: Creación propia.

En la tabla 18 se presenta la sumaria del valor total de cada uno de los rubros a lo largo de 12 meses.

Tabla 19. *Total del presupuesto de recursos para actividades del plan de mantenimiento.*

EGRESOS POR RUBROS	TOTAL ANUAL
01. Mano de obra interna	\$13.950.000
02. Técnico Especializado CUMMNIS	\$5.600.000
03. Capacitación específica a técnico interno	\$1.200.000
04. Materiales, insumos y documentación	\$9.595.000
05. Servicios externos de Mantenimiento Predictivo	\$19.200.000
06. Herramientas y equipos	\$1.155.000
07. Imprevistos y llamadas de emergencia	\$3.960.000
TOTAL	\$54.660.000

Nota: Un total de \$54.660.000 de pesos se requieren para ejecutar la propuesta de mantenimiento para la planta eléctrica de Falabella en la sede colina teniendo en cuenta los recursos mencionados.

Fuente: Creación propia.

El costo por reparación promedio anual de la planta eléctrica tiene un valor de \$3.500.000 y actualmente se hacen 15 reparaciones al año lo que equivale a un valor de \$56.250.000

En caso de necesitarse la planta eléctrica y no se encuentre disponible

El costo por pérdida de servicio anual promedio por no encendido de soporte eléctrico tiene un valor de: \$400.000.000 esto equivale a 4 horas anuales de no encendido de planta por falla.

Costo total actual es igual a \$456.250.0000. Con la implementación del nuevo plan de mantenimiento se estima una confiabilidad por encima del 85% lo que disminuye las fallas a 5 por año y esto equivale a \$18.500.000. El costo por parada de servicio por no encender sería de 1 hora al año que equivaldría a \$100.000.000

Costo total con RCM es igual a \$118.500.000

Ahorro anual= 456.250.000-118.500.000

Ahorro anual= 337.750.000

$$\text{Roi} = \frac{\text{Costo de implementación}}{\text{Ahorro anual}}$$

$$\text{Roi} = \frac{\$71.700.000}{\$337.750.000}$$

Roi= 0.2123 Año

$$\text{Roi} = 0.2123 \text{ año} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 2.54 \text{ mes} \quad \text{Roi} = 61.14 \text{ día}$$

9. Conclusiones y recomendaciones

9.1. Conclusiones

De acuerdo con la información recopilada sobre el mantenimiento que se está realizando actualmente en la compañía se observa que a pesar de ello ha habido incidentes con el indicador de disponibilidad de la planta eléctrica, motivo por el cual se decidió realizar una propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad basada en análisis de criticidad y modos de falla. Con el plan de mantenimiento actual no se lleva un historial detallado sobre los sistemas, subsistemas y componentes; por ende, existe la brecha en la cual se da lugar a las fallas que impiden el normal funcionamiento del equipo.

Mediante la investigación del estado del arte se puede obtener un panorama a nivel nacional e internacional sobre los planes de mantenimiento que se están aplicando a este tipo de activo inclusive queda claro que se están implementando estrategias de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en sectores como hospitales, industriales, propiedad horizontal, entre otros. La estrategia de RCM es de gran ayuda ya que permite identificar los modos de fallo y las condiciones de un sistema para que a partir de ellos se puedan establecer e implementar acciones preventivas y correctivas, de esta manera aumentar la confiabilidad y disponibilidad del activo.

Desarrollar la propuesta para la implementación de una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad deja amplios conocimientos sobre la taxonomía de un activo de acuerdo con la necesidad. Es una herramienta muy importante ya que nos puede ayudar a encontrar los modos de falla, efectos y consecuencias en los diferentes componentes según el nivel de especificación que se requiera. De esta manera se puede llegar a realizar la corrección o simplemente hacer un seguimiento específico. El modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad reduce la cantidad de tiempo en planeación y ejecución de actividades, fallas y

paradas en un equipo evitando sobrecostos, fallos inesperados, imprevistos entre otros factores que puedan incidir en la productividad.

9.2. 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.

10. Bibliografía.

- Abril Bolivar, P., Ardila Mateus, C., & Cubillos Guzman, J. (2016). *Propuesta para la aplicación del RCM en una Motobomba Centrifuga IHM 15H – 7.5TW*. Bogota: Universidad ECCI, Dirección de Posgrados, Especialización de Gerencia de Mantenimiento.
- Álvarez Zaldivar, D., & Hernández Areu, O. (2020). Propuesta de un nuevo programa de mantenimiento a los motores hyundai de grupos fuel oil. *Ingenieria Energética*, Pag 1 - 8.
- Barros Chaparro, D. J., Valencia Ocha, G., & Vargas Henriquez, L. (Junio de 2014). Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo. *Scientia et Technica Año XIX, Universidad Tecnologica de Pereira, Volumen 19, No 2*.
- Diaz Concepción, A., Villar Ledo, L., Cabrera Gómez, J., Gil Henriquez, A. S., Mata Alonso, R., & Rodriguez Piñeiro, A. J. (Julio de 2016). Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de empresas de transmisión eléctrica. *Revista de Ingenieria Mecánica, Volumen 19, No 3*.
- García Carrión, M. (2016). *Propuesta para la creación de un plan de mantenimiento basado en el Análisis Modal de Falla y Efecto (AMEF- AMFE), aplicable a empresas de impresión y artes gráficas*. Bogota: Universidad ECCI, Dirección de Posgrados, Especialización de Gerencia de Mantenimiento.
- Garcia Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid: Diaz Santos.
- Hirth, L. (2018). What Caused the Drop in European Electricity Prices? A Factor Decomposition Analysis. *The Energy Journal, Volumen 39(No 1)*.

- Hung, A. J. (Agosto de 2009). Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la planta Oscar A. Machado EDC. *Ingeniería Energética, Aplicaciones Industriales, Volumen XXX*(No 2), pag. 13 - 19.
- López Campos, M., & Crespo Márquez, A. (2008). Review, Classification and Comparative Analysis of Maintenance Management Models. *IFAC, Volumen 9*, 239, 244.
- Martinez Feo, M., & Malagon Silva, D. (2016). *Propuesta de un plan de mantenimiento a maquina de pruebas de golpe de ariete mediante la metodología RCM2*. Bogota: Universidad ECCI, Dirección de Posgrados, Especialización de Gerencia de Mantenimiento.
- Mota Cruz, M. A. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para top rolls en Vidrio Andino S.A*. Bogota: Universidad Santo Tomas, División de Ingenierias, Facultad de Ingenieria Mecánica.
- Moubray, J. (2004). *RCM2, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* (Edición en Español ed.). Buenos Aires, Argentina - Madrid, España: Aladon Ltd.
- Orozco Sanchez, S. (2016). Integraciones verticales y su efecto en el precio la energía eléctrica. *Documentos CEDE, Edición electronica, Volumen 3, Pag 3*.
- Pérez Adan, E. (2019). *Diseño de una metodología para generar un plan de mantenimiento a través de la integración de Reability Centered Maintenance, World Class Manufacturing y Lean Manufacturing aplicable en procesos de trefilado de alambión*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito, Decanatura de Ingenieria Insdustrial, Maestria en Ingenieria Industrial.

- Porras , F., Contreras, A., & Marizancen, G. (2016). *Evaluación de variables de mantenimiento utilizando equipos de monitoreo satelital en plantas eléctricas*. Bogota: Universidad ECCI, Dirección de Posgrados, Especialización de Gerencia de Mantenimiento.
- Society of Automotive Engineers, S. (August 2009). *SAE JA 1101 - (R) Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*. USA: www.sae.org.
- Torres Valle, A., Perdomo Ojeda, M., Fornero, D., & Corcuera, R. (2010). Aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad a la Central Nuclear de Embalse. *NUCLEUS*(No 47), Pag 24 - 29.
- Unzeta Aranguren, G., Goti Elordi, A., Garitano Aranda, J., & Sanchez Ganchegui, I. (2014). Aplicación de un sistema de gestion de mantenimiento basado en RCM adaptado. *Dyna*, *Volumen 89*, No 3.
- Vergara Osorio, J. F. (2016). *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 iRMCS*. Melledin: Universidad EAFIT, Escuela de Ingenieria, Departamento de Ingenieria Mecánica.

