

Propuesta de mejora basada en RCM al plan de mantenimiento establecido para las plantas eléctricas de la Empresa CCBP en la ciudad de Bogotá D.C.

John Jairo Paez Mesa

Andrés Fabián Villamil Velandia

Carlos Alberto Zaidman Domínguez

Universidad - ECCI

Dirección de Posgrados

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá D.C.

2022

Propuesta de mejora basado en RCM al plan de mantenimiento establecido para dos plantas eléctricas de la Empresa CCBP en la ciudad de Bogotá D.C.

John Jairo Paez Mesa – Código 114426

Andrés Fabián Villamil Velandia – Código 14874

Carlos Alberto Zaidman Domínguez – Código 118767

Docente:

Ing. Luis Humberto Mendieta Serna

Universidad - ECCI

Dirección de Posgrados

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá D.C.

2022

Tabla de Contenido.

Tabla de Contenido.	3
Tabla de Tablas	7
Introducción.	11
Problema de Investigación	12
Descripción del Problema	12
Planteamiento del Problema	14
Sistematización del Problema	14
Objetivos	15
Objetivo general	15
Objetivos Específicos	15
Justificación, Delimitación y Limitaciones	15
Justificación	15
Delimitación	16
Limitaciones	16
Marcos de Referencia	17
Estado del Arte	17
<i>Estado del Arte a Nivel Local</i>	17
<i>Estado del Arte a Nivel Nacional</i>	20
<i>Estado del Arte a Nivel Internacional</i>	23
Marco Teórico	28

<i>Importancia de la Gestión de Activos en las Actividades de Mantenimiento</i>	30
<i>La filosofía del mantenimiento</i>	31
<i>Indicadores</i>	35
<i>Herramientas para Mantenimiento Predictivo</i>	37
Marco Histórico	42
<i>Plan de mantenimiento: enfoque y metodología</i>	44
<i>Políticas de Mantenimiento</i>	45
Marco Metodológico	46
Recolección de la información	46
Tipo de investigación	47
Fuentes de obtención de la información	48
<i>Fuentes Primarias</i>	48
<i>Fuentes Secundarias</i>	48
<i>Fuente terciaria</i>	49
Herramienta	49
Metodología	50
Información recopilada	50
<i>Inventario de Equipos</i>	50
<i>Diagrama Eléctrico Unifilar</i>	53
<i>Manual de operación del equipo</i>	54
<i>Cronograma de Mantenimiento</i>	55

<i>Reportes de mantenimiento preventivo</i>	56
<i>Registro de fallas y novedades</i>	58
Análisis de la información	59
Análisis DOFA	59
Análisis de criticidad	61
Taxonomía del Activo Planta Eléctrica de la Empresa CCBP	62
Revisión de rutinas de mantenimiento y periodicidad.	62
Análisis FMECA	63
Indicadores	64
Discusión	65
Propuesta de solución	66
Impactos Esperados / Generados	72
Impactos esperados	72
Impactos alcanzados	73
Análisis Financiero	74
Evaluación Costo – Beneficio relacionado con el Plan de Mantenimiento Actual.	74
Cálculo del Costo de Ciclo de Vida (CCV) del Activo Objeto de Estudio	78
Discriminación de los Costos	79
<i>Costos Iniciales (CAPEX)</i>	79
<i>Costos de Operación, Mantenimiento, Descarte y Otros (OPEX)</i>	80
<i>Costos por Baja Confiabilidad o Bajo Desempeño (Cnd)</i>	80

Costos por desincorporación (CD)	83
Cálculo de Retorno de la Inversión (ROI)	83
Presupuesto Anual de Mantenimiento del Activo Objeto de Estudio	87
Conclusiones y Recomendaciones	87
Conclusiones	87
Recomendaciones	89
Referencias Bibliográficas	90
Referencias	90
Anexos	95

Tabla de Tablas

Tabla 1 Marco Legal y Normativo Aplicable	40
Tabla 2 Plan de Trabajo y Cronograma Ejecución de Actividades.....	47
Tabla 3 Listado de activos de la empresa CCBP relacionados con el sistema eléctrico	51
Tabla 4 Resumen de fallas registradas en CMMS Mantum® para la planta eléctrica durante el año 2021.....	59
Tabla 5 Análisis de Criticidad Activos Empresa CCBP	61
Tabla 6 Rutina de mantenimiento y periodicidad establecidas por el Fabricante del Activo Planta	63
Tabla 7 Resumen Indicadores Básicos de Gestión Mantenimiento Plantas Eléctricas Empresa CCBP - Periodo 2021.....	65
Tabla 8 Plan de Mantenimiento Sugerido – Ajuste al Propuesto por el Fabricante.....	67
Tabla 9 Extracto de Rutinas Sugeridas del Plan de Mantenimiento Preventivo Plantas Eléctricas Empresa CCBP	68
Tabla 10 Costos discriminados anuales de mantenimiento plantas eléctricas 625 kVA / 500 kW – Periodo 2021	75
Tabla 11 Resumen de costos totales anuales de mantenimiento plantas eléctricas 625 kVA / 500 kW – Periodo 2021	75
Tabla 12 Costos por Mantenimientos Correctivos a la Planta Eléctrica - Periodo 2021	76
Tabla 13 Costos Totales por Concepto de Mantenimiento a la Planta Eléctrica - Periodo 2021..	76
Tabla 14 Costos Totales Estimados - Implementación de Propuesta de Mejora al Plan de Mantenimiento	77
Tabla 15 Resumen de costos de adquisición planta eléctrica 625 kVA / 500 kW en el año 2010	80
Tabla 16 Costo Aforo Completo Teatro	81
Tabla 17 Cálculo de ingreso por disponibilidad planta eléctrica	82
Tabla 18 Histórico de Ingreso Adicionales por Concepto de Arriendo Temporal Espacio Público Empresa CCBP	83
Tabla 19 Cálculo Histórico y Estimado de Generación de Energía por Soporte en Planta Eléctrica Empresa CCBP	84
Tabla 20 Índices de Precio al Consumidor 2010-2020 - Fuente DANE.....	85
Tabla 21 Cálculo estimado de flujo neto.....	85
Tabla 22 Estimación del VPN y ROI según Frecuencia de Mantenimiento al Activo	86
Tabla 23 Presupuesto 2021 (Causación) asociado a la Gestión de Mantenimiento de Plantas Eléctricas Empresa CCBP.....	87

Tabla de Figuras

Figura 1 Elementos de un sistema Kantiano, como enfoque sistémico puro en la unidad de mantenimiento de una organización	33
Figura 2 Características de los indicadores.....	36
Figura 3 Extracto del diagrama eléctrico unifilar de la empresa CCBP donde se ubican las plantas eléctricas	54
Figura 4 Extracto Manual de Usuario y Mantenimiento Planta Eléctrica S&S.....	55
Figura 5 Extracto Cronograma Plan de Mantenimiento Plantas Eléctricas Empresa CCBP - junio 2020202	56
Figura 6 Formato Físico de Informe de Mantenimiento a Planta Eléctrica Proveedor Stewart & Stevenson.....	57
Figura 7 Extracto de informe Histórico de Ordenes de Trabajo	58
Figura 8 Matriz de Cálculo de NPR.....	64
Figura 9 Indicador Confiabilidad y Disponibilidad para las Plantas Eléctricas Empresa CCBP – Periodo 2021	65

Resumen

La empresa CCBP en su infraestructura física está compuesto por varias zonas con diferentes espacios que se alquilan para eventos de diferente índole (artísticos, culturales, educativos, comerciales, entre otros), donde se debe garantizar durante todos los eventos el suministro de energía eléctrica. Si llega a ocurrir una falla eléctrica externa puede generar consecuencias críticas a nivel reputacional y económico, por lo que para mitigar este riesgo se plantea una estrategia de mantenimiento basada en RCM con actividades predictivas, partiendo de la premisa de la prevención y como estas pueden llegar a reducir la posibilidad de una falla en las plantas eléctricas, donde se puede ver los beneficios de cada actividad y la reducción de los posibles impactos económicos en caso que se materialice una falla funcional.

Se muestra la estrategia que se propone para los planes de mantenimiento de las plantas eléctricas, analizando las variables relacionadas a beneficios, oportunidades, riesgos y seguridad. Proyectando así el análisis financiero desde el momento de la compra hasta la actualidad, viendo el proceso del retorno de la inversión comparado con los impactos económicos y de renombre, que se puedan presentar al momento de una falla en el activo.

Abstract

The CCBP company in its physical infrastructure is made up of several areas with different spaces that are rented for events of different kinds (artistic, cultural, educational, commercial, among others), where the supply of electricity must be guaranteed during all the events. If an electrical power outage occurs, it can generate critical consequences at a reputational and economic level, so to mitigate this risk, a maintenance strategy based on RCM with predictive activities is proposed, starting from the premise of prevention and how these can reduce the possibility of a failure in the electrical generators, where you can see the benefits of each activity and the reduction of the possible economic impacts in the event that a functional failure materializes.

The strategy proposed for the maintenance plans of power generators is shown, analyzing the variables related to benefits, opportunities, risks and safety. Thus, projecting the financial analysis from

the moment of purchase to the present, seeing the return-on-investment process compared to the economic and reputational impacts that may occur at the time of an asset failure.

Palabras Claves

Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenimiento, RCM (Reliability Centered Maintenance), ROI (Return-On-Investment), Taxonomía.

Introducción.

Las plantas eléctricas siempre son parte fundamental en los sistemas eléctricos cuando de respaldo eléctrico se trata, el desafío de una compañía consiste en hacer una adecuada gestión a este tipo de activos, garantizando así la optimización del mismo durante toda su vida útil.

El riesgo de materialización de una falla funcional en estos activos puede generar un impacto catastrófico en algunas organizaciones cuyo objeto de negocio sea, por ejemplo, la salud, el manejo de información y las telecomunicaciones, los propios servicios domiciliarios, entre otros. No obstante, para muchas organizaciones, como lo es un teatro, el impacto en temas financieros o de imagen pueden ser muy altos e inaceptables para la estrategia de negocio por lo que cobran relevancia, pues una falla funcional en la planta eléctrica puede ser la diferencia entre ofrecer un buen servicio o desencadenar riesgos de varios tipos (asociados a la aglomeración de personas) que se puedan dar al momento de una falta de suministro eléctrico. Por lo que es importante para las áreas encargadas de la gestión de mantenimiento de este tipo de activos poder garantizar su disponibilidad, diseñando e implementando estrategias que ofrezcan una relación costo-beneficio aceptable para la compañía.

Estas estrategias pueden darse desde el fabricante del equipo, sin embargo, los planes de mantenimiento recomendados no siempre aplican a todas las condiciones a las que pueden estar expuestos los equipos, por lo que se hace necesario ajustar dichas estrategias al contexto de cada compañía. Existen diferentes tipos de actividades predictivas que permiten detectar o identificar posibles fallas potenciales que puedan presentarse en los diferentes componentes del equipo, reduciendo así el impacto de las consecuencias de una falla funcional.

Dichas actividades predictivas, se recomiendan incluirlas en las estrategias aplicadas en la gestión del mantenimiento en pro de mantener el valor de los activos, minimizar el riesgo de materialización de fallas funcionales que afecten la continuidad del servicio, reducir en lo posible los costos asociados al mantenimiento y mejorar los resultados en los indicadores relacionados con los activos y su gestión de mantenimiento a niveles aceptables para la compañía. Teniendo en cuenta que, para estas actividades

predictivas se requiere el uso de equipos especializados cuyo costo para adquirido puede llegar a ser elevado frente al beneficio de tenerlo sumado a la necesidad de capacitación del personal en el uso y manejo de dichos equipos, puede ser más viable para la compañía evaluar la opción de tercerizar este tipo de mantenimiento.

Título

Propuesta de mejora basado en RCM al plan de mantenimiento establecido para las plantas eléctricas de la Empresa CCBP en la ciudad de Bogotá D.C.

Problema de Investigación

Descripción del Problema

La empresa CCBP es una de carácter privado, con el enfoque de ofrecer servicio cultural en la ciudad de Bogotá, teniendo como misión, fomentar el acceso con equidad a la literatura, la lectura, la escritura, la oralidad y la programación cultural de alta calidad. Por otra parte, crea y facilita espacios y medios que garantizan el derecho al conocimiento, la información, la cultura, el arte, el bienestar y la recreación de todos los grupos poblacionales y etarios, orientando sus esfuerzos al desarrollo humano y al ejercicio de derechos de los ciudadanos.

Las instalaciones de la empresa están ubicadas en la ciudad de Bogotá – Colombia, al norte de la ciudad, está compuesto, a grandes rasgos, de tres espacios definidos: Oficinas de servicios al público, espacios de uso privado y zonas comunes que comparten activos comunes con las demás áreas, administrados por una empresa experta en gestión de activos y Propiedades Horizontales (en adelante denominada como la empresa FACILITY) tales como: ascensores, sistemas de bombeo de agua potable y residual, planta eléctrica de respaldo, sistema de CCTV, instalaciones locativas, entre otros.

Dada las características de servicio al público y la necesidad de mantener la operación de forma permanente durante su horario de servicio, la Empresa CCBP cuenta con un sistema eléctrico respaldado por dos plantas eléctricas independientes para toda su sede.

La empresa ofrece sus instalaciones para realizar eventos artísticos y culturales propios o de terceros, donde se deben garantizar los servicios contratados como lo es el espacio de teatro y los recursos audiovisuales asociados como la iluminación de los espacios, las luces de la tarima, sonido, sistemas de micrófonos, y pantallas interactivas. También se tienen algunos servicios adicionales como concesiones de comida y buffet que son adicionales a los montos contratados.

Para cada contrato se estipulan las cláusulas pecuniarias sobre el 10 % del valor total del contrato, por lo que siempre se deben garantizar los servicios anteriormente mencionados, siendo cada uno de ellos vitales para el funcionamiento de los eventos artísticos que allí se desarrollan.

Para dar cumplimiento a los requerimientos de calidad que exige la Empresa CCBP, se tiene como encargada de estos activos a la FACILITY quien realiza toda la gestión del mantenimiento apoyado en su mapa de procesos disponible en su manual de calidad, el cual ubica la actividad realizada en la Empresa CCBP dentro de los procesos misionales de la compañía en el área de Facility Management. Debido a la necesidad de la confiabilidad del servicio, toma relevancia como segunda fuente de energía las plantas eléctricas, siendo el activo más crítico de las instalaciones, por lo que se requiere mejorar la confiabilidad y reducir la inversión de mantenimiento.

La empresa CCBP cuenta con dos (2) plantas eléctricas las cuales constan, cada una, de un generador STAMFORD sincrónico de cuatro polos con capacidad efectiva de 625 KVA/500 KW al nivel de la ciudad de Bogotá (2.550 msnm, temperatura media de 12 °C) Con rotor dinámicamente balanceado y excitatriz trifásica con capacidad de rectificación de onda completa a través de componentes de estado sólido, con supresor de picos, regulador de voltaje de +/- 1% de variación y paso de 2/3 de devanado, marca Stewart & Stevenson, ambas con antigüedad de once (12) años y más de 400 horas de trabajo, que representa el tiempo de trabajo efectivo correspondiente a cortes externos, pruebas de funcionamiento en vacío y rutinas de mantenimiento preventivo.

Como los activos cuentan con doce años de servicio, representados en el 44% del total del tiempo de su vida útil, se hace necesario prestar mayor atención a comportamiento de los activos y cuestionarse

sobre la confiabilidad y disponibilidad del activo y cómo se puede garantizar los niveles de calidad exigidos por la empresa.