**HOJA DE INFORMACIÓN RCM II - PLANTA
ELECTRICA CUMMINS- GS 900 - 900KW - 1125KVA**

ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO
Elaborado por: Ing. Sergio Hurtado, Ing., Yerson Álvarez
Revisado por: Ph.D. María Gabriela Mago

UNIVERSIDAD ECCI
Fecha de elaboración: 14/10/2020
Fecha de revisión 14/10/2020

Subsistema	Componente	Código	Función principal	Falla funcional	Modo de falla Nivel 1	Modo de falla Nivel 2	Efecto (¿Que sucede cuando se produce la falla?)	Causa	Consecuencias
Motor de combustión interna (MCI)	Inyectores	PE-MCI-IY-1	Dirigir combustible hacia cuerpo de inyección para cámara de admisión	Taponamiento de inyectores	Obstrucción en algún inyector por suciedad en el combustible.	Taponamiento de inyectores	Los inyectores dejan de brindar el combustible al equipo lo que genera una alarma en el equipo por aumento de presión y de temperatura.	Obstrucción en algún inyector por suciedad en el combustible.	No operacional
	Precalentadores	PE-MCI-PC	Generar un precalentamiento del motor para evitar choque térmico	Precalentador fundido por altas temperaturas	Resistencias dañadas	N/A	Las resistencias se pueden dañar por temperaturas muy altas o por largos periodos de tiempo de trabajo	Vida útil del elemento	No operacional
	Pistones	PE-MCI-PI-1	Transmitir la energía generada a los demás componentes mecánicos	Falla en empaquetadura del bloque	Fuga de aceite por medio del bloque con la culata	El empaque entre el Carter y el bloque esta desgastado por vida útil	Se generan fugas de combustible ya que no hay un buen cierre hermético entre la manguera y el equipo.	Empaquetadura defectuosa	Operacional
Sistema de carga y arranque (SCA)	Baterías	PE-SCA-CB-1	Almacenar energía eléctrica para uso de la planta.	Planta eléctrica no enciende	Batería de planta eléctrica esta descargada	Se evidencia desgaste total de batería por vida útil	El mecanismo de encendido de la planta no se mantiene por lo cual genera un alarma y el apagado inmediato de la planta	Se evidencia desgaste total de batería por vida útil	No operacional
	Alternador	PE-SCA-AL-1	Transformar la energía mecánica en energía eléctrica.	Planta eléctrica no enciende	Alternador no está funcionando correctamente	Al parecer el bobinado del alternador esta muy desgastado	El daño del alternador evita el encendido de los componentes eléctricos del motor eléctrico	El alternador esta generando una carga eléctrica muy pequeña	No operacional
	Correa de distribución	PE-SCA-CD-1	Sincronizar a rotación de los ejes principales para que funcionen en un mismo tiempo	Planta eléctrica no enciende	Correa de distribución esta averiada	La correa seleccionada es lisa lo cual genera mas fricción.	No transfiere la potencia necesaria al equipo	La correa supera la vida útil sugerida	Operacional
Sistema de almacenamiento de combustible (SAC)	Mangueras flexométlicas	PE-SAC-MF-1	Suministrar el combustible al motor	Taponamiento de mangueras abastecimiento	Mangueras de combustible se encuentran oxidadas en su interior	Genera poco paso de combustible por disminución de diámetro del ducto	Disminución de potencia eléctrica por poco paso de combustión y apagado de equipo por taponamientos de filtros.	El combustible se puede ensuciar por el oxido de las mangueras generando taponamientos	No operacional
	Filtro de combustible	PE-SAC-FC-1	Mantener el combustible sin rastro de partículas	Taponamiento en filtro	Impurezas y partículas de gasolina	Mal funcionamiento del equipo por partículas en gasolina	Apagado de emergencia del equipo por alarma de sobrepresión debido a taponamiento en filtros.	Las impurezas de la gasolina genera taponamiento en los filtros	Oculto
	Bomba de combustible	PE-SAC-BC-1	Mantener un flujo constante de combustible en el equipo	Taponamiento por material particulado	Material particulado que logra atravesar genera taponamiento del elemento	Genera oxidación en los componentes metálicos del sistema	Apagado de emergencia del equipo por alarma de sobrepresión debido a taponamiento en filtros.	El material genera obstrucción en las mangueras de distribución	Oculto
	Tanque de almacenamiento	PE-SAC-TAQ-1	Almacenamiento de combustible	Oxidación de la estructura	Oxidación de estructura interna por ingreso de sustancias químicas no compatibles	Los aditivos usados pueden generar capas en las tuberías y componentes de abastecimiento	Daño de componentes metálicos por oxidación	El combustible se puede ensuciar por el oxido de las mangueras generando taponamientos	Oculto
	Recipiente agua	PE-SER-RAG-1	Retener liquido refrigerante en un rango de niveles Máximo y mínimo.	Fuga de líquido refrigerante	Recipiente de líquido refrigerante presenta fisuras	Mezcla de refrigerante con el combustible	Puede generar el daño de lo componentes del motor de combustión por mezcla de refrigerante en el sistema	Empaquetadura defectuosa	Operacional
	Mangueras de agua	PE-SER-MAG-1	Transpirar el liquido refrigerante para el motor	Fuga de líquido refrigerante	Mangueras de agua se encuentran mal instaladas	Aumento de temperatura en los elementos que dependen del radiador	Cortos circuitos y calentamiento excesivo en elementos mecánicos, generando malfuncionamiento.	Aumento de temperatura en los elementos que dependen del radiador	No operacional

**HOJA DE INFORMACIÓN RCM II - PLANTA
ELECTRICA CUMMINS- GS 900 - 900KW - 1125KVA**

ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO
Elaborado por: Ing. Sergio Hurtado, Ing., Yerson Álvarez
Revisado por: Ph.D. María Gabriela Mago