Planteamiento del Problema

Uno de los objetivos buscados dentro de la gestión del mantenimiento realizado por FACILITY en cuanto refiere al contrato de administración con la empresa CCBP es la disminución de costos asociados al mantenimiento y que representan un alto porcentaje del presupuesto anual del CCBP. Si bien, se tiene definido un esquema de rutinas definido por el manual del fabricante de los activos, es importante evaluar las posibles alternativas disponibles y aplicables al mantenimiento que permitan optimizar los recursos económicos del cliente reduciendo costos sin que se exponga la calidad del servicio o la confiabilidad de los activos y que, como consecuencia, mejore la satisfacción del cliente toda vez que se pueden obtener beneficios, no solo económicos sino también operativos puesto que se puede llegar a implementar mejoras en los procesos que impacten de forma positiva el desempeño de los activos, prolongue su vida útil y reduzca costos operativos. Se hace necesario analizar y redefinir el plan de mantenimiento actual, con la finalidad de reducir costos y aumentar la confiabilidad del activo. Lo anterior, nos conduce a formular la siguiente pregunta:

¿Cómo hacer más eficiente el plan de mantenimiento establecido para las plantas eléctricas de la Empresa CCBP en la ciudad de Bogotá D.C. sin afectar la calidad del servicio o la confiabilidad de los activos?

Sistematización del Problema

- ¿Qué tipo de metodologías se pueden implementar en el plan de mantenimiento para hacerlo más eficiente?
- ¿Qué actividades complementarias se pueden ejecutar para mejorar la confiabilidad de los activos?
- ¿Con las posibles modificaciones al plan de mantenimiento se puede garantizar una alta confiabilidad en los activos?

Objetivos

Objetivo general

Presentar una propuesta de mejora, basada en la metodología RCM, al plan de mantenimiento actual establecido para las dos plantas eléctricas de 625 kVA marca Stewart & Stevenson modelo SMDCC450 de la empresa CCBP en la ciudad de Bogotá teniendo en cuenta la calidad del servicio, la confiabilidad de estos activos y generando un impacto positivo en la gestión financiera y medio ambiental relacionada con los mismos.

Objetivos Específicos

1. Identificar posibles debilidades y fortalezas en la aplicación de la rutina de mantenimiento recomendada por el fabricante a las dos plantas eléctricas objeto de estudio mediante el diagnóstico del estado actual de dichos equipos basado en la información técnica e histórica disponible.
2. Realizar el análisis de criticidad mediante la metodología RCM a los activos objeto de estudio.
3. Desarrollar la propuesta de mejora al Plan de mantenimiento para hacerlo de forma eficiente a partir de los resultados obtenidos en el análisis RCM.

Justificación, Delimitación y Limitaciones

Justificación

Según lo indicado en RETIE (2013), la planta eléctrica es de vital importancia en la actividad normal de las instalaciones de carácter público y privado, las cuales deben disponer de sistemas ininterrumpidos de potencia y de plantas de emergencia con transferencia automática.

En el caso particular de la presente investigación, se requiere analizar el impacto económico y evaluar la mejor metodología predictiva aplicable a los equipos antes mencionados basándose en la metodología de mantenimientos basados en la confiabilidad y en la condición, lo cual puede incidir en la frecuencia de ejecución del plan de mantenimiento preventivo anual actual y por consecuencia, impactar positivamente en los costos asociados a mantenimiento y en el recurso humano sin afectar la calidad de la gestión del mantenimiento de estos activos.

A nivel económico, se debe considerar la posibilidad de falla funcional del activo ya que esto impactaría de forma inmediata y negativa a la empresa CCBP, dado que si este riesgo se materializa, el evento cultural que esté en curso en ese momento se debe cancelar con todo lo que ello implica, las sanciones por este incumplimiento solo se pueden calcular hasta que suceda el hecho, sin embargo en ningún contexto es algo positivo para la organización ya que de forma directa se impactaría la imagen y renombre de la empresa CCBP.

Delimitación

Esta investigación se desarrollará entre los meses de noviembre del 2021 a julio 2022, teniendo como referencia la información disponible y suministrada por la empresa CCBP y los datos históricos del mantenimiento realizado durante el periodo 2021 a las dos plantas eléctricas de la empresa CCBP ubicada en la ciudad de Bogotá D.C.

Limitaciones

El desarrollo de este trabajo es de tipo investigativo basado en los datos técnicos históricos que administra la FACILITY, cuyo proceso es registrado en una plataforma CMMS denominada *Mantum*® basado en los equipos críticos de la empresa CCBP y bajo la restricción de cláusulas de confidencialidad que impiden la publicación de nombres reales o información que los vinculen a este trabajo de manera pública, lo cual obliga a cambiar los nombres referenciados en este trabajo y no mencionar direcciones, logotipos, entre otros. (ANEXO 1. Respuesta Carta solicitud trabajo de grado).

Para efectos de análisis de la información para esta investigación, no se cuenta con la trazabilidad de las intervenciones técnicas realizadas en el periodo comprendido entre los años 2010 al 2018 para las actividades de mantenimiento de las plantas eléctricas

La información financiera, al ser afectada por parte de la condición contractual, es referenciada en términos generales ya que no se habilitó el acceso a información detallada en la contabilidad. De igual forma, no se tuvo acceso a la información financiera relacionada con el teatro, por lo cual fue necesario realizar los cálculos necesarios a partir de la información verbal suministrada por el administrador de dicha área.

Durante la pandemia, 2020 – actualidad hubo una profunda afectación en la operación de la empresa CCBP tanto en su personal como en sus activos, lo cual hizo se reprogramarán actividades, presupuestos entre otros. Es por ello que los datos evaluados corresponden a este período.

Marcos de Referencia

Estado del Arte

Como medio para recopilar información necesaria como punto de partida para el desarrollo de la presente propuesta se hizo la revisión de proyectos y trabajos de grado relacionados con la metodología RCM, la definición, implementación o mejora de planes de mantenimiento a sistemas de respaldo eléctrico o con diseño de metodologías de mantenimiento que hayan sido presentados a nivel local (Universidad ECCI), nacional (a nivel Colombia) e internacional los cuales están orientados hacia el objetivo planteado de este trabajo y que se describen a continuación.

Estado del Arte a Nivel Local

En el trabajo de grado “**Propuesta para la implementación de estrategias de mantenimiento a equipos y herramientas de los centros de servicio y servicios in-house de la empresa Automundial S.A.**” presentado por González, et al. (2018), de la especialización de la Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI, plantean una propuesta de implementación de estrategias de mantenimiento a equipos, muy pertinente al objeto de estudio mencionando técnicas y metodologías propias del TPM y RCM en su organización. Contando con información actualizada del entorno, recolectada de forma metodológica a cada uno de los equipos y herramientas. Y con los datos obtenidos, evaluaron y desarrollaron las estrategias requeridas para cada activo según la criticidad, además de describir acciones encaminadas a la capacitación y mejora del personal. Todo esto como una necesidad de optimizar costos a través del aumento de la disponibilidad y la confiabilidad que nos permiten las metodologías ya mencionadas. De este trabajo se toma la forma de análisis de información de los activos, programa de capacitación y optimización de costos.

Cala A., et al. (2018) para optar el título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI presentaron su trabajo de grado titulado: “**Diseño de un Modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)**”, aplicado al sistema eléctrico de los activos inmobiliarios de Terranum Corporativo ubicados en las instalaciones del Complejo Connecta en la ciudad de Bogotá, y que mediante la metodología RCM permitió establecer que el plan de mantenimiento llevado hasta el momento se basaba únicamente en la experiencia de los encargados en la operación de los activos eléctricos pero no se llevaba registro de las actividades realizadas, lo anterior impedía realizar el seguimiento y trazabilidad de fallas en los activos. Esto permitió desarrollar un diseño de plan de mantenimiento ajustado a los resultados del RCM donde se establecieron rutinas mejoradas logrando una reducción estimada del 45% en la inversión para mantenimiento. Por lo anterior, el uso de la metodología RCM y el análisis de los resultados ofrecen información valiosa para apuntalar el desarrollo de la presente investigación.

De este trabajo se toma como referencia el método como se implementó la metodología RCM y cuáles fueron los conceptos de análisis para el comparativo de costos de la implementación del plan de mantenimiento.

Gordillo, J. H., et al. (2021) en su trabajo de grado titulado: “**Propuesta de un modelo para evaluar la implementación de mantenimiento preventivo (caso estudio metodología 8 pasos)**” para optar el título de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI, propuso un modelo para evaluar la implementación de mantenimiento preventivo a través de la metodología de los 8 pasos en la empresa Mundial de Montacargas SAS ubicada en la ciudad de Bogotá, a través de información técnica recopilada de los activos de la compañía logró establecer que al aplicar la metodología de 8 pasos se lograría un aumento de la demanda de alquiler de activos entre el 5% al 10%. Se concluyó que esta metodología debe ajustarse según cada caso en el que se aplique, que esta permite detectar falencias de los procesos y centra su foco en la mejora continua. El aporte de este trabajo en la investigación radica en la aplicación de los 8 pasos en el desarrollo de la metodología.

De este documento se tomó la metodología de 8 pasos y cómo integrar en la metodología RCM, para mejorar la confiabilidad de los activos.

Según Álvarez, et al. (2021) en su trabajo denominado: “**Diseño de un Plan de Mantenimientos Basado en RCM para el Soporte del Sistema Eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella Sede Colina**” para obtener el grado en la especialización Gerencia de Mantenimiento en la Escuela de Carreras industriales ECCI, enfocado en analizar una planta eléctrica ya que es uno de los activos más importantes en la operación de la empresa mencionada. En la propuesta del plan de mantenimiento, se estableció analizar el activo según análisis de criticidad y modos de falla, así como el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) de uso extendido en planes de mantenimiento en plantas industriales basado en asegurar las funciones del equipo para la satisfacción del cliente o usuario.

También recopilan información importante para la taxonomía de los sistemas, subsistemas y componentes del activo, realizar el análisis de criticidad y la propuesta de un plan de mantenimiento que les permite establecer recomendaciones para obtener buenos resultados para reducir las fallas y hacer un buen seguimiento para incidir en la productividad. Esta información es relevante e inherente al tema tratado en esta investigación por lo cual su aporte es muy significativo. De este trabajo se tomó una guía para la implementación del RCM, taxonomía y análisis de criticidad.

Calderón, G. (2021) en la investigación titulada: “**Desarrollo de una política de mantenimiento para equipos eléctricos de misión crítica en empresas de servicios IT**” presentada como opción de grado para obtener el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI, se propuso establecer las reglas para la política de mantenimiento en una Compañía de Servicios IT para lo cual se analizó la información de 21 generadores y 40 UPS distribuidas en 14 sucursales usando como herramientas el inventario de activos, la taxonomía de activos, el análisis de criticidad y los indicadores de gestión de mantenimiento, con lo que logro detectar falencias en la política actual de la compañía y establecer nuevas conductas a mejorar dentro del plan de mantenimiento que condujeran a reducir en 90% las fallas por causa del error humano y aumentar la confiabilidad del sistema eléctrico de respaldo en un 11%. Junto con la política de mantenimiento, se definieron los parámetros para la planificación,

programación, ejecución y control de las actividades propias del proceso, que con la aplicación se espera aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de respaldo eléctrico, así como el nivel de seguridad humana en las actividades de mantenimiento. El aporte de este trabajo a la investigación radica en el modo de aplicación de la clasificación y el análisis realizado a los activos como medio para identificar la criticidad y determinar las necesidades a corregir. De este documento se tomaron como guía las políticas del área de mantenimiento para aumentar la confiabilidad, también la criticidad que se dan a los activos.

Villanueva, A. et al. (2021) en su trabajo de grado titulado “**Propuesta de mejora de la Gestión de Mantenimiento de los activos de una Compañía Certificadoras de Productos y Servicios**” presentado para optar al Título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI desarrollaron una propuesta de mejora para la Gestión del Mantenimiento para lo cual, tomaron 241 equipos del laboratorio ubicado en la ciudad de Bogotá D.C como muestra y analizaron las rutinas establecidas mediante la aplicación de la Matriz de excelencia para la evaluación inicial de la gestión de mantenimiento identificando puntos donde se puede mejorar la gestión y que implica, no solo mejoras en la forma de ejecutar el mantenimiento sino también como se realiza la planeación estratégica. Lo anterior permitió establecer varios aspectos a mejorar en la empresa respaldado por un estudio de viabilidad económica aceptable. Este trabajo es pertinente a la investigación en curso ya que permite asociar herramientas fácilmente aplicables al desarrollo del trabajo y plantea opciones de mejora que son válidas para cumplir el objetivo planteado en la investigación. De este documento se toma como ejemplo la matriz de excelencia en los procesos de mantenimiento.

Estado del Arte a Nivel Nacional

En el trabajo desarrollado por Rodríguez, J. (2019) titulado “**Diseño del Plan de Mantenimiento Basado en Ingeniería de Confiabilidad y Análisis RAM para Plantas Eléctricas de Emergencia Atendidas por la Empresa WES Importaciones**” realizado en el año 2019 para optar al título de Ingeniero Mecánico otorgado por la Universidad Libre de Colombia, logra establecer las condiciones

actuales de operación de los activos objeto de estudio por medio del análisis discriminado a una muestra de 49 equipos, identificando los subsistemas y sus componentes para determinar los modos de falla más frecuentes (AMEF) que afectan a los activos evaluados y la condición de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los mismos y, con base en esa información, caracterizar y agrupar los activos y así poder alcanzar el objetivo planteado de diseñar un plan de mantenimiento basado en RAM donde se incluyó el desglose de actividades planteadas para atacar cada una de los modos de falla indicando además, la frecuencia, duración estimada de la actividad y los equipos e insumos requeridos y que, respaldó con el análisis financiero del ROI que estimó un aumento en la relación costo/beneficio de la implementación del plan propuesto frente al plan actual de mantenimiento, lo que representaría un beneficio para los clientes al estimar una mejora del retorno de la inversión por encima del 47% según cada activo. De este documento se tomó como ejemplo para la matriz AMEF y como agrupaban los activos para optimizar los recursos.

Un material orientativo en la normatividad que compete a las rutinas de mantenimiento de las plantas eléctricas es la divulgación de (Stanford & Bakritzes, 2019) “**NFPA 110 TYPE 10 Requirements for Emergency Power Systems**” presentado en el año 2019 y emitida por la empresa fabricante de plantas eléctricas CUMMINS, quienes hacen referencia a la norma internacional NFPA 110. La cual da los lineamientos, clasificación, tiempos límites de operación, entre otros alcances que deben cumplir las plantas eléctricas para pruebas y mantenimiento o como en la NTC 2050:2020 en su sección 700, define como Sistemas de emergencia o en adelante EPSS (según siglas en inglés de *Emergency Power Supply System*) como fuentes de energía suplente en caso de emergencia e interrupciones del servicio eléctrico en edificaciones, en éste caso, instalado en un sitio de reunión donde se requiere iluminación artificial para brindar seguridad a la salida del recinto ocupado por un gran número de personas.

Además de explicar y recalcar la criticidad del cumplimiento de los 10 segundos para la transferencia eléctrica del grupo electrógeno en caso de corte de energía de la fuente, el cual se debe cumplir sin interferencias y cuyos sub sistemas del generador tales como los sistemas de refrigeración, baterías, cargadores y recintos de almacenamiento de combustible son claves en su conjunto para el

cumplimiento de funcionamiento y mantenimiento. De esta norma se tomaron las rutinas de mantenimiento para las plantas eléctricas, donde se alinean el cronograma de mantenimiento.