UNIVERSIDAD ECCI
Fecha de elaboración: 14/10/2020
Fecha de revisión 14/10/2020

Subsistema	Componente	Código	Función principal	Falla funcional	Modo de falla Nivel 1	Modo de falla Nivel 2	Efecto (¿Que sucede cuando se produce la falla?)	Causa	Consecuencias
Sistema de admisión de aire (SER)	Radiador	PE-SER-RAD-1	Hacer la transferencia de calor	Daño de serpentín	Estructura de radiador presenta golpes	Aumento de la temperatura en diferentes elementos de los sistemas	Calentamiento excesivo en equipo, que genera apagado de emergencia en equipo	Mala transferencia de calor por daño de serpentines	No operacional
	Termostato	PE-SER-TERM-1	Informar sobre la temperatura del equipo	No dar aviso sobre el aumento de la temperatura cuando el equipo funciona de forma inadecuada	Sobrecalentamiento debido a mal funcionamiento de termostato	Aumento de presión en el activo generando apagado del sistema por medio del presostato	La sobrepresión puede generar daño en elementos mecánicos que generan un apagado total de la planta eléctrica	Aumento de presión en el activo generando apagado del sistema por medio del presostato	No operacional
	Ventilador	PE-SER-VEN-1	Eliminar/regular la temperatura del motor y componentes	Daño eléctrico	Daño de bobina por elevación de voltaje	No puede encender la tarjeta principal ya que el voltaje que le llega es muy baja	Daño en la automatización de la planta eléctrica porque la tarjeta no enciende o esta dañada por daño en bobina	Esto puede generar bajas de energía en la tarjeta y la puede dañar	No operacional
Sistema de admisión de aire (SAA)	Filtro de aire	PE-SAA-F-1	Mantener un suministro constante de oxígeno limpio en el motor	Filtro de aire superó horas de trabajo	Taponamiento del filtro de aire por suciedad	Puede disminuir la potencia generada ya que no recibe el suministro de airea adecuado	Daño en los mecanismos internos del motor de combustión interna, generando un correctivo mayor	Esto puede generar sobrepresión en el sistema de admisión por poco suministro de aire	Oculto
	Turbocargador	PE-SAA-TURB-1	Aumentar el oxígeno inyectado al motor para aumentar la potencia	Funcionamiento inadecuado del turbocargador	Fugas de presión en turbocargador	Exceso de partículas en el filtro de aire. Filtro de aire se encuentra mal instalado	Funcionamiento inadecuado afectando otros sistemas de la planta eléctrica	No se han realizado los mantenimientos preventivo en el momento requerido	No operacional
	Compresor	PE-SAA-CO-1	Incrementar el rendimiento y optimizar la combustión	Carbonización de la carcasa del cojinete	Falta de lubricación en compresor	Representante del cliente realizo una mala selección del aceite en la rutina de mantenimiento	Rendimiento del compresor no es el requerido para el funcionamiento optimo de la planta	Apriete del tapón del compartimento de aceite no se realizo adecuadamente	Medio ambiente
Sistema de lubricación (SL)	Carter de aceite	PE-SL-CA-1	Almacenamiento de aceite que lubrica todas las partes metálicas del motor	Perdida de nivel de aceite adecuado para la operación	Temperatura elevada en diferentes componentes mecánicos	Fuga de lubricante por algún sellos, o inclusive tapón	Varios componente de la planta eléctrica se puede ver afectado, el costo de reparación es elevado	Nivel de aceite por debajo del recomendado por el fabricante	Medio ambiente
	Bomba de aceite	PE-SL-BA-1	Bombear lubricante a los mecanismos del equipo	Perdida de presión	Perdida de presión por taponamiento	La tornillería de ensamble no esta completa. Hay residuos de aceite en la superficie de montaje	Funcionamiento inadecuado de bomba de aceite, cuando hay fuga de aceite se producen derrames	No se encuentra bien instalada la bomba de aceite, mal montaje	Operacional
	Filtro de aceite	PE-SL-FAC-1	Mantener el fluido sin impurezas	Taponamiento	El material particulado puede generar taponamiento en el elemento aumentando la presión	No existía filtro de aceite en stock de almacén, postergando el cambio del filtro para el siguiente mantenimiento	No circula el aceite por los circuitos donde es necesario afectado otros componentes	No se hizo el cambio del filtro de aceite en el momento indicado	Medio ambiente
Sistema de extracción de gases (SAG)	Empaques de tubería	PE-SEG-ET-1	Reducir el nivel de vibraciones entre partes metálicas de la tubería del exhosto	Vibraciones excesivas en el exhosto.	Tornillería y componentes de sujeción sueltos o con partes faltantes	Por descuido en el ultimo mantenimiento no se realizó la verificación correspondiente del ajuste de la tornillería	Aumento en el ruido por choque entre partes metálicas	Tornillería suelta o faltante	No operacional
	Múltiple	PE-SEG-M-1	Redirigir lo gases	Vibraciones excesivas en el múltiple	Desajuste y perdida de tornillería en mecanismo	Por descuido en el ultimo mantenimiento no se realizó la verificación correspondiente del ajuste de la tornillería	Escape de gases por en medio de la brida	Tornillería suelta o faltante	Oculto
	Exhosto	PE-SEG-EX-1	Evitar que los gases se acumulen en el motor y reduzcan su eficiencia	Mal funcionamiento del exhosto	Aumento considerable los decibles cuando la planta se encuentra en operación	Trabajo durante mucho tiempo con vibraciones excesivas provocando fisuras y grietas	Afectan el rendimiento y la potencia de la planta eléctrica	Tornillería suelta o faltante	Oculto

**HOJA DE INFORMACIÓN RCM II - PLANTA
ELECTRICA CUMMINS- GS 900 - 900KW - 1125KVA**

ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO
Elaborado por: Ing. Sergio Hurtado, Ing., Yerson Álvarez
Revisado por: Ph.D. María Gabriela Mago

UNIVERSIDAD ECCI
Fecha de elaboración: 14/10/2020
Fecha de revisión 14/10/2020

Subsistema	Componente	Código	Función principal	Falla funcional	Modo de falla Nivel 1	Modo de falla Nivel 2	Efecto (¿Que sucede cuando se produce la falla?)	Causa	Consecuencias
Sistema de control (SCON)	Componentes eléctricos	PE-SCON-CE-1	Dar funcionalidad a las partes mecánicas que esta automatizadas	Falla en funcionalidad	Falla en relés o componentes eléctricos	Contactos y conexiones eléctricas se encuentran flojas, están desajustados. No están haciendo buen contacto	No circula la energía eléctrica hacia componentes mecánicos automatizados	Desajuste en la conexiones eléctricas	Operacional
	Tarjeta principal	PE-SCON-CC-1	Dirigir todas las funciones del equipo	Falla en programación o automatización del equipo	Fallas en la tarjeta de programación	Vibraciones excesivas en el compartimiento de la tarjeta de programación. Suciedad, polvo, humedad al interior del modulo evitan refrigeración adecuada	Componentes por sobrecalentamiento no tienen la ventilación adecuada para la operación	Suciedad, polvo, humedad al interior del modulo evitan refrigeración adecuada	Operacional
	Contactores	PE-SCON-CON-1	Encender y apagar el equipo	No enciende equipo	Falla de contactor por vida útil que no genere encendido en el equipo	Contactos y conexiones eléctricas se encuentran flojas, están desajustados. No están haciendo buen contacto	No circula la energía eléctrica hacia componentes mecánicos automatizados	Desajuste en la conexiones eléctricas	Ocultas
	Relevos	PE-SCON-REL-1	Iniciar encendido de elementos electrónicos	Tarjetas sin energizar	Daño en relé por vida útil o sobrevoltaje	Contactos y conexiones eléctricas se encuentran flojas, están desajustados. No están haciendo buen contacto	No circula la energía eléctrica hacia componentes mecánicos automatizados	Desajuste en la conexiones eléctricas	Ocultas
Generador (GEN)	Rodamientos	PE-GEN-ROD-1	Generar la energía eléctrica desde el equipo	Fallas en los rodamientos del eje principal	Rodamientos evidencian sonidos inusuales	Punto de lubricación de rodamiento se encuentra con taponamiento, no permite el ingreso de grasa al rodamiento, Lubricación en rodamiento no es la suficiente	Deterioro de los rodamientos hasta el punto en que se vuelve necesario el cambio	Deficiencia en la lubricación, no se hace oportunamente.	No operacional
	Estator	PE-GEN-EST-1	Transmitir potencia o corriente eléctrica	Falla en bobinado	Falla en el bobinado por sobrevoltajes	La presencia de humedad en el ambiente propicia la oxidación sobre la espiras del bobinado	No permite la generación de energía eléctrica, energía para suministrar	La presencia de humedad en el ambiente propicia la oxidación en el bobinado	Ocultas
	Eje principal	PE-GEN-SH-1	Dirigir la potencia a los elementos mecánicos	Fatiga del elemento	Sobre presión del elemento que puede generar fatigas estructurales	Montaje entre componentes puede que presente desajuste, desplazándose algunos centímetros de su lugar inicial	Reducción en la vida útil del eje principal	Elementos rotativos desalineados	Operacional
Estructura base de planta (EBP)	Caseta acústica	PE-EBP-CA-1	Aislar el ruido que se produce en la planta eléctrica hacia el exterior.	Ruido excesivo	Se escucha bastante ruido cuando la planta entra en operación	Tornillos sujeción no tienen tuercas ni arandelas	Aumento en el ruido de operación de la planta eléctrica por desajuste en la caseta acústica	Faltan tornillos de sujeción de la caseta acústica con la estructura de soporte	Medio ambiente
Estructura base de planta (EBP)	Absorbedores de Impacto	PE-EBP-AI-1	Disminuir el nivel de vibraciones en la planta por el movimiento normal de operación	Daño en elementos por vibración	Desajuste de elementos	Por descuido en el ultimo mantenimiento no se realizó la verificación correspondiente del ajuste de la tornillería	Aumento en el ruido de operación de la planta eléctrica por desajuste en la caseta acústica	Mantenimiento preventivo incompleto	Medio ambiente

HOJA DE DECISIÓN RCM II - PLANTA ELECTRICA CUMMINS- GS 900 - 900KW - 1125KVA

ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO													UNIVERSIDAD ECCI							
Elaborado por: Ing. Sergio Hurtado, Ing., Yerson Álvarez													Fecha de elaboración: 14/10/2020							
Revisado por: Ph.D. María Gabriela Mago													Fecha de revisión 14/10/2020							
Código	Referencia Información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tarea de mantenimiento			Frecuencia	Responsable		
	F	FF	MF	TIPO	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
PE-MCI-IY-1	1	1.1	1.1.1	No operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	Hacer una limpieza de los inyectores, si es necesario realizar cambio				3 meses	Técnico Mecánico
PE-MCI-PC	2	2.1	2.1.1	No operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	El técnico debe reemplazar el equipo de forma inmediata				6 meses	Técnico Mecánico
PE-MCI-PI-1	3	3.1	3.1.1	Operacional	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	Realizar cambio de empaquetaduras de bloque y culata				1 año	Técnico Mecánico
PE-SCA-CB-1	4	4.1	4.1.1	No operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	Hacer ultima verificación de funcionamiento batería o realizar cambio				1 año	Técnico Mecánico
PE-SCA-AL-1	5	5.1	5.1.1	No operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	Se debe desmontar alternado para enviar a rebobinar a otra empresa especializada				1 año	Técnico Mecánico
PE-SCA-CD-1	6	6.1	6.1.1	Operacional	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	Se debe hacer revisión de las correas de distribución y reemplazar las averiadas				3 meses	Técnico Mecánico
PE-SAC-MF-1	7	7.1	7.1.1	No operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	Revisar la vida útil de la manguera				6 meses	Técnico Mecánico
PE-SAC-FC-1	8	8.1	8.1.1	Ocultas	N	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Se debe comprar combustible de mejor calidad				4 meses	Comprador
PE-SAC-BC-1	9	9.1	9.1.1	Ocultas	N	N	N	N	N	S	-	-	-	-	En el mantenimiento preventivo se deben cambiar los filtros				3 meses	Técnico Mecánico
PE-SAC-TAQ-1	10	10.1	10.1.1	Ocultas	N	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Se debe comprar combustible de mejor calidad				4 meses	Comprador
PE-SER-RAG-1	11	11.1	11.1.1	Operacional	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	En el mantenimiento preventivo verificar estado de recipiente de liquido refrigerante				3 meses	Técnico Mecánico
PE-SER-MAG-1	12	12.1	12.1.1	No operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	Buscar y cambiar la manguera del sistema que se encuentre averiada				6 meses	Técnico Mecánico
PE-SER-RAD-1	13	13.1	13.1.1	No operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	Verificar estado del componente, si se requiere hacer reemplazo				1 año	Técnico Mecánico
PE-SER-TERM-1	14	14.1	14.1.1	No operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	Verificar estado del componente, si se requiere hacer reemplazo				3 meses	Técnico Mecánico
PE-SER-VEN-1	15	15.1	15.1.1	No operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	Revisar la bobina para verificar estado actual, reemplazar o reparar				6 meses	Técnico Mecánico
PE-SAA-F-1	16	16.1	16.1.1	Ocultas	N	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Realizar cambio de filtros de aire				3 meses	Técnico Mecánico
PE-SAA-TURB-1	17	17.1	17.1.1	No operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	Verificar instalación y ajuste correcto de todos los componentes incluyendo tornillería				3 Meses	Técnico Mecánico
PE-SAA-CO-1	18	18.1	18.1.1	Medio ambiente	S	N	S	N	N	N	S	-	-	-	Verificar fugas del lubricante en estructura de compresor				3 meses	Técnico Mecánico
PE-SL-CA-1	19	19.1	19.1.1	Medio ambiente	S	N	S	N	N	N	S	-	-	-	En rutina de cambio de filtro de aceite, realizar la instalación de la forma correcta				6 Meses	Técnico Mecánico
PE-SL-BA-1	20	20.1	20.1.1	Operacional	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	Verificación del correcto montaje de la bomba de aceite, empaques y cauchos en la posición adecuada				6 Meses	Técnico Mecánico
PE-SL-FAC-1	21	21.1	21.1.1	Medio ambiente	S	N	S	N	S	-	-	-	-	-	Revisar que la estructura del bloque de motor, Carter y lugares adyacentes no presente fugas de aceite				6 Meses	Técnico Mecánico
PE-SEG-ET-1	22	22.1	22.1.1	No Operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	Verificar y ajuste de todas uniones la atornilladas usando torquímetro con torque de servicio requerido				2 Meses	Técnico Mecánico
PE-SEG-M-1	23	23.1	23.1.1	Ocultas	N	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Verificar y ajuste de todas uniones la atornilladas usando torquímetro con torque de servicio requerido				6 Meses	Técnico Mecánico
PE-SEG-EX-1	24	24.1	24.1.1	Ocultas	N	N	S	N	N	N	S	-	-	-	Verificar y ajuste de todas uniones la atornilladas usando torquímetro con torque de servicio requerido				1 Año	Técnico Mecánico
PE-SCON-CE-1	25	25.1	24.1.1	Operacional	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Realizar la inspección verificación correspondiente del estado a conexiones eléctricas y componentes				6 Meses	Técnico Eléctrico / Contratista
PE-SCON-CC-1	26	26.1	26.1.1	Operacional	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Visita del técnico esp de la marca de fabricante para verificación del error en la tarjeta de programación				6 Meses	Técnico Esp. CUMMINS
PE-SCON-CON-1	27	27.1	27.1.1	Ocultas	N	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Realizar la inspección verificación correspondiente del estado a conexiones eléctricas y componentes				4 Meses	Técnico Eléctrico / Contratista
PE-SCON-REL-1	28	28.1	28.1.1	Ocultas	N	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Realizar la inspección verificación correspondiente del estado a conexiones eléctricas y componentes				4 Meses	Técnico Eléctrico / Contratista
PE-GEN-ROD-1	29	29.1	29.1.1	No Operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	Garantizar la correcta lubricación de los rodamientos, verificando que los puntos de ingreso de grasa				4 Meses	Técnico Mecánico
PE-GEN-EST-1	30	30.1	30.1.1	Ocultas	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Verificación funcionalidad en componentes eléctricos. Aplicar ensayo de Termografía				4 Meses	Técnico Eléctrico
PE-GEN-SH-1	31	31.1	31.1.1	Operacional	S	N	N	N	N	N	S	-	-	-	Visita de un ingeniero especializado en análisis de vibraciones, controlar las desviaciones				6 Meses	Técnico Mecánico / Contratista
PE-EBP-CA-1	32	32.1	32.1.1	Medio ambiente	S	N	S	N	S	-	-	-	-	-	Verificar y ajuste de todas uniones la atornilladas que aseguran la caseta acústica, en caso de la pérdida de piezas reemplazarlas. Importante que todas las piezas estén completas para disminuir el ruido				6 Meses	Técnico Mecánico
PE-EBP-AI-1	33	33.1	33.1.1	Medio ambiente	S	N	S	N	S	-	-	-	-	-	En rutina de mantenimiento preventivo verificar y ajuste de todas uniones la atornilladas de los absorbedores de impacto.				6 Meses	Técnico Mecánico