En el trabajo titulado “**Diseño de un Plan de mantenimiento Predictivo para los Generadores Eléctricos de una Central Hidroeléctrica**” publicado en el año 2017 de Romero-Guarín, A. et al. Nos detalla el mantenimiento predictivo enfocado a una central hidroeléctrica, donde se muestra la capacidades de los generadores de energía, pero también muestra como el deterioro de estos equipos puede llegar a convertirse en una falla crítica, como todos los equipos van perdiendo capacidad a medida que es usado, los generadores comienzan a presentar deterioros y desgastes en sus diferentes componentes, lo que finalmente confluye en fallas de mayor o menor gravedad, donde se concluye que las causas de fallas más frecuentes en los generadores eléctricos son las vibraciones, la falta de lubricante, la contaminación del lubricante o el uso de lubricantes inadecuados, causando generalmente desgastes prematuros en sus componentes internos.

Es allí donde se pueden establecer planes de mantenimiento predictivo para que estas fallas puedan evitarse y así no afectar la productividad de la planta de energía donde se pueden planificar los tiempos de lucro cesante de los equipos. Usando la inspección y el seguimiento como herramientas, este plan busca la prevención de fallas, evitar correcciones innecesarias a los generadores, daños graves que implique parar las actividades de las centrales hidroeléctricas y la reducción de los tiempos muertos de producción. De este trabajo se tomó como guía la forma comparar los costos ante la posibilidad de que una falla critica se materialice, con los costos de mantenimiento preventivo.

En cuanto a la medición de indicadores en el documento Cerquera, C. et al. (2016) “**Gestión de Activos Enfocado hacia la Confiabilidad o Determinación del TPEF**” se habla sobre la gestión de los activos como esta puede llegar a medirse para así poder tener una trazabilidad de las intervenciones realizadas a los equipo, donde se puede calcular diferentes tipos de indicadores que pueden cuantificar la gestión del mantenimiento en cada uno de los activos, para poder plantear estrategias basadas en resultado y así poder plantear objetivos realizables en los tiempos establecidos. También se puede ver cuál es la mejor forma de integrar diferentes tipos de indicadores a las dinámicas estrategias de mantenimiento y

que factores se deben analizar para inclinarse por una u otra medición de acuerdo al tipo de activo y generando así un costo beneficio adecuado para la compañía.

De este documento se toma el análisis, sobre como una adecuada gestión de activos influye en los diferentes costos de las compañías y como el área de mantenimiento puede utilizar estrategias para optimizar la vida útil de los activos.

Estado del Arte a Nivel Internacional

El trabajo descrito por Garavito, M. (2018) titulado “**Elaboración de un Plan de Mantenimiento Preventivo para Flota de Generadores Eléctricos de la Empresa Generación y Sistemas S.P.A (GENSYS)**” publicado en el año 2018, nos describe una propuesta de implementar un plan de mantenimiento preventivo pertenecientes a la empresa de Generación y Sistemas SPA ubicado en España. Con problemáticas de no contar con un verdadero plan de mantenimiento preventivo y las ventajas de contar con uno. Nos describe las consecuencias de no contar con esta metodología y como le afecta a la empresa en su imagen, fidelidad, credibilidad y rendimiento de los equipos.

Además de afectación de indicadores básicos como la disponibilidad, confiabilidad y vida útil que repercuten en el logro de los objetivos de la organización. Concluyendo en la importancia de implementar un plan mantenimiento preventivo en la organización basado en el análisis, como un documento “vivo” basado en las técnicas de PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar) y como la alta dirección debe involucrarse cada vez más en esta implementación de tal forma que sea progresiva, con una disminución de gastos operacionales de al menos el 20% de los costos que venía asumiendo la organización. De este documento se toma como aporte al proyecto como con el ciclo PHVA se pueden incrementar los niveles de confiabilidad y reducir costos en la manutención de los activos.

El documento publicado por Calva, M. et al. (2017) del Instituto CEMA en México y titulado como “**Manual Guía para el Desarrollo del Análisis del Modo de Efecto de Falla**”, muestra la gran importancia de la filosofía RCM como una herramienta de once (11) pasos dentro del proceso predictivo, incluso aplicado en la medicina como parte de un plan de calidad, seguridad e higiene en los pacientes y

colaboradores. A su vez, explica cómo conformar equipos de trabajo multidisciplinarios, no mayor a diez (10) personas, quienes realizan la identificación de los modos y efectos de fallos, análisis de riesgos, recomendaciones, alcances y delimitaciones de los procesos. De este trabajo se tomó como guía la implementación de los mantenimientos predictivos y los 11 pasos que describen para mejorar los niveles de confiabilidad.

Un sencillo y no menos pertinente trabajo es el presentado por el Ing. Silva, A. (2011) titulado **“Mantenimiento Preventivo de una Planta Eléctrica de Emergencia con Motor Diesel”** publicado en 2011, donde indica a los profesionales del área de mantenimiento, sobre todo a los dedicados al mantenimiento preventivo de plantas eléctricas de emergencia con motor diésel, los pasos mínimos a seguir para lograr un buen mantenimiento preventivo. Estableciendo las diferencias entre mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. Describiendo paso a paso la secuencia lógica a seguir en el mantenimiento, la seguridad, pruebas y puesta en marcha de estos activos. Un valor agregado es la dedicación a capítulo entero de los materiales, herramientas e insumos necesarios para un buen stock en almacén, así como el personal necesario para su ejecución y los modos de fallas más habituales. Un libro más con enfoque de manual, sencillo e ilustrado. De este documento se toma el proceso de mantenimiento específico durante la ejecución de los mismo, que tipos de pruebas predictivas son relevantes para garantizar la confiabilidad.

En el libro publicado en 2014 por la editorial Ediciones de la U, escrito por Fernández, F. (2014) **“Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión”** como necesidad del autor en impartir capacitaciones, cada vez más frecuentes, sobre Auditoría del Mantenimiento avanzado y en el área de las contrataciones. Dirigido a directores técnicos, responsables de departamentos de mantenimiento y demás involucrados, a quienes describe como personas cargadas casi en extremo de actividades y responsabilidades día a día. Abriendo con capítulos que introducen las bases del mantenimiento y la necesidad de esta disciplina como filosofía que constantemente se encuentra en proceso continuo de cambio. Para ello aborda de manera práctica y reflexiva la importancia de los indicadores del mantenimiento; mencionando algunos básicos otros elaborados como los indicadores de gestión, para

lograr la priorización de los objetivos de trabajo en el mediano y largo plazo bajo el concepto “Hágalo usted mismo con su equipo de trabajo dedicándole unas cuantas mañanas” a través del proceso, que explica, de auditoría del mantenimiento y los procesos de mejora que se generan. De este documento se toma el proceso de auditoría y como los indicadores de gestión son parte del proceso PHVA, que garantizan el correcto funcionamiento de la metodología RCM.

En el artículo publicado en diciembre de 2007 “**Mantenimiento y análisis de vibraciones**” muestra los beneficios de los mantenimientos predictivos y como mejoran la eficacia, productividad y rentabilidad de los activos, a nivel económico esboza las diferencias entre el mantenimiento correctivo y preventivo comparado con el predictivo, y como genera un ahorro en costos directos en las reparaciones y los costos indirectos que se asocian a una falla inesperada de un activo. También realiza una descripción sobre el análisis de vibraciones y como esta es la actividad más frecuente en el mantenimiento predictivo, conociendo como cada equipo vibra a una frecuencia específica y que cualquier cambio en esta puede tomarse como una señal de una posible falla en el activo lo que permite diagnosticar una falla antes de que ocurra, teniendo como contra que se requiere mano de obra especializada y una inversión. Grupo CASTEL (2021) realiza una publicación técnica relacionada con el mantenimiento predictivo de motores y generadores eléctricos en la ciudad de Barcelona, España que permite establecer intervenciones de equipos al superarse determinadas alarmas en la evolución periódica de ciertos parámetros de control de acuerdo a la tecnología. Dependiendo del tipo de tecnología se obtienen una serie de parámetros, siendo los principales: vibración, temperatura, ultrasonido, análisis de aceites, análisis del circuito eléctrico de motores e inspección sensorial. A través de la creación de bases de datos para el tratamiento y análisis de la información, logrando establecer las variables de los modos de fallo más conocidos según la tecnología aplicada. Concluye que los modos de fallo más conocidos para el parámetro de vibración son: desequilibrio, desalineación, desgaste en rodamientos. Para el parámetro de temperatura son: condiciones atmosféricas, temperatura ambiente, velocidad del viento. Para el parámetro de ultrasonido son: fugas de líneas presurizadas, descargas eléctricas en líneas de alta tensión, problemas de lubricación y defectos en rodamientos. Para el análisis eléctrico en motores son: desequilibrios de intensidad y voltaje, problemas

en rotores, juntas de alta resistencia, soldaduras, excentricidad estática y dinámica en el entre hierro eléctrico y problemas en el estator.

La investigación internacional en idioma inglés de Riesenberger, C., Sousa, D., 2010 titulado “**La metodología 8D: ¿una forma eficaz de reducir la recurrencia de las quejas de los clientes?**” en una empresa del sector automotriz en Portugal cuyo objetivo fue identificar las variables que influyen en el proceso de gestión de reclamos de clientes a través de un estudio de caso en la industria automotriz a través de la metodología de los ocho pasos (8D). Se seleccionó una muestra aleatoria de informes 8D y clientes en 2008, se tomaron manualmente las fechas necesarias de los diferentes sistemas de información para calcular el tiempo que se tardó en completar cada paso y saber cuáles de las reglas se cumplieron a tiempo o no. Para facilitar la recolección de datos, fue necesario construir un protocolo de estudio de caso, siendo el instrumento las entrevistas. Con esto recopilamos todas las preguntas pertinentes que se deben hacer al investigar el proceso de gestión de quejas de los clientes de la empresa. Se observó que hubo un aumento inicial en el tiempo de respuesta debido al entrenamiento y adaptación de las personas involucradas, La adopción de un planificador de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés) para llenar informes 8D hizo posible que los diferentes módulos del departamento de Calidad interactúen entre ellos permitiendo compartir y transferir información. Se logró una reacción más rápida y calificada a las quejas y por lo tanto a los problemas, reduciendo y evitando la recurrencia de problemas, lo que representa un ahorro de costos cada vez que aparece o se evita una queja. Los autores argumentan que la metodología 8D se puede aplicar a otros tipos de denuncias y organizaciones. Más estudios de casos pueden ser útiles para extraer lecciones para una mayor generalización. Riesenberger, C., Sousa, D. (2010). The 8D Methodology: An Effective Way to Reduce Recurrence of Customer Complaints?

Krupitzer, C. et al, 2020 en “**Una encuesta sobre mantenimiento predictivo para la Industria 4.0**” de la Universidad de Cornell, Ithaca, NY, EEUU. Realizaron un estudio para estructurar a través de una cantidad de encuestas en la web, la complejidad de temas relacionados con el mantenimiento predictivo y poner una completa cantidad de investigación en un marco transparente y comprensible y conectarlo a otros sistemas del proceso de producción, con el fin de diferenciar claramente el

mantenimiento predictivo de las políticas de mantenimiento convencionales tradicionales. En total seleccionaron 150 trabajos dado que el campo del mantenimiento predictivo es extremadamente amplio, buscando a través de la plataforma Google Académico con la única palabra clave, Mantenimiento Predictivo, para así realizar la encuesta y agrupar en diez categorías la construcción de una capa principal de marco de referencia. Utilizando el enfoque metodológico de revisión de literatura estructurada (SLR, por sus siglas en inglés) a través de la palabra clave Mantenimiento Predictivo para construir el marco de detalle de categorías y atributos de la especialidad. Finalmente realizan el marco de diez categorías para el Mantenimiento Predictivo: metas, monitoreo de condición, alcance de mantenimiento, proceso de degradación, detección de fallas, tamaño del sistema, programación, pronóstico, técnicas, manejo y evaluación de datos, con sus respectivos atributos. También obtienen en la encuesta que el objetivo más frecuente en las investigaciones es minimizar costos a través de un mantenimiento predictivo y ser un caso de negocio positivo a largo plazo a través de un enfoque de monitoreo continuo y técnicas de pronóstico y no tan invasivo, evitando acciones de mantenimiento innecesarias por actividades del área y reemplazo de repuestos, prolongando la vida del activo porque cada acción del mantenimiento pone a la máquina en riesgo. Establecen que la muestra es una fracción de la literatura académica disponible en línea para abordar el Mantenimiento Predictivo, aprendiendo en el análisis en donde se enfocan los aspectos centrales de la literatura. Afirman en su estudio que 41 artículos afirmaban que tenían en cuenta los sistemas de componentes múltiples, sólo 8 artículos abordaban el tema de las dependencias, implicando que el mantenimiento predictivo es más eficiente cuando se aplica a un sistema de producción completo en lugar de activos individuales y cuando se toman en consideración las dependencias. La muestra frecuentemente enfocó una visión demasiado estrecha sobre el mantenimiento predictivo.

Detectando la existencia de una brecha en la investigación existente y la investigación futura, ya que la mayoría de los trabajos se enfocaron en un solo componente y centrarse a un alcance más amplio para los sistemas de mantenimiento predictivo.

En segundo lugar, una minoría de artículos abordaron posibilidades modernas de almacenamiento y acceso de datos remotos, recomendando el uso de estas tecnologías en la "nube" a medida que la

transferencia de datos sea más rápida y crear un entorno más centralizado y por lo tanto un mantenimiento predictivo eficiente, especialmente en empresas con múltiple ubicación o ámbito de producción. Y finalmente ningún documento de la muestra cubrió las posibilidades para las pequeñas y medianas empresas y cómo pueden implementar el mantenimiento predictivo de manera de minimizar costos. El marco del trabajo cubrió aspectos y facetas relevantes del tema de la predicción del mantenimiento predictivo, creando una introducción completa en el campo de investigación del sector. De este artículo se conoció como las técnicas predictivas, relacionadas a vibraciones son muy útiles para identificar posibles fallas antes de que ocurran.

Marco Teórico

El presente trabajo no pretende enfocar conceptos de mantenimiento ya vistos, aun así, a modo de corolario, la gestión del mantenimiento como hoy día la conocemos, comenzó en las ideas de varios investigadores estadounidenses a comienzos del siglo XX, aunque no fue implementada inicialmente en los Estados Unidos de América como se creía, sino en Japón, en el lejano oriente. Frederick Taylor, basó su investigación de los principios de la administración científica, fue él quien sentó las bases de la gestión de recursos humanos, haciéndolo el padre de la administración y, por ende, de la gestión de calidad y de allí trascendiendo a las gestiones de mantenimiento. Las primeras máquinas eran atendidas por los propios usuarios y las reparaciones se realizaban tras la avería o cuando estaba a punto de producirse como consecuencia de una inspección operativa, además que la responsabilidad de la producción y el correcto funcionamiento de la máquina recaía en el operador de la misma.

El enfoque evolutivo de la gestión de calidad durante el siglo XX, solo se evidenció a finales del siglo XIX, como ejemplo se podría plantear el trabajo individual realizado por un carpintero de la época quien era responsable de su propio trabajo al fabricar un producto de acuerdo a las expectativas de un cliente individual. Este profesional tiene control de las propiedades de su producto y luego, eventualmente, evolucionará a una empresa mayor en el tiempo, con ejecuciones de trabajo más largos y convirtiendo el producto final en masa por equipos de trabajo que hacen la misma actividad bajo la supervisión de capataces que son responsables de lo producido.