PLAN DE MANTENIMIENTO - RCM II - PLANTA ELECTRICA CUMMINS- GS 900 - 900KW - 1125KVA

ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO

UNIVERSIDAD ECCI

Elaborado por: Ing. Sergio Hurtado, Ing., Yerson Álvarez

Fecha de elaboración: 14/10/2020

Revisado por: Ph.D. María Gabriela Mago

Fecha de revisión 14/10/2020

EQUIPO	CODIFICACIÓN	SISTEMA	COMPONENTE	ESTRATEGIA DE MANT.	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	DURACIÓN	RESPONSABLE	NUMERO DE PERSONAS	FRECUENCIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Planta Eléctrica (PE)	PE-SL-BA-1	Sistema de lubricación (SL)	Bomba de aceite (BA)	Prueba funcional / Mantenimiento preventivo	En rutina de mantenimiento preventivo realizar verificación del correcto montaje de la bomba de aceite, empaques y cauchos en la posición adecuada, verificación de tornillería, debe estar completa con el ajuste y torque de servicio según recomendación de fabricante, Al momento de realizar cambio de repuesto, en la bomba de aceite, se debe limpiar la superficie y dejar libre de partículas para hacer el correcto montaje.	2 Horas	Técnico Mecánico	2	6 Meses			X						X			
Planta Eléctrica (PE)	PE-SL-FAC-1	Sistema de lubricación (SL)	Filtro de aceite (FAC)	Mantenimiento Preventivo	En rutina de cambio de filtro de aceite, se debe realizar la instalación de la forma correcta, limpiar superficies. Verificar que el insumo es el requerido para la operación por recomendación de fabricante.	2 Horas	Técnico Mecánico	1	6 Meses			X						X			
Planta Eléctrica (PE)	PE-SEG-ET-1	Sistema de extracción de gases (SAG)	Empaques de tubería (ET)	Mantenimiento Preventivo	En rutina de mantenimiento preventivo verificar que las todas las partes de los tornillos se encuentran completos. De igual manera verificar y ajustar de todas uniones la atornilladas usando torquímetro y ajustando al torque de servicio requerido	2 Horas	Técnico Mecánico	1	2 Meses		X		X		X		X		X		X
Planta Eléctrica (PE)	PE-SEG-M-1	Sistema de extracción de gases (SAG)	Múltiple (M)	Inspección Visual	En rutina de mantenimiento preventivo verificar que las todas las partes de los tornillos se encuentran completos. De igual manera verificar y ajustar de todas uniones la atornilladas usando torquímetro y ajustando al torque de servicio requerido	2 Horas	Técnico Mecánico	1	6 Meses		X						X				
Planta Eléctrica (PE)	PE-SEG-EX-1	Sistema de extracción de gases (SAG)	Exhosto (EX)	Mantenimiento Preventivo	En rutina de mantenimiento preventivo verificar que las todas las partes de los tornillos se encuentran completos. De igual manera verificar y ajustar de todas uniones la atornilladas usando torquímetro y ajustando al torque de servicio requerido	4 Horas	Técnico Mecánico	1	1 Año												X
Planta Eléctrica (PE)	PE-SCON-CE-1	Sistema de control (SCON)	Componentes eléctricos (CE)	Mantenimiento Predictivo, Termografía	Realizar la inspección correspondiente a las conexiones eléctricas, verificar que se encuentren en buen estado sin sulfataciones, terminales de cables en mal estado, cableado con marquilla. Hacer seguimientos con ensayo de termografía.	4 Horas	Técnico Eléctrico / Contratista	2	6 Meses				X								X
Planta Eléctrica (PE)	PE-SCON-CC-1	Sistema de control (SCON)	Tarjeta principal (TP)	Mantenimiento Preventivo	Realizar la inspección correspondiente a las conexiones eléctricas, verificar que se encuentren en buen estado sin sulfataciones, terminales de cables en mal estado, cableado con marquilla. Contemplar la visita del técnico especializado de la marca de fabricante para verificación del error en la tarjeta de programación	8 Horas	Técnico Eléctrico / Técnico CUMMINS	2	6 Meses					X						X	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SCON-CON-1	Sistema de control (SCON)	Contactores (CON)	Mantenimiento Predictivo, Termografía	Realizar la inspección correspondiente a las conexiones eléctricas, verificar que se encuentren en buen estado sin sulfataciones, terminales de cables en mal estado, cableado con marquilla. Hacer seguimientos con ensayo de termografía. Verificar el buen estado de los componentes eléctricos específicamente los contactores.	4 Horas	Técnico Eléctrico / Contratista	2	4 Meses	X				X				X			
Planta Eléctrica (PE)	PE-SCON-REL-1	Sistema de control (SCON)	Relevos (REL)	Mantenimiento Predictivo, Termografía	Realizar la inspección correspondiente a las conexiones eléctricas, verificar que se encuentren en buen estado sin sulfataciones, terminales de cables en mal estado, cableado con marquilla. Hacer seguimientos con ensayo de termografía. Verificar el buen estado de los componentes eléctricos específicamente los relevos	4 Horas	Técnico Eléctrico / Contratista	2	4 Meses				X				X				X
Planta Eléctrica (PE)	PE-GEN-ROD-1	Generador (GEN)	Rodamientos (ROD)	Mantenimiento Preventivo / Prueba funcional	En la rutina de mantenimiento el técnico mecánico debe garantizar la correcta lubricación de los rodamientos, verificando que los puntos de ingreso de grasa estén en buen estado. De esta forma se garantiza que los rodamientos no tendrán lubricación deficiente. Clasificación y disposición de residuos de acuerdo a políticas de la empresa.	6 Horas	Técnico Mecánico	1	4 Meses	X				X				X			
Planta Eléctrica (PE)	PE-GEN-EST-1	Generador (GEN)	Estator (EST)	Inspección Visual / Termografía	En rutina de mantenimiento, técnico eléctrico realizara la verificación de todos los componentes que estén bajo su especialidad buscando evidencias que puedan afectar el buen funcionamiento de los equipos eléctricos Aplicar ensayo de Termografía	2 Horas	Técnico Eléctrico / Contratista	2	4 Meses	X				X				X			
Planta Eléctrica (PE)	PE-GEN-SH-1	Generador (GEN)	Eje principal (SH)	Mantenimiento Predictivo, análisis de vibraciones	Cuando los ejes principales evidencien alguna desalienación, contemplar la visita de un ingeniero especializado en análisis de vibraciones, controlar las desviaciones para que no superen los límites máximos permitidos	8 Horas	Técnico Mecánico / Contratista	2	6 Meses						X						X
Planta Eléctrica (PE)	PE-EBP-CA-1	Estructura base de planta (EBP)	Caseta Acústica (CA)	Mantenimiento Preventivo	En rutina de mantenimiento preventivo verificar y ajuste de todas uniones la atornilladas que aseguran la caseta acústica, en caso de la pérdida de piezas reemplazarlas. Importante que todas las piezas estén completas para disminuir el ruido	1 Hora	Técnico Mecánico	1	6 Meses		X						X				
Planta Eléctrica (PE)	PE-EBP-AI-1	Estructura base de planta (EBP)	Absorbedores de impacto (AI)	Mantenimiento Preventivo	En rutina de mantenimiento preventivo verificar y ajuste de todas uniones la atornilladas de los absorbedores de impacto.	1 Hora	Técnico Mecánico	1	6 Meses		X						X				

Convenciones de Cronograma

- X Mantenimiento Predictivo
- X Mantenimiento Preventivo
- X Mantenimiento Correctivo

5W + 1H - RCM II - PLANTA ELECTRICA CUMMINS- GS 900 - 900KW - 1125KVA

ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO

UNIVERSIDAD ECCI

Elaborado por: Ing. Sergio Hurtado, Ing. Yerson Álvarez

Fecha de elaboración: 14/10/2020

Revisado por: Ph.D. María Gabriela Mago

Fecha de revisión 14/10/2020

Where? Donde Ejecutar la Orden (componente)?				What? Que Hacer?			Who? Quien hace la actividad?			How? Como se realiza?			When? Cuando se hace la actividad?			Which? Con que repuesto, material, herramienta ?		
EQUIPO	CODIFICACIÓN	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ESTRATEGIA DE MANT.	CATEGORIA	CENTRO DE TRABAJO	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	FRECUENCIA	CONDICION DE LINEA (PARADO U OPERADO)	H/H	CODIGO SAP	REPUESTO	UNIDAD DE MEDIDA	HERRAMIENTA	
Planta Eléctrica (PE)	PE-MCI-IY-1	Motor de combustión interna (MCI)	Inyectores (IY)	Dirigir combustible hacia cuerpo de inyección para cámara de admisión	Mangueras de combustibles averiadas	Se selecciono inadecuadamente el elemento	Mantenimiento Correctivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento correctivo reemplazar las mangueras. Hacer las pruebas adecuadas de presión de combustible. Verificar que no hay fugas de combustible en el sistema y que la presión sea constante.	3 meses	PARADO	3 horas	PE_10000305	Manguera de combustible	2 Unidades	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-MCI-PC-1	Motor de combustión interna (MCI)	Pre calentadores (PC)	Generar un pre calentamiento del motor para evitar choque térmico	Resistencias dañadas	Vida útil del elemento	Prueba Funcional	ELEC: Eléctrica	Personal interno y Contratista	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento preventivo revisar los pre calentadores si los mecanismos eléctricos se encuentran generando la carga necesaria para el encendido de la mecha. Si el elemento no genera encendido debe ser reemplazado inmediatamente.	6 meses	PARADO	5 horas	PE_10040203	Pre calentado	2 unidades	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-MCI-PI-1	Motor de combustión interna (MCI)	Válvulas, pistones, árbol de levas. (PI)	Transmitir la energía generada a los demás componentes mecánicos	Fuga de aceite por medio del bloque con la culata	Mantenimiento preventivo inadecuado	Inspección visual	MEC: Mecánica	Personal Interno	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento preventivo revisar los elementos de transmisión y los elementos de sincronía para evidenciar si es una secuencia errónea. .	1 año	PARADO	3 horas	PE_10000306	N/A	N/A	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SCA-CB-1	Sistema de carga y arranque (SCA)	Circuito de baterías (CB)	Almacenar energía eléctrica para uso de la planta.	Batería de planta eléctrica esta descargada	Mantenimiento preventivo incompleto	Prueba funcional	ELEC: Eléctrica	Personal Interno	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento correctivo reemplazar el circuito de baterías. Hacer prueba de carga y descarga de las baterías. Supervisar esos elementos para asegurar su correcto funcionamiento.	1 año	OPERANDO	5 horas	PE_1002003	Batería seca Magna	2 unidades	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SCA-AL-1	Sistema de carga y arranque (SCA)	Alternador (AL)	Transformar la energía mecánica en energía eléctrica.	Alternador no está funcionando correctamente	El elemento falla por su vida útil	Prueba funcional	ELEC: Eléctrica	Personal interno y Contratista	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento correctivo reemplazar el alternador del equipo. Hacer prueba de carga y descarga de las baterías. Supervisar esos elementos para asegurar su correcto funcionamiento.	1 año	PARADO	3 horas	PE_1002001	Alternador CUMMINS 147	1 Unidad	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SCA-CD-1	Sistema de carga y arranque (SCA)	Correa de distribución (CD)	Sincronizar a rotación de los ejes principales para que funcionen en un mismo tiempo	Correa de distribución esta averiada	Por no hacer el cambio en el mantenimiento preventivo	Inspección visual	MEC: Mecánica	Personal Interno	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento correctivo reemplazar las correas del equipo. Hacer prueba de transmisión de potencia de los equipos mecánicos que hacen parte de este componente.	3 meses	PARADO	2 horas	PE_1004001	Correa de transmisión en v	4 unidades	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SAC-MF-1	Sistema de abastecimiento de combustible (SAC)	Mangueras flexo metálicas (MF)	Suministrar el combustible al motor	Mangueras de combustible se encuentran oxidadas en su interior	Vida útil excesiva de la manguera, ya que no se reemplazo en mantenimiento preventivo	Mantenimiento Correctivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento correctivo reemplazar las mangueras. Hacer las pruebas adecuadas de presión de combustible. Verificar que no hay fugas de combustible en el sistema y que la presión sea constante.	6 meses	PARADO	1 hora	PE_10000308	Manguera 147 MV	2 unidades	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SAC-FC-1	Sistema de abastecimiento de combustible (SAC)	Filtro de combustible (FC)	Mantener el combustible sin rastro de partículas	Impurezas y partículas de gasolina	Combustible utilizado no es de buena calidad	Mantenimiento Correctivo	MEC: Mecánica	Personal interno y Contratista	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. Hacer el cambio del combustible del sistema asi como una purga y cambio de los medios filtrantes para evitar que las partículas del combustible anterior contaminen el nuevo.	4 meses	PARADO	1 hora	N/A	ACPM	100 Galones	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SAC-BC-1	Sistema de abastecimiento de combustible (SAC)	Bomba de combustible (BC)	Mantener un flujo constante de combustible en el equipo	Material particulado que logra atravesar genera taponamiento del elemento	Mantenimientos preventivos no realizados correctamente ya que se debían cambiar los filtros	Mantenimiento Correctivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	En rutina de cambio de filtro de aceite, se debe realizar la instalación de la forma correcta, limpiar superficies. Verificar que el insumo es el requerido para la operación por recomendación de fabricante. Se debe revisar el sistema de admisión para asegurar que las emisiones generadas no sean inadecuadas.	3 meses	OPERANDO	2 horas	PE_10000103	Filtro en seco 1458	1 Unidad	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SAC-TAQ-1	Sistema de abastecimiento de combustible (SAC)	Tanque de almacenamiento (TAQ)	Almacenamiento de combustible	Oxidación de estructura interna por ingreso de sustancias químicas no compatibles	Empaquetaduras defectuosas, que permiten el ingreso a otros químicos	Mantenimiento Correctivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento correctivo se debe cambiar el elemento de forma inmediata para evitar del daño de mecanismos mas complejos. El técnico debe hacer seguimiento al equipo para verificar el sello correcto del sistema.	4 meses	PARADO	4 horas	N/A	Empaque de motor BG-100	1 Unidad	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SER-RAG-1	Sistema de enfriamiento, refrigeración (SER)	Recipiente agua Líquido refrigerante (RAG)	Retener liquido refrigerante en un rango de niveles Máximo y mínimo.	Recipiente de líquido refrigerante presenta fisuras	Las revisiones realizadas en los mantenimientos ha sido deficiente.	Inspección visual	MEC: Mecánica	Personal Interno	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento correctivo se debe reparar el recipiente de suministro. Cambiara el refrigerante del sistema para evitar el daño de elementos mecánicos.	3 meses	PARADO	3 horas	N/A	N/A	N/A	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SER-MAG-1	Sistema de enfriamiento, refrigeración (SER)	Mangueras de agua (MAG)	Transpirar el liquido refrigerante para el motor	Mangueras de agua se encuentran mal instaladas	Instalación inicial se hizo de manera inadecuada	Mantenimiento Preventivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento correctivo se debe reemplazar las mangueras. Se deben hacer pruebas de potencias para evidenciar el correcto funcionamiento de los nuevos elementos.	