A principios del siglo XX, se transforman los sistemas productivos con particularidades propias desde la revolución industrial y es durante la primera guerra mundial que la producción se volvió más compleja (Ingason, 2020), con grupos de trabajo supervisados por distintos supervisores, naciendo el control de calidad y consistía en la comparación de las propiedades del producto con especificaciones definidas.

En la segunda guerra mundial se expande la producción en masa, se introducen métodos estadísticos al control de calidad y pasa a llamarse Control de Calidad Total (TQC, siglas en inglés) expandiendo la gestión de calidad más allá de las líneas de producción.

En el resto del siglo XX y comienzos del siglo XXI la gestión de calidad evoluciona de ser solo control, para ser en toda “su adolescencia” un producto que satisfaga al cliente basado en características específicas a una ideología o estilo de gestión que involucraba a todos los departamentos de una organización, basado en la mejora continua, cobrando fuerza el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o Reliability Centered Maintenance (RCM), que rediseña el mantenimiento solamente preventivo basado únicamente en periodicidades, ahora partiendo de un análisis más riguroso y detallado de Modos de Fallos en que se producen (AMEF según siglas en español o FMCA, según sus siglas en inglés). Según (González, 2014) RCM es muy parecido a FMCA con la diferencia que en RCM solo se consideran los equipos críticos y además es escalable entre ellos íntimamente interrelacionados.

Hoy en día, el mantenimiento considera más que equipos o maquinarias, va más allá para considerar el *valor* de dicho activo. Con la revolución tecnológica de la información y la Inteligencia Artificial (IA), se han desarrollado y abaratado costos de dispositivos de sensorización, comunicaciones y almacenamiento de datos permitiendo estrategias de mantenimiento enfocadas en la predicción de fallas con una alta tasa de disponibilidad y, es por esto que, el mantenimiento se ha integrado en la gestión de activos.

El concepto de activo, según ISO 55000:2014 en su artículo 2.3 lo define como “algo que posee valor potencial o real para una organización. El concepto de valor es concebido de forma diferente según

el contexto de cada organización, puede estar relacionado o no con aspectos económicos o hacer referencia a un bien tangible o intangible.

Importancia de la Gestión de Activos en las Actividades de Mantenimiento

La frase de Vázquez, J. E. (2012): “Invertir en el mantenimiento de activos es un buen negocio” define de manera simple la visión sobre la cual se deben gestionar los activos físicos.

La Gestión del Mantenimiento es un proceso subordinado y dependiente de la Gestión de Activos que tiene como objetivo específico verificar y estudiar las causas y efectos a través de la gestión centrada en la confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés) como generador de tareas y optimizaciones, no sólo de equipos sino también de procesos que aporten valor en la Gestión de Activos, así como en la seguridad a las personas y los mismos activos (EN 16646:2014); lo anterior no implica que la Gestión del Mantenimiento sea sinónimo de Gestión de Activos Físicos, sino que “El sistema de gestión de mantenimiento es parte de un sistema de gestión de activos físicos”, y por ello busca la relación para que el mantenimiento en toda su extensión (entendida como un proceso cuyas actividades pretender mantener el desempeño del activo) pueda tributar oportunamente al sistema de gestión de activos de la empresa. (Sexto, s, f.)

Teniendo en cuenta la definición de Gestión de Activos dada en ISO 5500:2014 artículo 3.3.1, se trata de una actividad coordinada de una organización para obtener valor a partir de los activos, donde la obtención de valor generalmente implicará balance de costos, riesgos, oportunidades y beneficios de desempeño, el realizar una adecuada gestión del mantenimiento alineada con el objetivo mencionado de generar valor a la compañía, debe ser una premisa a considerar puesto que permite mantener la confiabilidad y el desempeño de los activos a lo largo de su vida útil, así mismo, es posible extenderla a través de la aplicación de rutinas de mantenimiento adecuadas a lo indicado por el fabricante del activo y considerando la repotencialización como opción cuando su vida útil llegue a término y la evaluación técnico-económica arroje como resultado una viabilidad positiva.

En ese orden de ideas y según la ISO 5500:2014 artículo 2.5.2, podría entenderse que, por la mutua relación existente entre la Gestión de Activos y la Gestión de Mantenimiento, los beneficios obtenidos con la implantación del primero se extienden al segundo de forma correlativa:

- Mejora del desempeño financiero de la compañía
- Decisiones de inversiones sobre los activos gestionados
- Riesgo gestionado y controlado
- Mejoras en resultados y servicios por un alto desempeño
- Demostración de cumplimiento por tiempos altos de producción
- Mejora de la reputación
- Mejora de la sostenibilidad organizacional
- Mejora de la eficiencia y eficacia del sistema de gestión y el desempeño de los activos.

La filosofía del mantenimiento

En una organización es muy probable que no exista un área más dinámica que la de mantenimiento. Esto debido a la gran cantidad de protocolos, normas y tareas por sistema, equipos, componentes, repuestos y hasta manejo de inventarios de almacenes, teniendo en cuenta las condiciones financieras y comerciales globales como la cadena de abastecimiento, cadena de valor y fluctuaciones de la divisa.

Todo este manejo de conocimiento y calidad de recolección de datos para planificar, programar y ejecutar actividades de mantenimiento, se da a través del óptimo manejo de la mano de obra y del conocimiento, teniendo en cuenta su diversidad, cultura, alcances de funciones y seguridad. El dinamismo de las gerencias, jefaturas y hasta talleres de mantenimientos en las organizaciones conllevan demasiadas actividades que, de no aplicarse correctamente, pierden su objetivo principal: lograr la mayor cantidad de tiempo operativo y funcional de un activo con el menor número de fallas, menor tiempo de reparaciones y paradas con estándares de calidad altos y costos mínimos.

Como diría (Predictiva21, Clemenza, 2019) “si usted no construye su propia filosofía de trabajo de mantenimiento, ninguna estrategia le servirá o simplemente no le sacará su máximo provecho”, dentro

de las estrategias de mantenimiento es importante establecer la jerarquía de necesidades de forma análoga como se realiza con las personas y definido por Maslow, (1943) en orden desde la cúspide de la pirámide a la base así:

1. Autorrealización
2. Reconocimiento
3. Afiliación
4. Seguridad
5. Fisiología

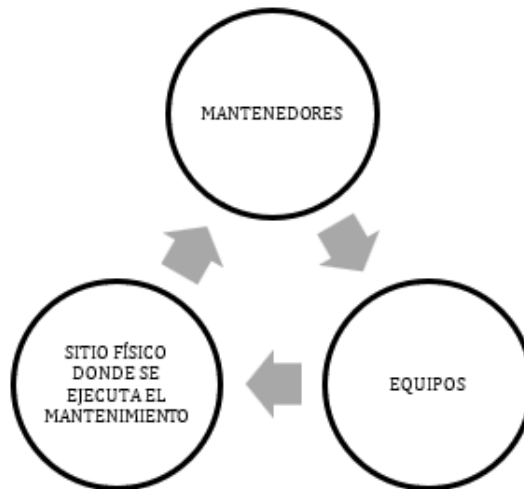
La correcta definición de dicha jerarquía y su adecuada aplicación se traduce en logros, mayor responsabilidad, autonomía laboral y el reconocimiento de aumento en la productividad de las personas. Siendo el recurso humano la relación directa, en todos sus niveles de jerarquía, el factor de éxito del mantenimiento de calidad.

La filosofía del mantenimiento, por lo tanto, en su planteamiento debe buscar lo que realmente le interesa y desea alcanzar: ¿dónde se encuentra el día de hoy hacia donde desea estar? Como quien planea salir a caminar y visualiza el andar del punto A al B y para esto, requiere usar el calzado adecuado para evitar lesiones y su experiencia en términos de satisfacción sea la esperada, en esta analogía del calzado se encuentran las estrategias de mantenimiento como: TPM, RCM, actividades predictivas y un largo etcétera.

Una visión cuyo enfoque kantiano (Mora Gutiérrez, 2009, p. 45) da la posibilidad de entender cualquier fenómeno ya que todo sistema está compuesto por: personas, artefactos y entorno, es decir que para el caso del mantenimiento serían los mantenedores, los activos y el sitio físico donde se ejecuta el mantenimiento. En este enfoque las personas igualmente son primordiales para el éxito del mantenimiento en el contexto mental e indiscutiblemente el mantenimiento es un sistema mental construido por seres humanos avocados a la conservación de estos artefactos (sistema real) o activos para obtener el mejor rendimiento posible y en las mejores circunstancias dependiendo el lugar (medio ambiente) en donde se desempeña el artefacto.

Figura 1

Elementos de un sistema Kantiano, como enfoque sistémico puro en la unidad de mantenimiento de una organización



Nota: Adaptado de, *Elementos de un Sistema Kantiano*, de Mora, 2009, p.46

Para hallar la función básica del mantenedor, se puede utilizar la descripción del mantenedor por la Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones (CIUO) según (OIT,2008) y en el caso especializado como la industria la (OIT-CIUO-88, 1988). La Clasificación de los equipos se utilizará la (ISO 14224, 2016) y para el entorno del servicio las tareas como construir, mantener y reparar se enuncian en CUIO-88 ya mencionado, ya que se aplica a “edificios, obras públicas, ciudades, zonas urbanas” entre otras normas y regulaciones vigentes en el territorio colombiano.

Gestión de mantenimiento predictivo

Se puede considerar como una herramienta que, utilizada de forma adecuada, permite obtener información relevante tendiente a programar tareas para el mantenimiento preventivo y correctivo. En lugar de estadísticas industriales de vida media que generalmente no ofrecen un escenario real sobre el estado del activo, el mantenimiento predictivo permite monitorear de forma directa las condiciones de funcionamiento del activo y con ello, establecer la eficiencia en el desempeño del activo o sistema, de igual forma, permite establecer otros indicadores que son de gran valor para su análisis y determinación

de acciones preventivas tendientes a mantener la estabilidad del funcionamiento del activo y como consecuencia, disminuir los tiempos muertos por paros no programados.

Ventajas y Desventajas del Mantenimiento Predictivo.

Implementar planes de mantenimiento predictivo tiene sus pro y contras en la empresa y representan una inversión económica pero que, de forma directa, podrá generar beneficios altos si se hace de forma adecuada.

Beneficios

- Incremento en la vida útil y disponibilidad de los equipos.
- Permite tomar acciones correctivas de manera preventiva
- Disminución del tiempo muerto del activo
- Disminución de costos por repuestos y de mano de obra
- Incrementa la seguridad al medio ambiente
- Aumenta la relación entre consumo de energía y producción ya que el activo trabaja correctamente por un periodo más largo
- Reducción del tiempo de reparación
- Adicional también se pueden contemplar unos beneficios indirectos o escondidos alrededor de mantenimiento predictivo:
 - Menos estrés al personal
 - Mayor tranquilidad al personal
 - Facilita el trabajo
 - Más tiempo libre al personal

Desventajas

- Se requiere invertir en equipos de diagnóstico o tercerizar las rutinas de mantenimiento predictivo.

- Requiere una inversión mayor en los procesos de capacitación del personal relacionado con el mantenimiento de los activos que le permitan tomar decisiones asertivas con la información suministrada por el mantenimiento predictivo.
- El posible ahorro no es fácilmente visible por la Alta Dirección.
- Los análisis más adecuados para el desarrollo de nuestro proyecto con relación al mantenimiento predictivo son los siguientes.

Indicadores

Según (R.A.E., 2022) un indicador es un adjetivo cuyo significado es indicar o sirve para indicar. Un claro sinónimo es la medición, probablemente desde que el *homo-sapiens* habita este planeta usualmente ha medido indicadores básicos como la talla, el peso relativo, la temperatura, la presión arterial, distancias, etc. En el ámbito del mantenimiento sucede algo parecido. Al ser conscientes de poder mejorar algo de manera objetiva aquello que se pueda medir, el éxito o fracaso depende de esto.

En el siglo XIX Lord Kelvin (González, 2014, p.37) dijo:

“Cuando puedes medir aquello de lo que estás hablando y expresarlo en números, puede decirse que sabes algo acerca de ello; pero, cuando no puedes medirlo, cuando no puedes expresarlo en números, tu conocimiento es muy deficiente y poco satisfactorio”.

Se podría decir que esta hipótesis haría referencia a los dos tipos de indicadores: el cuantitativo (numérico) y el cualitativo (descriptivo). Cada organización debe analizar su realidad y generalmente se contextualizan históricamente a la contabilidad, activos, población, etc. El problema en sí, es saber que medir, como medirlo y con quien, con respecto a cómo se encuentra ahora y como se va a medir el éxito o el fracaso de estas medidas.

En su trabajo de investigación de maestría (Benítez, 2020) nos presenta las características de los indicadores y que se muestran en la Figura 2.

Figura 2*Características de los indicadores*

Nota. Adaptado de, *Características de los indicadores*, de Benítez, 2020, p. 31.

(Benítez, 2020) continúa indicando las diez reglas de oro sobre indicadores, las cuales se mencionan a continuación:

1. Los resultados deben medir lo que realmente se espera del área de mantenimiento.
2. Los indicadores deben ser representativos (que representen y evalúen la mejora) y fáciles de medir.
3. Los indicadores de resultado deben generarse en función del cliente interno.
4. Analizar la posibilidad de medir tiempos de ciclos y/o procesos.
5. Analizar indicadores de la competencia (Benchmarking).
6. Esforzarse en implementar una cultura de medición en el personal de campo.
7. Utilizar sólo e indispensablemente los indicadores que le interesan (máximo 8 indicadores).
8. Involucrar al equipo de trabajo en la definición de indicador.
9. Analizar la eficacia de cada indicador.
10. Los indicadores son susceptibles de modificación o eliminación cuando sea preciso.

Indicadores Básicos para la Gestión del Mantenimiento.

Para efectos de medir el desempeño del mantenimiento aplicado a los activos, es necesario precisar algunos de los indicadores básicos que se contemplan dentro de la gestión del mantenimiento, como son:

MTBF (Mean Time Between Failures – Tiempo Medio Entre Fallas).

Este indicador muestra el tiempo promedio transcurrido entre dos fallas, se puede considerar como el tiempo promedio de funcionamiento de un elemento hasta que presenta falla y necesita repararse nuevamente. Se calcula a partir de (1).

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallas}} \quad (1)$$

MTTR (Mean Time to Repair – Tiempo Medio para Reparar).

Es el tiempo promedio que toma reparar algo después de una falla y se calcula a partir de (2).

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total inactividad}}{\text{Número de fallas}} \quad (2)$$

Confiabilidad Operacional (C).

Es la probabilidad de que un sistema, activo o componente lleve a cabo su función adecuadamente durante un período específico de tiempo y bajo las condiciones operacionales previamente establecidas y constantes (Reliabilityweb.com, s.f.). Se calcula a partir de (3).

$$C = e^{-(t/MTBF)} \quad (3)$$

Disponibilidad Operacional (D).

La disponibilidad básicamente es el cociente entre el tiempo disponible para producir de un activo y el tiempo total de parada de dicho activo y se calcula a partir de (4).

$$D = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas Parada por Mantenimiento}}{\text{Horas Totales}} \quad (4)$$

Herramientas para Mantenimiento Predictivo

Dentro de las técnicas que se disponen en el mercado para identificar y predecir anomalías mecánicas en maquinaria industrial y que, de acuerdo al alcance y activo analizado en esta investigación,

se podrían aplicar en la gestión del mantenimiento en la empresa CCBP son las mencionadas a continuación.

Análisis de Vibraciones.

Esta técnica es de uso extendido para la gestión de mantenimiento predictivo ya que gran parte de los activos de una compañía están compuestos por partes o sistemas mecánicos por lo que su aplicación es muy pertinente dentro del programa ya que permite determinar mediante los resultados aquellos puntos mecánicos donde se pueden estar presentando condiciones de trabajo no adecuados del activo que están fuera de rango teniendo en cuenta los umbrales de vibración generados durante la operación normal.

De acuerdo con (Pérez et al., 2009), con el análisis de las vibraciones, “el funcionamiento de vibraciones mecánicas, es un buen parámetro para poder determinar la condición de funcionamiento de una máquina o de los elementos que la componen...”. Todo sistema mecánico tiene una frecuencia natural de operación que determina su rango normal de funcionamiento, por lo que cualquier valor fuera de dicho rango es un indicio claro de falla potencial del activo que incluso, ofrece información valiosa para el análisis de la causa raíz de la falla.

Las vibraciones mecánicas fuera de rango traen consecuencias perjudiciales a los activos: los esfuerzos y tensiones mecánicas no usuales producen desgaste y fatiga prematura en los materiales, aumenta las pérdidas de energía y el aumento de calor en las juntas y partes móviles, además de los ruidos anormales que aumentan el impacto en el ambiente laboral. Por tanto, el análisis de vibraciones permite reducir costos de mantenimiento, paros inesperados, pérdidas de producción y aumenta la disponibilidad y confiabilidad de los activos.

Análisis de Aceite.

Esta es una técnica que, mediante el análisis físico químico en un laboratorio, permite determinar la condición de los lubricantes usados en activos que cuentan con partes mecánicas y de aceites dieléctricos para los casos de partes eléctricas. Es de aclarar que mediante este análisis no se puede

determinar la condición de funcionamiento del activo, pero si genera información para establecer el cómo está trabajando internamente el activo y así, estimar el nivel de desgaste de sus componentes. Lo anterior se logra mediante el análisis de los residuos encontrados en la muestra tomada del lubricante en prueba y su concentración puede dar indicios de desgaste o mal funcionamiento interno del activo.

El análisis de aceite brinda información que permite programar adecuadamente los paros por mantenimiento, esto reduce los costos y afectación de indicadores de desempeño. Con este análisis se busca controlar la degradación del lubricante para:

- Monitorear daño mecánico de componentes (desgaste).
- Control de contaminantes por residuos sólidos.
- Determinar el uso del lubricante adecuado al activo.

El análisis de aceite comprende: (a) el análisis espectrométrico del aceite, que determina la concentración de metales de desgaste, contaminantes y aditivos presentes en las muestras de aceite con un alto porcentaje de detección de partículas y materiales disueltos en la muestra, y (b) análisis de los residuos en el aceite, siendo la ferrografía el más utilizado ya que con este se puede determinar que tanto se ha desgastado el equipo y el modo de desgaste del equipo, por medio del análisis de las partículas suspendidas en el lubricante.

Marco Legal

Como ya se mencionaba en la filosofía del mantenimiento el alcance del marco regulatorio vigente dentro del territorio colombiano en el presente documento se podría enumerar de la siguiente manera:

Tabla 1*Marco Legal y Normativo Aplicable*

NORMA / LEY	CAPÍTULO / SECCIÓN / NUMERAL APLICABLE	DESCRIPCIÓN / OBSERVACIONES
Resolución 90708 de agosto 30 de 2013 - RETIE	Artículo 20.21: Motores y generadores eléctricos.	<p>El objeto fundamental de este reglamento es establecer las medidas tendientes a garantizar la seguridad de las personas, de la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico sin perjuicio del cumplimiento de las reglamentaciones civiles, mecánicas y fabricación de equipos.</p> <p>El artículo aplicable especifica las condiciones para la instalación de los motores y generadores eléctricos relacionados con los sistemas eléctricos de respaldo (plantas eléctricas) relacionados con este trabajo de investigación.</p>
NTC 2050	Artículo 700: Sistemas de emergencia.	<p>Este artículo se aplica a la seguridad eléctrica de la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento de los sistemas de emergencia consistentes en los circuitos y equipos proyectados para alimentar, distribuir y controlar la electricidad para la iluminación, potencia, o ambos, en las instalaciones que lo requieran cuando se interrumpe el sistema o el suministro eléctrico normal a esas instalaciones.</p> <p>Dentro de su apartado hace referencia a la norma NFPA 110 para mantenimiento de plantas eléctricas.</p>
ISO 55001	Numeral 9.1: Seguimiento, medición, análisis y evaluación.	<p>Esta norma internacional especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar el sistema de gestión para la gestión de activos. Aplicable a este trabajo de investigación para realizar la jerarquización de los activos objeto de estudio.</p>

ISO 14224	Todos los artículos contienen información relevante aplicable a este trabajo de investigación	Esta norma internacional sirve como base para realizar la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural, pero que contiene criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias.
SAE JA1011	Todos los artículos contienen información relevante aplicable a este trabajo de investigación	Este documento está proyectado para utilizarse en la evaluación de cualquier proceso que pretenda ser un proceso RCM, con el propósito de determinar si es un verdadero RCM.
SAE JA1012	Todos los artículos contienen información relevante aplicable a este trabajo de investigación	Este documento amplifica y aclara cada uno de los criterios claves listados en SAE JA1011 (“Evaluation Criteria for RCM Processes”) y resume problemas adicionales que deben ser tenidos en cuenta para aplicar RCM exitosamente
NFPA 110	Capítulo 8 Rutina de mantenimiento y pruebas operativas y Anexo A.8.	Contiene consideraciones para pruebas operativas y planes de mantenimiento relacionados con los sistemas eléctricos de respaldo por lo que está relacionado con los activos objeto de estudio de este trabajo de investigación.
NFPA 70B	Todos los artículos contienen información relevante aplicable a este trabajo de investigación	Esta norma internacional detalla el mantenimiento preventivo aplicable a sistemas y equipos eléctricos, electrónicos y de comunicaciones para prevenir fallas en los equipos y lesiones en los trabajadores. Sirve como insumo para definir las rutinas de mantenimiento aplicables a los activos relacionados con este trabajo de investigación.
Resolución 1188 de 2003 - DAMA	Artículo 17: Responsabilidad	Esta Resolución adopta en todas sus partes el Manual de Normas y Procedimientos para la Gestión de Aceites Usados en el Distrito Capital, con el fin de minimizar los riesgos, garantizar la seguridad y proteger la vida, la salud humana y el medio ambiente. Identifica en este artículo la responsabilidad de todos los actores en la cadena de producción, uso y disposición de aceites por el daño e impacto causado sobre el ambiente o la salud, por el manejo indebido de sus aceites usados, dentro y fuera del lugar donde ejecuta su actividad.

Resolución 773 de 2021 - Ministerio del Trabajo	Artículo 16: Fichas de Datos de Seguridad - FDS	Garantiza la obligatoriedad por parte de los proveedores de entregar la FDS de todos los productos químicos y su correspondiente identificación con el Sistema Globalmente Armonizado
---	---	---

Marco Histórico

La empresa CCBP, es un emprendimiento mixto (publico municipal y de inversión privada) que inició su funcionamiento el 26 de mayo de 2010 y a la fecha han transcurrido 12 años de operaciones en sus instalaciones de 23 mil metros cuadrados.

La gestión de activos siempre ha tenido como fuente la inversión mixta de capital (público y privado) cuya gestión ha sido administrada a través de comités de dirección, agrupación que supervisa y aprueba los presupuestos, gastos e inversiones como conjunto.

Las funciones del Comité de Administración, cuando se requiera la presencia indelegable se sus miembros son las siguientes:

- Seleccionar al Administrador de las Zonas Comunes, asignarle funciones y atribuirle competencias
- Aprobar el Reglamento para la Administración de la empresa CCBP.
- Aprobar el Plan de Contratación que proponga el Administrador para el cumplimiento de las labores a su cargo.
- Aprobar el presupuesto inicial y el de cada vigencia fiscal, destinado a la operación y administración de la Empresa CCBP.

Así como:

- Supervisar y evaluar las actividades adelantadas por la persona que ejerza la Administración de la Empresa CCBP.
- Servir como espacio de discusión y debate de los asuntos que sean abordados para la operación y administración de la Empresa CCBP, así como ser la instancia inicial para la resolución de conflictos y controversias entre las partes.

- Revisar y aprobar los informes financieros, contables, administrativos y de gestión que presente el Administrador de las zonas comunes de la empresa CCBP.
- Dictar su propio reglamento.

Por lo tanto, es una administración impar del gran espacio con tres grandes subdivisiones:

1. Área Publica, conformada por las oficinas de atención al público en general de la secretaría Distrital y administrada por empresa privada (contratada).
2. Área privada, conformada por las áreas de presentación de eventos culturales y administrada por una fundación privada.
3. Zonas Comunes, áreas comunes donde convergen las dos áreas mencionadas y comunes entre sí. Incluye los equipos operacionales de todo el centro comunes a todas las operaciones tales como:
 - a) Sistema eléctrico.
 - i. Instalaciones eléctricas
 - ii. Iluminación
 - iii. Sistema de respaldo, incluye los grupos electrógenos de generación eléctrica de emergencia
 - b) Sistema de bombeo hidráulico
 - i. Bombas de agua potable
 - ii. Bombas de eyección
 - iii. Aguas de Lluvia
 - iv. Aguas servidas
 - v. PTALL (planta de tratamiento de aguas de lluvia)
 - c) Sistema de Extinción de incendios (RCI)
 - d) Sistema de elevación
 - e) Control de Acceso y CCTV.

Como se puede observar las zonas comunes es administrado por la FACILITY desde el año 2013, con un alcance claro de activos comunes a las partes interesadas de la empresa CCBP. Anterior a esta fecha (2013) Se encargaba del mantenimiento de equipos y activos una empresa dedicada a la

administración de fondos de pensiones y compensaciones de trabajadores. La cual solo realizaba mantenimientos preventivos locativos ya que en los 3 primeros años de puesta en funcionamiento de la empresa CCBP, contaban aun con las garantías y poco uso de los activos.

Posterior a 2013, luego de la renuncia unilateral de la anterior administradora, el comité del CCBP decide contratar una empresa especializada en la gestión de activos, contratando a FACILITY y quien hasta la fecha de realización de esta investigación continúa en funciones.

Con la llegada de FACILITY, se implementa un plan de mantenimiento preventivo a todos los activos de la empresa CCBP, incorporándolos en un sistema de gestión de mantenimiento computarizado denominado en el mercado como *Mantum*® CMMS. Con una operación estructurada por:

- Un director administrativo, es quien maneja el presupuesto de cara al comité de la empresa CCBP.
- Un coordinador operativo, encargado del cumplimiento del mantenimiento técnico sistemático y correctivo de los activos, informar al comité los proyectos especiales y estado de los activos.
- Un coordinador de sistemas, quien se encarga de prestar soporte por parte de la FACILITY a los sistemas informáticos de los interesados.
- Un técnico electromecánico, encargado de realizar las rutas de mantenimiento de los equipos en las zonas comunes, realizar acompañamiento de contratistas en la ejecución de los mantenimientos programados de los equipos y reportar al coordinador la ejecución de los mismos. Como complemento al alcance de las funciones de este personal, realizar arreglos locativos que no ameriten complejidad en la operación y funcionalidad de los activos.

Plan de mantenimiento: enfoque y metodología

Las actividades de mantenimiento a los activos de la Empresa CCBP están definidas dentro del Plan de mantenimiento anual establecido por la FACILITY siguiendo la periodicidad definida por los fabricantes de los activos y avalado para su ejecución por la Junta Directiva de la Empresa CCBP, cuentan con partidas presupuestales asignadas y aprobadas dentro del presupuesto anual general de la Empresa CCBP.

Todas las actividades de mantenimiento relacionadas con los activos se encuentran tercerizadas a través de compañías de servicios especializados que le permiten a la Empresa CCBP, minimizar la necesidad de recurso humano propio y aprovechar la disponibilidad de oferta de servicios según el activo para aprovechar las condiciones favorables del mercado e impactar de forma positiva su Gestión y Administración de Activos bajo las condiciones de seguridad, disponibilidad y eficiencia que dicho esquema de *outsourcing* ofrece y así obtener beneficios económicos que contribuyan a la sostenibilidad de la Empresa CCBP.

Políticas de Mantenimiento

Como parte de las políticas establecidas por la alta dirección de la Empresa CCBP en relación a la gestión del mantenimiento y de activos se pueden resaltar:

Outsourcing.

Tercerización de todos los servicios especializados bajo contratos de servicio con empresas especializadas según el activo.

Mantenimiento preventivo.

Establecimiento de un esquema de mantenimiento preventivo a los activos críticos que permita prevenir fallas y paros no programados que afecten su desempeño y, por ende, la operación normal de la Empresa CCBP.

Mantenimiento correctivo.

Forma parte del esquema de rutinas y su ejecución estará asociada a la autorización presupuestal previo análisis de la oferta técnico económica que para tal efecto se presentará para aprobación. Este tipo de mantenimiento está dirigido a la corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presentan.

Para la gestión del mantenimiento, la FACILITY realiza todo el seguimiento e implementación del Plan de mantenimiento por medio del software CMMS *Mantum®*, este permite realizar un control de inventario, financiero, de programación y aseguramiento de la calidad del servicio.

Marco Metodológico

A continuación, se describe la metodología empleada para el desarrollo del presente trabajo de investigación, partiendo desde la búsqueda, recopilación y análisis de la información hasta el desarrollo de cada uno de los objetivos específicos que permitan alcanzar el objetivo general.

Recolección de la información

La información recolectada para el desarrollo de este proyecto de investigación fue extraída desde la base de datos de la empresa CCBP utilizando como medio la búsqueda directa en el software de administración CMMS *Mantum*®, ubicando la información en los repositorios universitarios mediante la búsqueda en línea de los documentos relacionados con el tema objeto de la investigación, de igual forma, se recopiló información suministrada por la FACILITY en cuanto refiere a información económica y de gestión administrativa relacionada.

Toda la información reposa en medio magnético y está almacenada bajo custodia de los autores de la investigación guardando la reserva y confidencialidad requerida.

En la Tabla 2 se muestra el Plan de Trabajo que se llevó a cabo para desarrollar la presente investigación.