6 meses	PARADO	2 horas	PE_10000205	Manguera flexo metálica	2 Unidades	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SER-RAD-1	Sistema de enfriamiento, refrigeración (SER)	Radiador (RAD)	Hacer la transferencia de calor	Estructura de radiador presenta golpes	Mala utilización del elemento y mal mantenimiento preventivo que no reporto el daño con anterioridad	Inspección visual / Prueba funcional	MEC: Mecánica	Personal Interno	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento correctivo se debe reemplazar el radiador dañado. Tratar de colocarle rejillas de protección para evitar el daño accidental del elemento	1 año	PARADO	4 horas	PE_10000345	Radiador de 34 Lts	1 Unidad	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SER-TERM-1	Sistema de enfriamiento, refrigeración (SER)	Termostato (TERM)	Informar sobre la temperatura del equipo	Sobrecalentamiento debido a mal funcionamiento de termostato	Mantenimiento no existente que reporto daño del elemento	Prueba funcional / Mantenimiento preventivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	En rutina de cambio de filtro de aceite, se debe realizar la instalación de la forma correcta, limpiar superficies. Verificar que el insumo es el requerido para la operación por recomendación de fabricante. Se debe revisar el sistema de admisión para asegurar que las emisiones generadas no sean inadecuadas.	3 meses	OPERANDO	2 horas	PE_10000102	Filtro de aire KL-125	1 Unidad	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SER-VEN-1	Sistema de enfriamiento, refrigeración (SER)	Ventilador (VEN)	Eliminar/regular la temperatura del motor y componentes	Daño de bobina por elevación de voltaje	Protecciones de energía inadecuadas que dan paso a altos voltajes al equipo	Prueba funcional / Mantenimiento preventivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento preventivo verificar ajuste correcto de todos los componentes en especial las protecciones del sistema. Revisar la capacidad de los breakers.	6 meses	PARADO	2 horas	PE_10000203	Breaker Sneider 45 Amp	1 unidad	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SAA-F-1	Sistema de admisión de aire (SAA)	Filtro de aire (F)	Mantener un suministro constante de oxígeno limpio en el motor	Taponamiento del filtro de aire por suciedad	No se reemplazo el filtro en el mantenimiento preventivo	Mantenimiento Preventivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	En rutina de cambio de filtro de aceite, se debe realizar la instalación de la forma correcta, limpiar superficies. Verificar que el insumo es el requerido para la operación por recomendación de fabricante. Se debe revisar el sistema de admisión para asegurar que las emisiones generadas no sean inadecuadas.	3 meses	OPERANDO	1 hora	PE_10000101	Filtro de aire de CUMMINS	1 Unidad	Herramienta manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SAA-TURB-1	Sistema de admisión de aire (SAA)	Turbo cargador (TURB)	Aumentar el oxígeno inyectado al motor para aumentar la potencia	Fugas de presión en turbocargador	No se han realizado los mantenimientos preventivo en el momento requerido	Prueba funcional / Mantenimiento preventivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento preventivo verificar ajuste correcto de todos los componentes en especial la tornillería completa. Verificación de la instalación adecuada de filtro de aire y realizar cambio si se requiere de acuerdo a manual de mantenimiento de fabricante.	3 Meses	PARADO	1 Horas	PE_10000100	Filtro de Aire CUMMINS Turbocargador	1 Unidad	Herramienta Manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SAA-CO-1	Sistema de admisión de aire (SAA)	Compresor (CO)	Incrementar el rendimiento y optimizar la combustión	Falta de lubricación en compresor	Apriete del tapón del compartimiento de aceite no se realizo adecuadamente	Prueba funcional / Mantenimiento preventivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	La planta eléctrica debe estar fuera de funcionamiento. En rutina de mantenimiento preventivo verificar que la estructura del compresor y lugares adyacentes no se encuentre mojados por fugas del lubricante, verificar y ajustar esencialmente los orificios y tapones del lubricante. Verificar estado se sellos si es necesario realizar cambio. Clasificación y disposición de residuos de acuerdo a políticas de la empresa.	3 Meses	PARADO	2 Horas	PE_10000150 PE_10000155	Sellos de compresor Lubricante Compresor	Según estado, Aceite 1/4 de gal	Herramienta Manual, Embudo, Trapos	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SL-CA-1	Sistema de lubricación (SL)	Carter de aceite (CA)	Almacenamiento de aceite que lubrica todas las partes metálicas del motor	Temperatura elevada en diferentes componentes mecánicos	Nivel de aceite por debajo del recomendado por el fabricante	Mantenimiento Preventivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	En rutina de cambio de filtro de aceite, se debe realizar la instalación de la forma correcta, limpiar superficies. Verificar que el insumo es el requerido para la operación por recomendación de fabricante. El aceite debe alcanzar el nivel adecuado. Verificar el correcto funcionamiento de otros componentes como la bomba de agua, y el nivel de liquido refrigerante.	6 Meses	PARADO	2 Horas	PE_10000200 PE_10000155	Filtro de Aceite CUMMINS Aceite 4/4 de gal	1 Unidad	Herramienta Manual, Embudo, Trapos	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SL-BA-1	Sistema de lubricación (SL)	Bomba de aceite (BA)	Bombear lubricante a los mecanismos del equipo	Perdida de presión por taponamiento	No se encuentra bien instalada la bomba de aceite, mal montaje	Prueba funcional / Mantenimiento preventivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	En rutina de mantenimiento preventivo realizar verificación del correcto montaje de la bomba de aceite, empaques y cauchos en la posición adecuada, verificación de tornillería, debe estar completa con el ajuste y torque de servicio según recomendación de fabricante, Al momento de realizar cambio de repuesto, en la bomba de aceite, se debe limpiar la superficie y dejar libre de partículas para hacer el correcto montaje.	6 Meses	PARADO	2 Horas	N/A	N/A	N/A	Herramienta Manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SL-FAC-1	Sistema de lubricación (SL)	Filtro de aceite (FAC)	Mantener el fluido sin impurezas	El material particulado puede generar taponamiento en el elemento aumentando la presión	No se hizo el cambio del filtro de aceite en el momento indicado	Mantenimiento Preventivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	En rutina de cambio de filtro de aceite, se debe realizar la instalación de la forma correcta, limpiar superficies. Verificar que el insumo es el requerido para la operación por recomendación de fabricante.	6 Meses	PARADO	2 Horas	PE_10000200	Filtro de Aceite CUMMINS	1 Unidad	Herramienta Manual, Trapos	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SEG-ET-1	Sistema de extracción de gases (SAG)	Empaques de tubería (ET)	Reducir el nivel de vibraciones entre partes metálicas de la tubería del exhosto	Tornillería y componentes de sujeción sueltos o con partes faltantes	Tornillería suelta o faltante	Mantenimiento Preventivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	En rutina de mantenimiento preventivo verificar que las todas las partes de los tornillos se encuentran completos. De igual manera verificar y ajustar de todas uniones la atomilladas usando torquímetro y ajustando al torque de servicio requerido	2 Meses	PARADO	2 Horas	N/A	N/A	N/A	Herramienta Manual	
Planta Eléctrica (PE)	PE-SEG-M-1	Sistema de extracción de gases (SAG)	Múltiple (M)	Redirigir lo gases	Desajuste y perdida de tornillería en mecanismo	Tornillería suelta o faltante	Inspección Visual	MEC: Mecánica	Personal Interno	En rutina de mantenimiento preventivo verificar que las todas las partes de los tornillos se encuentran completos. De igual manera verificar y ajustar de todas uniones la atomilladas usando torquímetro y ajustando al torque de servicio requerido	6 Meses	PARADO	2 Horas	N/A	N/A	N/A	Herramienta Manual	