Tabla 2*Plan de Trabajo y Cronograma Ejecución de Actividades*

PLAN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES				
	DESCRIPCION	DURACION (Dias)	FECHA INICIO	FECHA FIN
TEORÍA		23	02/11/2021	25/11/2021
	Título, Justificación, Objetivos, Marco teórico	7	02/11/2021	09/11/2021
	Marco teórico, legal, normativo, estado del arte	16	09/11/2021	25/11/2021
RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN		15	25/11/2021	10/12/2021
	Solicitudes y cesión de derechos	3	10/12/2021	13/12/2021
	Análisis DOFA	1		
	Identificación de sistemas de recolección de la información, CMMS Mantum ®	2	13/12/2021	15/12/2021
	Revisión de sistemas de gestión presentes en la empresa CCBP y FACILITY	6	15/12/2021	21/12/2021
	Listar manuales e información física disponible	3	21/12/2021	24/12/2021
DESARROLLO DE LA PROPUESTA		8	15/02/2022	23/02/2022
	Identificación de fuentes primarias	7	23/02/2022	02/03/2022
	Identificación de fuentes secundarias	1	02/03/2022	03/03/2022
TAXONOMÍA		1	03/03/2022	04/03/2022
	Revisión de árbol de activos	1	04/03/2022	05/03/2022
CRITICIDAD		31	05/03/2022	05/04/2022
	Definición de matriz de criticidad	15	05/04/2022	20/04/2022
	Definir Tareas y FMECA	7	20/04/2022	27/04/2022
	Definir recursos y herramientas de actividades	1	27/04/2022	28/04/2022
	Protocolos	7	28/04/2022	05/05/2022
	Responsables	1	05/05/2022	06/05/2022
ESTUDIO ECONÓMICO		5	06/05/2022	11/05/2022
	Valor listado de activo	1	11/05/2022	12/05/2022
	Valor de servicios de mantenimiento	3	12/05/2022	15/05/2022
	ROI	1	15/05/2022	16/05/2022
PROPUESTA		10	16/05/2022	26/05/2022
	Estructura de la propuesta	2	26/05/2022	28/05/2022
	Conclusión y recomendaciones	3	28/05/2022	31/05/2022
	Paginación	5	31/05/2022	05/06/2022
REVISIÓN Y AJUSTES		7	01/07/2022	08/07/2022
	Primera revisión y ajustes	5	08/07/2022	13/07/2022
	Segunda Revisión	2	13/07/2022	15/07/2022

Tipo de investigación

De acuerdo a los tipos de investigación definidos por la Dirección de Postgrados de la Universidad ECCI para la presentación de trabajos de grado y teniendo en cuenta que todo el análisis fue

enfocado a una unidad específica de un universo poblacional, se establece que el tipo de investigación aplicado en este trabajo es un estudio de caso y cuyo paradigma de investigación es de tipo mixto teniendo en cuenta que los datos obtenidos y analizados durante el desarrollo del mismo son de tipo cualitativo (p.ej.: fallas e información de rutinas de mantenimiento) y cuantitativo (p.ej.: valores asociados al mantenimiento y cantidad de fallas).

Fuentes de obtención de la información

Para lograr el objetivo de este trabajo de investigación, se establecieron las siguientes fuentes de información:

Fuentes Primarias

Como fuentes primarias se tuvo acceso a la información relacionada con los equipos objeto del estudio compartida por la empresa CCBP tales como:

- Listado general actualizado de los activos sujetos a mantenimiento de la empresa CCBP
- Cronograma de mantenimientos preventivos para los años 2020 y 2021
- Histórico de fallas descargado del software CMMS utilizado para la gestión del mantenimiento por parte de la FACILITY
- Informe Diagnóstico Técnico de Equipos Críticos (DTEC) de la empresa CCBP correspondiente a noviembre de 2021.
- Plan de Calidad para la Prestación de los Servicios de Administración CCBP versión 5
- Diagrama unifilar eléctrico de la empresa CCBP última versión 2018
- Ficha técnica de las plantas eléctricas de la empresa CCBP
- Estado de costos de mantenimientos ejecutados a los activos de la empresa CCBP durante los periodos comprendidos entre los años 2018 al 2021

Fuentes Secundarias

La información de fuentes secundarias es externa a la empresa CCBP y corresponde a la recopilación de documentos técnicos relacionados con los activos objeto de estudio como:

- Trabajos de grado ubicados en repositorios en línea de las universidades a nivel nacional e internacional y que fueron citados en el estado del arte.
- Libros técnicos en formato físico o digital que aporten información y conocimiento a la investigación
- Información técnica disponible en la web de páginas confiables relacionadas con la gestión y el mantenimiento de equipos.
- También se incluyen dentro de este tipo de fuentes de información, las normas y reglamentos legales en el ámbito nacional e internacional citadas dentro del marco legal de este documento.

Fuente terciaria

La información de fuentes terciarias es externa a la empresa CCBP y corresponde a información consultada para la presente investigación en bases de datos históricos en páginas web como la del Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE

Herramienta

Las herramientas para emplear en el planteamiento y desarrollo de este proyecto son:

- Análisis DOFA
- Análisis de criticidad
- Análisis FMECA
- Taxonomía de los activos
- Indicadores de gestión de mantenimiento
- Historial de fallas disponible en CMMS
- Bases de datos de diferentes universidades mediante los repositorios de las mismas a nivel local y nacional
- Manuales de usuario y mantenimiento de los activos objeto de estudio

Metodología

A continuación, se describe la metodología a desarrollar para la elaboración de la propuesta de mejora basado en RCM al plan de mantenimiento actual establecido para las dos plantas eléctricas de 625 kVA de la empresa CCBP en la ciudad de Bogotá.

Para desarrollar el objetivo específico número uno planteado como *“Identificar posibles debilidades y fortalezas en la aplicación de la rutina de mantenimiento recomendada por el fabricante a las dos plantas eléctricas objeto de estudio mediante el diagnóstico del estado actual de dichos equipos basado en la información técnica e histórica disponible”* se realizará un análisis mediante la matriz DOFA para identificar las debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas relacionadas con el plan de mantenimiento actual aplicado a los activos objeto de este estudio.

Para desarrollar el objetivo específico número dos planteado como *“Realizar el análisis de criticidad mediante la metodología RCM a los activos objeto de estudio”* se realizará la clasificación de los activos de la empresa CCBP mediante la elaboración de la taxonomía de los activos y posterior se elaborará un análisis de criticidad usando la metodología FMECA que permita identificar los modos de fallo, estimar la severidad y definir el nivel de criticidad para cada uno de los componentes del activo analizado y que es objeto de este estudio.

Para desarrollar el objetivo específico número tres planteado como *“Desarrollar la propuesta de mejora al Plan de mantenimiento para hacerlo de forma eficiente a partir de los resultados obtenidos en el análisis RCM”* se analizará la información recopilada y los resultados del análisis de criticidad para plantear las alternativas de solución y definir las mejoras a proponer basados en la información emitida por el fabricante en los manuales de operación de los activos objeto de estudio y de las buenas prácticas recomendadas en la normatividad consultada para esta investigación.

Información recopilada

Inventario de Equipos

Para la realización de esta investigación, se contó con acceso a la relación de activos disponibles de la empresa CCBP, de dicho listado se extrajeron aquellos que están relacionados con el sistema

eléctrico y de forma directa con las plantas eléctricas, de este modo poder determinar su relación y dependencia eléctrica dentro del sistema general para así analizar el impacto de las plantas eléctricas dentro del funcionamiento general. En la Tabla 3 se listan los activos mencionados.

Tabla 3

Listado de activos de la empresa CCBP relacionados con el sistema eléctrico

Ítem	Denominación del Activo	Descripción Cuenta CC	Planta Ubicación	Centro de planificación	Grupo de Planificación
1	Alarma	RCI - Alarma	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
2	Detección	RCI - Detección	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
3	Extinción	RCI - Extinción	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
4	Unidad de Bombeo	RCI - Bombas	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
5	Tableros Eléctricos	RCI - Medición	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
6	Ascensor 1	Ascensores	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
7	Ascensor 2	Ascensores	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
8	Ascensor Montacarga 1	Ascensores	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
9	Ascensor Montacarga 2	Ascensores	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
10	Ascensor Discapitados	Ascensores	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
11	Bomba agua potable 1	Bombas	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
12	Bomba agua potable 2	Bombas	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
13	Hidroneumático	Bombas	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
14	Bomba Eyectora 1	Bombas	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
15	Bomba Eyectora 2	Bombas	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
16	UMA 1	HVAC	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES

17	UMA 2	HVAC	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
18	Extracción Mecánica 1	HVAC	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
19	Extracción Mecánica 2	HVAC	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
20	Extracción Mecánica 3	HVAC	Bogotá	BOG01	Z_COMUNES
21	Lectora 1	Acceso	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
22	Lectora 2	Acceso	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
23	Lectora 3	Acceso	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
24	Lectora 4	Acceso	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
25	Lectora 5	Acceso	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
26	Cámara Tipo Domo 1	CCTV	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
27	Cámara Tipo Domo 2	CCTV	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
28	Cámara Tipo Domo 3	CCTV	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
29	Cámara Tipo Domo 4	CCTV	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
30	DVR	CCTV	Bogotá	BOG01	SEGURIDAD
31	Planta Eléc. 625 kVA	Eléctrico - Servicio	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
32	Tanque 600 gl ACPM	Eléctrico - Suministro	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
33	Transferencia Automática BT	Eléctrico - Tablero	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
34	Tab-Eléctrico Distribución 1	Eléctrico - Tablero	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
35	Tab-Eléctrico Distribución 2	Eléctrico - Tablero	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
36	Celda Medidor de Energía	Eléctrico - Tablero	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
37	UPS 1	Respaldo Eléctrico - Servicio	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN

38	UPS 2	Respaldo Eléctrico - Servicio	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
39	UPS 3	Respaldo Eléctrico - Servicio	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
40	UPS 4	Respaldo Eléctrico - Servicio	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
41	Transferencia Automática BT	Respaldo Eléctrico - Servicio	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
42	Transporte Gerencia General (Hibrido)	Vehicular - Servicio	Bogotá	BOG01	TRANSPORTE
43	Transporte # 1	Vehicular - Servicio	Bogotá	BOG01	TRANSPORTE
44	Transporte # 2	Vehicular - Servicio	Bogotá	BOG01	TRANSPORTE
45	Puesto de Carga Bicicleteros	Vehicular - Servicio	Bogotá	BOG01	TRANSPORTE
46	Electrolinera	Vehicular - Servicio	Bogotá	BOG01	TRANSPORTE
47	Paneles Solares	Fotovoltaico - Servicio	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
48	Autómata de energía (Medidor-Convertidor - Controlador)	Fotovoltaico - Servicio	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
49	Baterías	Fotovoltaico - Servicio	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
50	Tablero Eléctrico	Fotovoltaico - Servicio	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN
51	Sistema de telemetría	Fotovoltaico - Servicio	Bogotá	BOG01	OPERACIÓN

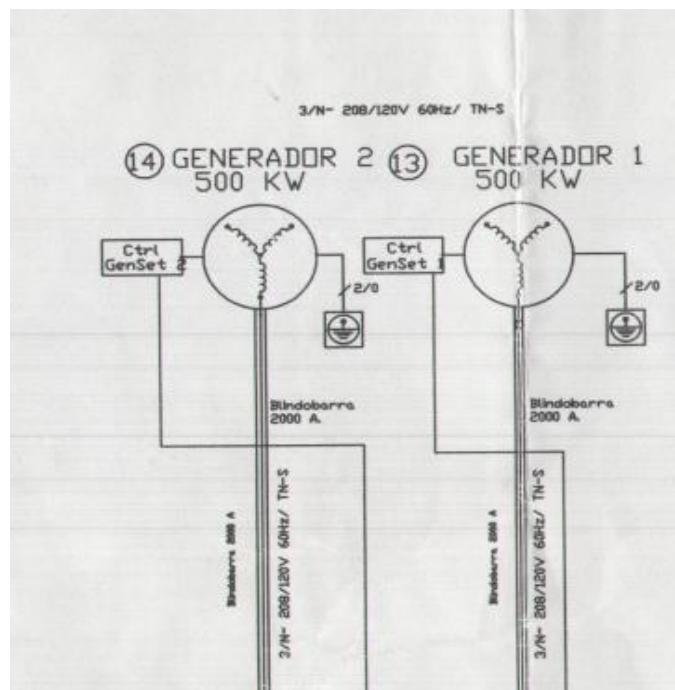
Diagrama Eléctrico Unifilar

Como parte de la información recopilada, se contó con acceso al diagrama eléctrico unifilar donde se pudo establecer la relación del activo analizado con el sistema eléctrico y su importancia dentro

del funcionamiento general de todos los demás sistemas de la empresa CCBP. Dado que se trata de un documento disponible en formato *.pdf* y que, este contiene información que es legible solo al imprimirlo en un tamaño adecuado o visualizarlo por partes de forma digital, para este trabajo solo se adjunta un extracto de la parte donde se encuentran ubicadas las plantas eléctricas y que se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Extracto del diagrama eléctrico unifilar de la empresa CCBP donde se ubican las plantas eléctricas



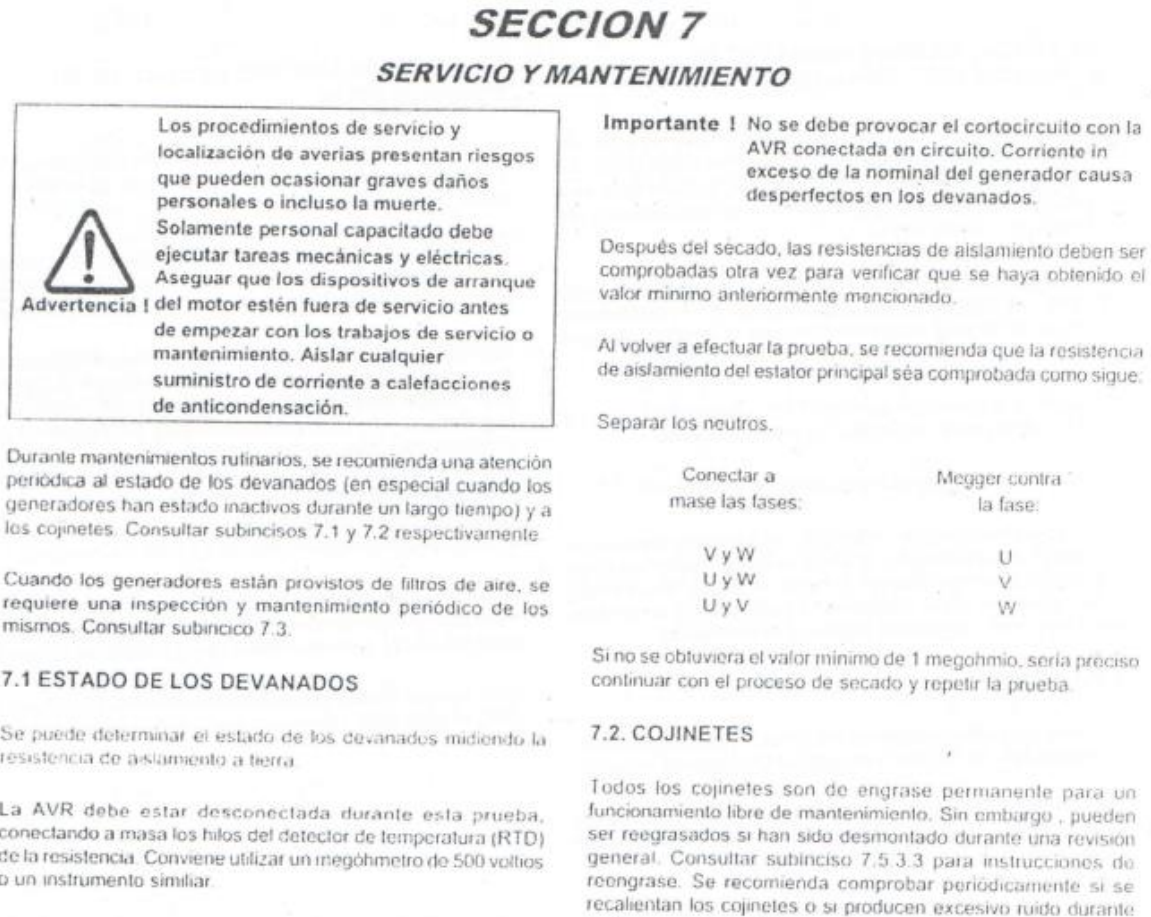
Nota. Extracto de ubicación de las dos plantas eléctricas dentro del sistema eléctrico de la empresa CCBP tomado del documento *Diagramas Unifilares Centros de Distribución Sistema Eléctrico* versión abril de 2010.

Manual de operación del equipo

Para efectos de contar con la información del activo analizado y conocer la rutina de mantenimiento recomendada por el fabricante del equipo, en el manual de operación por parte del usuario se pudo identificar las tareas y periodicidad establecida para cada tarea. La Figura 4 corresponde a un extracto del documento en físico del manual de usuario y mantenimiento de las plantas eléctricas de la empresa CCBP.

Figura 4

Extracto Manual de Usuario y Mantenimiento Planta Eléctrica S&S



Nota. Extracto tomado del archivo en físico disponible en la empresa CCBP del Manual de Instalación, Servicio y Mantenimiento Planta Eléctrica Stewart & Stevenson – Publicación N° 2H-056S 15ª Edición 2/96

Cronograma de Mantenimiento

El mantenimiento preventivo programado o sistemático (como se denomina en la empresa CCBP) está definido para ejecutarse de forma rutinaria con una periodicidad bimestral. En la Figura 5 se muestra un extracto de las rutinas agendadas para el mes de junio de 2020, este esquema de mantenimiento es iterativo cada mes y exceptúa la rutina ejecutada por el proveedor que se realiza bimestralmente.

Figura 5

Extracto Cronograma Plan de Mantenimiento Plantas Eléctricas Empresa CCBP - junio 2020

ENTIDAD/Actividad	Junio																													
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
PE-2201-A PLANTA ELECTRICA 1	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
INSPECCIÓN PLANTA ELÉCTRICA 001			█						█								█													
Reparación General																														
Check-List DI-VT-TJ-EQ																														
INSPECCIÓN PLANTAS ELÉCTRICAS DIARIA 001	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
MANTENIMIENTO PREVENTIVO TRIMESTRAL PLANTAS ELÉCTRICAS																														
MANTENIMIENTO PREVENTIVO ANUAL																														
PE-2201-B PLANTA ELECTRICA 2	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
INSPECCIÓN PLANTA ELÉCTRICA 002			█							█								█												
Reparación General																														
Check-List DT-VT-TJ-EQ																														
INSPECCIÓN PLANTAS ELÉCTRICAS DIARIA 002	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
MANTENIMIENTO PREVENTIVO TRIMESTRAL PLANTAS ELÉCTRICAS																														
MANTENIMIENTO PREVENTIVO ANUAL																														

Nota. Extracto tomado del archivo en Microsoft Excel® identificado como *PAPER_Listado_ResumenPlan*

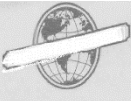
Maestro_Ejecutado 2020-2021 generado como reporte del CMMS *Mantum®*

Reportes de mantenimiento preventivo

Se logró acceder a los reportes de mantenimiento entregados en físico por parte del proveedor tercerizado que atiende los activos objeto de esta investigación, en dichos documentos se identificaron las tareas realizadas a los activos en cada rutina que permitió compararlas con las definidas en el manual de operación mencionadas previamente. La Figura 6 muestra un formato como evidencia del mantenimiento preventivo (sistemático) ejecutado a uno de las plantas eléctricas dentro del periodo relacionado con esta investigación y la Figura 7 un extracto del informe descargado del CMMS *Mantum®* donde se documenta la información para gestionar la trazabilidad de las actividades ejecutadas.

Figura 6

Formato Físico de Informe de Mantenimiento a Planta Eléctrica Proveedor Stewart & Stevenson



UNIDAD DE SERVICIO
Bogotá - Medellín - Bucaramanga - Cali - Barranquilla.

INFORME DE MANTENIMIENTO

CENTRO DE MONITOREO
PLANTAS ELÉCTRICAS

Vigencia 2018.07.13
VS
No **28039**

DATOS BÁSICOS:

CIUDAD: Bogotá FECHA: 07/00/2018

CLIENTE: [Redacted] DIRECCIÓN: [Redacted]

CONTACTO: [Redacted] CARGO: [Redacted]

TELÉFONO: [Redacted] CEL.: [Redacted] EMAIL: [Redacted]

ENTREGA DE EQUIPO () TOMA DE DATOS () SERVICIO () MANTENIMIENTO (x) MONTAJE ()

MARCA PLANTA: SYS MODELO: 2400C 410 S/N PLANTA: 550 2810000

MARCA MOTOR: Temprol MODELO: 2702 H234 B260 SERIE MOTOR: 822 2801100

MARCA GENERADOR: Temprol MODELO: 1107 H234 C260 S/N GEN.: 928 2101000

HORÓMETRO: 2400-15 POTENCIA PLANTA ELÉCTRICA KW: 450 TIPO CONTROL: 550

TÉCNICO (S): Carlo Cortes Alberto Sique Nelson Gonzalez TIPO DE BATERIA: 4D CANT.: 2

I. OBJETIVO VISITA: Mto completo Cambio de aceites

II. ESTADO INICIAL: *En la casilla estado se debe referenciar (B) BUENO - (R) REGULAR - (M) MALO Dependiendo de su estado*

Item	Estado	Medida	Item	Estado	Medida
1. Motor			Cargador de Baterías:		<u>24 Volt</u>
- Nivel de aceite del motor:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>0.11</u>	- Correas tensionadas:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	
- Estado del radiador:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M		- Estado del filtro del aire:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	
- Nivel de refrigerante: %	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>100 %</u>	- Estado de mangueras:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	
- Correa Ventilador:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>	- Estado del precalentador:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>1000</u>
- Aspas del ventilador:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M		- Estado de racores:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	
- Bornes de las baterías:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M		- Estado de correjir fugas:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	
- Nivel de agua de las baterías:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M		- Estado de filtros combustible:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	
- Densidad electrolito:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>	- Nivel de combustible:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>25 %</u>
- Carga de las baterías:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>27.2 Volt.</u>	- Capacidad tanque combustible:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	
			- Filtro comb. separador agua:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	
2. Generador			- Conexiones cableado control:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	
- Estado generador:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M		- Objetos extraños en el exterior:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	
- Aspas del ventilador:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M		- Puente rectificador giratorio:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	
- Conexiones de potencia:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M		- Reguladora de Voltaje:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	
- Estado de Transferencia:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M		- Estado Cuarto / Cabina:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	

III. LABORES EFECTUADAS: Se realizó mto cambio de aceite, filtro de aire aceite, agua, separador de agua, bornes de baterías, se cambió el aceite, se dio carga a grupo, cambio de aceite en mangueras.

IV. CONDICIONES DE ENTREGA:

Item	Estado	Medida	Item	Estado	Medida
1. Motor			Temperatura aceite:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>
- Caida voltaje batería en arranque:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>21 Volt.</u>	- Temperatura gases de escape:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>
- Presión de aceite:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>55 PSI.</u>	- Indicador de restricción de aire:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>
- Temperatura del agua:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>111 °F.</u>	- Ruidos extraños:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>
- Voltaje en el alternador:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>27 V.</u>	- Oscilación Gobernador:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>
- Instrumentos del tablero:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M				
2. Generador			Chequeo de amp. Volt:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>
- Voltaje:	Fase 1, 2 <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>200 V.</u>	- Klovatios:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>
	Fase 1, 3 <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>200 V.</u>	- Posición Breaker de Potencia:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>
	Fase 2, 3 <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>200 V.</u>	- Posición switch de encendido:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>
- Frecuencia:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>60 Hz.</u>	- Se simuló falla energía normal:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>
- Corriente Amperios:	Fase 1 <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>0 Amp.</u>			
	Fase 2 <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>0 Amp.</u>			
	Fase 3 <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>0 Amp.</u>			
3. Simulación de fallas:			Baja presión de aceite:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>
- Alta temperatura refrigerante:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>	- Bajo nivel liquido radiador:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>
- Sobre revoluciones:	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M	<u>02</u>			

V. OBSERVACIONES:

VI. RECOMENDACIONES:

REFERENCIA FILTRO AIRE: CCC 12504 CANT: 1 REF. FILTRO COMBUSTIBLE: P55K16 CANT: 1

REFERENCIA FILTRO ACEITE: P552100 CANT: 2 REF. FILTRO SEPARADOR: P55K16 CANT: 1

HORA SALIDA S & S: [Redacted] HORA INICIO LABOR: [Redacted] FECHA DE ENTREGA: [Redacted]

A LLEGADA CLIENTE: [Redacted] HORA FIN LABOR: [Redacted] HORA DE ENTREGA: [Redacted]

Vo. Bo. SERVICIO

NOMBRE Y FIRMA CLIENTE

BOGOTÁ: AVIENDA CALLE 23 No. 22 A-51 PBX: 8190480 EXT 188-179 FAX: 8190469 MEDELLÍN: CRA 48A SUR 151 PBX (07-0) 3814200 FAX EXT 123
 CALI: CRA 31 No. 15-170 PBX (07-2) 3814200 FAX EXT 810 BARRANQUILLA: VÍA 40 No. 81-414 PBX (07-6) 3700103 FAX (07-6) 3703211
 BUCARAMANGA: Km 7 + 400 Centro Empresarial San Jorge Boquete # 50 PBX (07-7) 6460008 FAX EXT 403
 CERRILÓN BINA - CORRIEJOV CLAJARA PBX (08-4) 774437
 www.stewartandstevenson.com asistente.convenios2@sss.com.co # Celular 314-2191709

Figura 7

Extracto de informe Histórico de Ordenes de Trabajo

5/6/22, 22:30 MántumCMMS - Informes » MÓDULO EQUIPOS » JULIO 2021 » 2201-A | PLANTA ELECTRICA 1 → Histórico de Órdenes de Trabajo

MántumCMMS - IMPRESIÓN DE INFORMES MÓDULO EQUIPOS » JULIO 2021 » 2201-A PLANTA ELECTRICA 1 → HISTÓRICO DE ÓRDENES DE TRABAJO					
Fecha	Código	Descripción / Realimentación	Ejecutores	Costo	Duración [H]
2021-11-12	OT-008504	Descripción: MANTENIMIENTO PLANTAS ELECTRICAS JULIO 2021. INSPECCIÓN GENERAL DEL EQUIPO, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, AJUSTE Y LUBRICACIÓN DE PARTES. Descripción A.M. Incluidas: MANTENIMIENTO PREVENTIVO BIMESTRAL PLANTAS ELÉCTRICAS INSPECCIÓN GENERAL DEL EQUIPO, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, AJUSTE Y LUBRICACIÓN DE PARTES, TOMA DE LECTURAS Y PRUEBA EN VACÍO. MANTENIMIENTO PREVENTIVO BIMESTRAL PLANTAS ELÉCTRICAS INSPECCIÓN GENERAL DEL EQUIPO, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, AJUSTE Y LUBRICACIÓN DE PARTES, TOMA DE LECTURAS Y PRUEBA EN VACÍO. -- Realimentación: Planta # 1 y 2 Se revisan niveles de aceite, combustible y refrigerante Se revisan conexiones Ac/Dc NOTA: no se pudo realizar encendido en vacio al encontrarse personal de trabajo en planta.	STEFANO GARCIA, ANDRES	710,12,00	4,00

Nota. Extracto tomado del archivo en Microsoft Excel® identificado como *Reporte OT-PE1 2021* generado desde CMMS *Mantum®*

Registro de fallas y novedades

Se realizó la descarga de la información correspondiente a los registros de actividades y fallas realizadas en la planta eléctrica durante el periodo 2021 indicando la duración de cada evento registrado en la plataforma CMMS y que se muestra consolidado en la Tabla 4.

Tabla 4

Resumen de fallas registradas en CMMS Mantum® para la planta eléctrica durante el año 2021

ITEM	CÓDIGO	EQUIPO	FECHA	TIPO MANT	DESCRIPCIÓN	TIR (h)	TBF (h)
			2021-12-31		Tiempo de referencia fin de año		0,00
1	BO10REPE1	PE1	2021-11-12 15:00	N	En Operación		1184,98
2	BO10REPE1	PE1	2021-11-12 13:00	P	Parado por Mantenimiento - Rutina preventiva	2,0	0,00
3	BO10REPE1	PE1	2021-10-19 16:00	N	En Operación		573,00
4	BO10REPE1	PE1	2021-10-19 09:00	C	Parado por Fallo - Fuga leve de aceite	7,0	0,00
5	BO10REPE1	PE1	2021-09-06 12:00	N	En Operación		1029,00
6	BO10REPE1	PE1	2021-09-06 10:00	P	Parado por Mantenimiento - Rutina preventiva	2,0	0,00
7	BO10REPE1	PE1	2021-07-13 10:00	N	En Operación		1320,00
9	BO10REPE1	PE1	2021-07-13 08:00	P	Parado por Mantenimiento - Rutina preventiva	2,0	0,00
10	BO10REPE1	PE1	2021-05-20 11:00	N	En Operación		1293,00
11	BO10REPE1	PE1	2021-05-20 08:00	P	Parado por Mantenimiento - Rutina preventiva	3,0	0,00
12	BO10REPE1	PE1	2021-04-21 10:00	N	En Operación		694,00
13	BO10REPE1	PE1	2021-04-21 09:00	C	Parado por Fallo - Corrección contig arranque	1,0	0,00
14	BO10REPE1	PE1	2021-03-30 18:00	N	En Operación		519,00
15	BO10REPE1	PE1	2021-03-30 13:00	C	Parado por Mantenimiento - Cambio de aceite y	5,0	0,00
16	BO10REPE1	PE1	2021-03-03 14:00	N	En Operación		647,00
17	BO10REPE1	PE1	2021-03-03 11:00	P	Parado por Mantenimiento - Rutina preventiva	3,0	0,00
18	BO10REPE1	PE1	2021-01-15 13:00	N	En Operación		1126,00
19	BO10REPE1	PE1	2021-01-15 10:00	P	Parado por Mantenimiento - Rutina preventiva	3,0	0,00
			2021-01-01	N	Tiempo de referencia inicio de año		345,98
					Total Horas de paro no programado	13,00	8731,97
					Cantidad de fallas presentadas	3	

Análisis de la información

Análisis DOFA

Como resultado de la evaluación de los cuatro parámetros de esta metodología de análisis se logró identificar lo relacionado a continuación:

Debilidades

- Falta de comunicación entre las áreas transversales (*BackOffice*) de la compañía administradora tales como Compras, Finanzas, Mantenimiento y Contabilidad para la realización de tareas, procesos y actividades relacionadas con el mantenimiento.
- Los clientes no cuentan con canales regulares y sistemas de gestión propio, para auditar sus propias novedades o retroalimentación del servicio ante la administración.

- No se dispone de registros históricos confiables en la plataforma informática CMMS *Mantum*® de actividades correctivas realizada a las plantas eléctricas con trazabilidad anterior al año 2021.
- Faltan indicadores de gestión de mantenimiento para todos los activos, lo cual no permite la medición asertiva de mejoras o metas ya que solo se mide cumplimiento de cronograma.
- Se cuenta con personal operativo que aún desconoce el funcionamiento, componentes, partes y modos de fallas de los equipos de la compañía a los cuales realizan las actividades de mantenimiento.