5W + 1H - RCM II - PLANTA ELECTRICA CUMMINS- GS 900 - 900KW - 1125KVA

ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO

UNIVERSIDAD ECCI

Elaborado por: Ing. Sergio Hurtado, Ing., Yerson Álvarez

Fecha de elaboración: 14/10/2020

Revisado por: Ph.D. María Gabriela Mago

Fecha de revisión 14/10/2020

Where? Donde Ejecutar la Orden (componente)?				What? Que Hacer?			Who? Quien hace la actividad?			How? Como se realiza?	When? Cuando se hace la actividad?		Which? Con que repuesto, material, herramienta ?				
EQUIPO	CODIFICACIÓN	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ESTRATEGIA DE MANT.	CATEGORIA	CENTRO DE TRABAJO	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	FRECUENCIA	CONDICION DE LINEA (PARADO U OPERADO)	H/H	CODIGO SAP	REPUESTO	UNIDAD DE MEDIDA	HERRAMIENTA
Planta Eléctrica (PE)	PE-SEG-EX-1	Sistema de extracción de gases (SAG)	Exhosto (EX)	Evitar que los gases se acumulen en el motor y reduzcan su eficiencia	Aumento considerable los decibles cuando la planta se encuentra en operación	Tornillería suelta o faltante	Mantenimiento Preventivo	MEC: Mecánica	Personal Interno	En rutina de mantenimiento preventivo verificar que las todas las partes de los tornillos se encuentran completos. De igual manera verificar y ajustar de todas uniones la atornilladas usando torquímetro y ajustando al torque de servicio requerido	1 Año	PARADO	4 Horas	N/A	N/A	N/A	Herramienta Manual
Planta Eléctrica (PE)	PE-SCON-CE-1	Sistema de control (SCON)	Componentes eléctricos (CE)	Dar funcionalidad a las partes mecánicas que esta automatizadas	Falla en relés o componentes eléctricos	Desajuste en la conexiones eléctricas	Mantenimiento Predictivo, Termografía	ELEC: Eléctrica	Personal interno y Contratista	Realizar la inspección correspondiente a las conexiones eléctricas, verificar que se encuentren en buen estado sin sulfataciones, terminales de cables en mal estado, cableado con marquilla. Hacer seguimientos con ensayo de termografía. Verificar el buen estado de los componentes eléctricos	4 Meses	OPERANDO	4 Horas	PE_10000500	N/A	1 Unidad	Herramienta Manual , Equipo de Termografía Certificado
Planta Eléctrica (PE)	PE-SCON-CC-1	Sistema de control (SCON)	Tarjeta principal (TP)	Dirigir todas las funciones del equipo	Fallas en la tarjeta de programación	Suciedad, polvo, humedad al interior del modulo evitan refrigeración adecuada	Mantenimiento Correctivo	ELEC: Eléctrica	Técnico Eléctrico, Técnico CUMMINS	Realizar la inspección correspondiente a las conexiones eléctricas, verificar que se encuentren en buen estado sin sulfataciones, terminales de cables en mal estado, cableado con marquilla. Contemplar la visita del técnico especializado de la marca de fabricante para verificación del error en la tarjeta de programación	6 Meses	PARADO	8 Horas	N/A	N/A	N/A	Herramienta Manual, Herramienta Eléctrica
Planta Eléctrica (PE)	PE-SCON-CON-1	Sistema de control (SCON)	Contactores (CON)	Encender y apagar el equipo	Falla de Contactor por vida útil que no genere encendido en el equipo	Desajuste en la conexiones eléctricas	Mantenimiento Predictivo, Termografía	ELEC: Eléctrica	Personal interno y Contratista	Realizar la inspección correspondiente a las conexiones eléctricas, verificar que se encuentren en buen estado sin sulfataciones, terminales de cables en mal estado, cableado con marquilla. Hacer seguimientos con ensayo de termografía. Verificar el buen estado de los componentes eléctricos específicamente los contactores.	4 Meses	OPERANDO	4 Horas	PE_10000500	N/A	1 Unidad	Herramienta Manual , Equipo de Termografía Certificado
Planta Eléctrica (PE)	PE-SCON-REL-1	Sistema de control (SCON)	Relevos (REL)	Iniciar encendido de elementos electrónicos	Daño en relé por vida útil o sobrevoltaje	Desajuste en la conexiones eléctricas	Mantenimiento Predictivo, Termografía	ELEC: Eléctrica	Personal interno y Contratista	Realizar la inspección correspondiente a las conexiones eléctricas, verificar que se encuentren en buen estado sin sulfataciones, terminales de cables en mal estado, cableado con marquilla. Hacer seguimientos con ensayo de termografía. Verificar el buen estado de los componentes eléctricos específicamente los relevos	4 Meses	OPERANDO	4 Horas	PE_10000500	N/A	1 Unidad	Herramienta Manual , Equipo de Termografía Certificado
Planta Eléctrica (PE)	PE-GEN-ROD-1	Generador (GEN)	Rodamientos (ROD)	Generar la energía eléctrica desde el equipo	Rodamientos evidencian sonidos inusuales	Deficiencia en la lubricación, no se hace oportunamente.	Mantenimiento Preventivo / Prueba funcional	MEC: Mecánica	Personal Interno	En la rutina de mantenimiento el técnico mecánico debe garantizar la correcta lubricación de los rodamientos, verificando que los puntos de ingreso de grasa estén en buen estado. De esta forma se garantiza que los rodamientos no tendrán lubricación deficiente. Clasificación y disposición de residuos de acuerdo a políticas de la empresa.	4 Meses	PARADO	6 Horas	PE_10000650	Grasa para Rodamientos	300 Gr	Herramienta Manual, Trapos
Planta Eléctrica (PE)	PE-GEN-EST-1	Generador (GEN)	Estator (EST)	Transmitir potencia o corriente eléctrica	Falla en el bobinado por sobre voltajes	La presencia de humedad en el ambiente propicia la oxidación en el bobinado	Inspección Visual	ELEC: Eléctrica	Personal interno	En rutina de mantenimiento, técnico eléctrico realizara la verificación de todos los componentes que estén bajo su especialidad buscando evidencias que puedan afectar el buen funcionamiento de los equipos eléctricos Aplicar ensayo de Termografía	4 Meses	OPERANDO	2 Horas	PE_10000500	N/A	1 Unidad	Herramienta Manual , Equipo de Termografía Certificado
Planta Eléctrica (PE)	PE-GEN-SH-1	Generador (GEN)	Eje principal (SH)	Dirigir la potencia a los elementos mecánicos	Sobre presión del elemento que puede generar fatigas estructurales	Elementos rotativos desalineados	Mantenimiento Predictivo, análisis de vibraciones	MEC: Mecánica	Personal interno y Contratista	Cuando los ejes principales evidencien alguna desalienación, contemplar la visita de un ingeniero especializado en análisis de vibraciones, controlar las desviaciones para que no superen los limites máximos permitidos	6 Meses	PARADO	8 Horas	PE_10000510	N/A	1 Unidad	Herramienta Manual , Equipo de Análisis de vibraciones Certificado
Planta Eléctrica (PE)	PE-EBP-CA-1	Estructura base de planta (EBP)	Caseta Acústica (CA)	Aislar el ruido que se produce en la planta eléctrica hacia el exterior. Disminuir el nivel de vibraciones en la planta por el movimiento normal de operación	Se escucha bastante ruido cuando la planta entra en operación	Faltan tornillos de sujeción de la caseta acústica con la estructura de soporte	Prueba funcional	MEC: Mecánica	Personal interno	En rutina de mantenimiento preventivo verificar y ajuste de todas uniones la atornilladas que aseguran la caseta acústica, en caso de la perdida de piezas reemplazarlas. Importante que todas las piezas estén completas para disminuir el ruido	6 Meses	PARADO	1 Hora	N/A	N/A	N/A	Herramienta Manual
Planta Eléctrica (PE)	PE-EBP-AI-1	Estructura base de planta (EBP)	Absorbedores de impacto (AI)		Desajuste de elementos	Mantenimiento preventivo incompleto	Mantenimiento Preventivo	MEC: Mecánica	Personal interno	En rutina de mantenimiento preventivo verificar y ajuste de todas uniones la atornilladas de los absorbedores de impacto.	6 Meses	PARADO	1 Hora	N/A	N/A	N/A	Herramienta Manual