Oportunidades

- La compañía está en proceso de la optimización de todas sus actividades de mantenimiento.
- Mejora en los procesos de capacitación para fortalecer la base de conocimiento del personal operativo y administrativo.
- Mayor disponibilidad de tiempo para el personal operativo y administrativo con el ajuste de la periodicidad.

Fortalezas

- Existe compromiso directo de la Alta Dirección en la gestión de activos, economía circular y reducción de huella de carbono.
- Los procesos de la empresa CCBP se manejan bajo los parámetros de calidad definidos en la ISO 9001:2018
- Renombre de la empresa CCBP.
- Cuentan con colaboradores altamente calificados y comprometidos en sus actividades de gestión administrativa, que conocen los procedimientos actuales de la compañía.

Amenazas

- Estabilidad de la empresa en el mercado.

- Se evidencia alta rotación del personal operativo en los contratistas que realizan el mantenimiento periódico a los equipos.
- Aumento de los costos de insumos y repuestos debido a fluctuación de moneda extranjera y secuelas de la pandemia, especialmente las relacionadas con las cadenas de importación.
- Los cargos administrativos presentan altas cargas operacionales y críticos con alto índice de dependencia.

Análisis de criticidad

El análisis de criticidad como metodología permite llegar a la identificación y jerarquización de los activos más críticos de un sistema a los cuales se les debe prestar mayor atención y destinar mayores recursos humanos y económicos, de igual forma, permite establecer modos de fallo, su frecuencia de ocurrencia y los posibles impactos asociados que afectarían directamente a la compañía. Como medio para ratificar la criticidad del activo evaluado en esta investigación, se realizó un análisis de criticidad a todos los activos de la empresa CCBP y que se muestra en la Tabla 5 donde se evidencia que la planta eléctrica se cataloga como el activo de mayor criticidad.

Tabla 5

Análisis de Criticidad Activos Empresa CCBP

Activo	Análisis de Criticidad							Criticidad según Impacto
	Frecuencia Fallas - Año (F)	Cualidad (impacta a)				Consecuencia (C)	Impacto Anual (FxC)	
		Costos de Reparación	Impacto de Producción	Seguridad Industrial	Medio Ambiente			
Sistema de Extinción (RCI)	0	2	0	5	3	10	10	C
Unidad de Bombeo	0	3	0	2	0	5	5	C
Ascensor 1	1	3	4	5	3	15	15	B
Bomba Agua Potable 1	2	2	5	2	0	9	18	A
Planta Eléctrica 625 KVA	1	4	5	5	5	19	19	A
UPS 1	0	4	5	5	2	16	16	A
Baterías	1	3	1	3	3	10	10	C

Del análisis realizado, se observó que al momento inicial de esta investigación no se disponía de una clasificación jerarquizada adecuada de los sistemas y activos, lo que hace ineficiente la gestión de los

activos. Se realizó un análisis de las deficiencias de la aplicación de la estrategia actual a los activos para evaluar su índice de criticidad, así como tener una panorámica de los beneficios que supondría la introducción de un modelo de mantenimiento estructurado para los grupos electrógenos que tuviese en cuenta los factores y características de los mismos y que, al final permitiría identificar el riesgo que representa la indisponibilidad del activo en la organización, jerarquizarlo adecuadamente en función de su impacto global y con esto, facilitar la toma de decisiones.

Taxonomía del Activo Planta Eléctrica de la Empresa CCBP

Relacionado con la implantación de la metodología RCM y aplicando los conceptos de taxonomía y las pautas definidas en la norma ISO 14224 para estructurar los activos de una instalación, se realiza la clasificación taxonómica del activo objeto del análisis de esta investigación, lo que permite tener una visión estructurada del activo y sus componentes. En el Anexo 2 se muestra la taxonomía de la planta eléctrica de 625 kVA tomando como base el esquema jerárquico establecido para la empresa CCBP mostrado en el mismo anexo de este documento.

Revisión de rutinas de mantenimiento y periodicidad.

En la Tabla 6 se muestra la rutina recomendada por el fabricante del activo para ser aplicada según periodicidad indicada.

Tabla 6

Rutina de mantenimiento y periodicidad establecidas por el Fabricante del Activo Planta Eléctrica

RUTINA	PERIODICIDAD					
	D	S	M	A	100 h	300 h
Aceite Lubricante			I			R
Arranque						I
Batería			I	R(X2)		
Compresor de aire						I
Correas de transmisión						
Filtro de combustible						R
Filtro de lubricantes						R
Filtros de aire						I
Limpieza externa	I					
Líneas de combustible		I				
Refrigerante						I(X2)
Tanque de combustible		I				
Turbocargador			I(X6)			
Ventilador						I(X4)

Nota. I: Inspección - R: Revisión. Adaptado de Manual de usuario

Análisis FMECA

El análisis de criticidad fue basado en la metodología FMECA (por sus siglas en inglés: *Failure Mode Effects and Criticality Analysis*), se planteó la matriz de criticidad con el fin de identificar la severidad y frecuencia de ocurrencia de los modos de fallo analizados para el activo. Esta herramienta es utilizada para identificar posibles puntos de falla en un activo, evaluar sus causas y efectos, y determinar maneras de disminuir los riesgos.

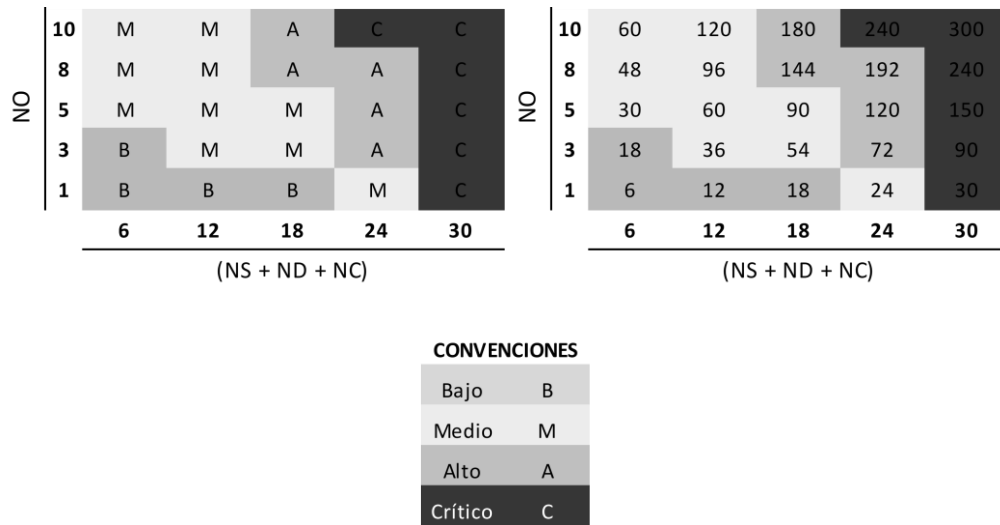
Según (Bowles, 1998) “El concepto de "equivalencia del modo de falla" permite que los modos de falla que tienen efectos equivalentes se analicen juntos y reduce gran parte del trabajo duplicado generado por los análisis tradicionales de fallas componente por componente.”

Luego de realizar la organización del activo según la taxonomía descrita en el Anexo 2, se cuenta con once subsistemas y sus respectivos componentes para el activo electrógeno a los cuales se les realizó el correspondiente análisis de criticidad determinado por el cálculo del NPR (Número de Prioridad del Riesgo) obtenido a partir del cálculo aritmético del Nivel de Ocurrencia (NO), Nivel de Severidad (NS),

Nivel de Detección de Fallos (ND) y el Nivel de Costos de Fallo (NC) conforme la escala mostrada en la Figura 8.

Figura 8

Matriz de Cálculo de NPR



En el Anexo 3 se muestra la clasificación de categorías del análisis de criticidad según el NPR. De igual forma, en el Anexo 4 se muestra la Evaluación FMECA del activo objeto del estudio donde se resume tanto la evaluación de cada modo de falla, sus efectos y consecuencias, frecuencia de cada una, así como la calificación obtenida para cada una en relación al NPR y el nivel de criticidad según este resultado

Indicadores

Cabe anotar que dentro de la gestión que se realiza por parte de FACILITY a los activos de la empresa CCBP, a la fecha no se lleva registro de ningún indicador de gestión del mantenimiento excepto el de control de cumplimiento del cronograma de ejecución, el cual solo brinda información de la efectividad del servicio, pero no muestra la eficacia de los mantenimientos ejecutados ni el estado actual de los mismos. En la Tabla 7 se resumen los indicadores básicos para la gestión del mantenimiento analizados con los datos recopilados en la Tabla 4 y que corresponde al periodo 2021. No se cuenta con registros de fallas de años anteriores ya que esta información no fue documentada de forma correcta en el sistema de información de FACILITY.

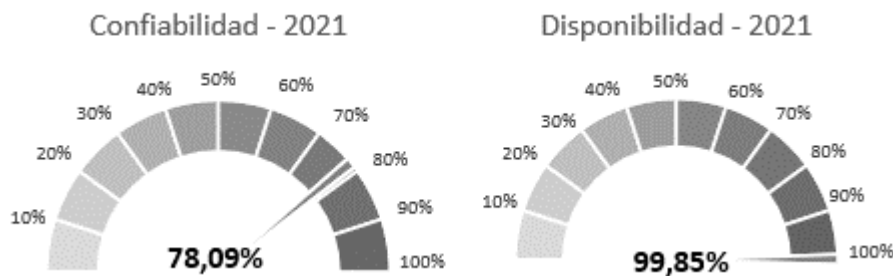
Tabla 7

Resumen Indicadores Básicos de Gestión Mantenimiento Plantas Eléctricas Empresa CCBP - Periodo 2021

INDICADOR	VALOR
	2021
MTTR	4,33
MTBF	2910,7
C	78,09%
D	99,851%

Figura 9

Indicador Confiabilidad y Disponibilidad para las Plantas Eléctricas Empresa CCBP – Periodo 2021



Nota. Indicador de Confiabilidad estimado en 78,09% y de Disponibilidad en 99,85% según cálculo realizado para las plantas eléctricas de la empresa CCBP según datos recopilados para el periodo 2021.

Discusión

Con base en el desarrollo de la presente investigación y según los resultados e información analizada durante el proceso, se puede establecer que:

1. Realizar el análisis bajo la metodología RCM permite establecer la criticidad de los activos y así, priorizar los puntos clave en los cuales se debe realizar una intervención inmediata que genere un impacto positivo.
2. La cantidad de fallas de los activos objeto de análisis han impactado negativamente en el desempeño total del sistema eléctrico al ser estos, parte primordial del sistema de respaldo eléctrico del Edificio.

3. Se evidencia la necesidad de aumentar la base de conocimiento específico en los activos por parte de todo el personal que está relacionado con la gestión del mantenimiento.
4. De continuar las actividades de mantenimiento no optimizado se está a la posibilidad de daños prematuros de los activos y riesgo de accidentes con lesiones y muerte de personal relacionado, con perjuicios operativos permanentes y financieros por gastos de reposición, pérdidas por lucro cesante (estimado el valor de la hora de producción o servicios), entre otros, que pueden conllevar a la ruina de la organización.
5. La implementación de rutinas preventivas, predictivas y correctivas que permitan la detección de fallas tempranas y controles para evitar errores humanos durante el desarrollo de las actividades.
6. Se requiere la integración de varias áreas de la compañía para implementar la propuesta presentada en este trabajo, será relevante el liderazgo que desde la Alta Dirección se dé a la propuesta y el apoyo para llevar a cabo su implementación.
7. Es imprescindible implementar la medición de indicadores de gestión del mantenimiento para poder generar una mejora en el proceso y en el desempeño de los activos.

Propuesta de solución

Una vez reconocida la estrategia de mantenimiento actual aplicada a los sistemas de respaldo eléctrico como son las plantas eléctricas, se identifica la necesidad de establecer una mejora a la estrategia que implique la implementación de los siguientes componentes:

1. Plan de Mantenimiento Preventivo: las rutinas de inspección periódicas sumadas a tareas de revisión física y pruebas a los activos representan un esquema de prevención altamente efectivo en la medida que permite identificar aquellos componentes que no están operando adecuadamente o que por acumulación de horas de trabajo o tiempo de instalación deben ser reemplazados, ajustados o mantenidos de acuerdo a las indicaciones dadas por el fabricante del activo. Lo anterior, supone la implementación del Plan de Mantenimiento que se debe seguir, donde la rutina sugerida por el fabricante es la adecuada con los ajustes o mejoras que provengan de las decisiones que se tomen de

acuerdo a los resultados que se obtengan en cada visita de inspección o mantenimiento. En la Tabla 8 se muestra la guía según el manual del fabricante con algunos ajustes producto del análisis de esta investigación, para establecer intervalos de mantenimiento preventivo que incluye la Inspección (I), el Reemplazo (R) y se adiciona el Análisis (A) que corresponde a aquellas actividades de mantenimiento predictivo mencionadas en el numeral 2 de esta propuesta:

Tabla 8

Plan de Mantenimiento Sugerido – Ajuste al Propuesto por el Fabricante

RUTINA	PERIODICIDAD					
	D	S	M	A	100 h	300 h
Aceite Lubricante			I			A
Arranque						I
Batería			I	R (X2)	A	
Compresor de aire						I
Correas de transmisión			I		R	
Filtro de combustible						R
Filtro de lubricantes						R
Filtros de aire					I	R
Limpieza externa	I		I (X3)			
Líneas de combustible		I				
Refrigerante					A	I (X2)
Tanque de combustible		I		A		
Turbocargador			I (X6)			
Ventilador						I (X4)

Nota. Rutina de tareas de mantenimiento y periodicidad aplicables a las plantas eléctricas de la Empresa CCBP propuesta como solución ajustando la periodicidad.

Como se puede observar en la Tabla 9, son varias las actividades y tareas a realizar en una planta eléctrica de emergencia, cuya función primaria es crítica en casos de ausencia de energía por parte del proveedor del servicio eléctrico externo (operador de red Enel Colombia S.A. ESP). En la Tabla 9 se muestra el planteamiento realizado a modo de ejemplo del análisis para siete de los modos de falla identificados en Anexo 4 describiendo la rutina de mantenimiento sugerida para minimizar el riesgo de ocurrencia, así como el impacto en caso de materializarse.

Tabla 9

Extracto de Rutinas Sugeridas del Plan de Mantenimiento Preventivo Plantas Eléctricas Empresa CCBP

AMEF	EQUIPO /COMPONENTE	RUTINA DE MANTENIMIENTO	DESCRIPCION RUTINA
FRACTURA	EJE	Revisión del estado del motor eléctrico	Revisión de transversalidad lineal y revisión de temperatura
SOBRECALENTAMIENTO	Cojinetes	Verificar estado de cojinetes generador eléctrico	Detectar olores a quemado, oír si existen ruidos en el movimiento
SOBRE CORRIENTE Y TENSION	Embobinado	Revisión del estado del estator	Medición de voltaje en las terminales eléctricas de salida
CORTOCIRCUITO	Embobinado	Verificar corriente del estator a masa	Medir impedancia a tierra o entre fases
TERMINAL FLOJO	Bornes eléctricos	Verificar corriente y tensión del estator a la salida	Medición de valores con polímetro
CORROSION	Elementos metálicos y rotatorios	Revisión de corrosiones	Verificar humedad en el recinto del equipo u cercanías
FUGAS	Juntas de cierre	Fugas en sellos del motor impulsor	Verificar humedades o presencia de lubricantes en las juntas

Si se compara con lo realizado inicialmente como “mantenimiento” dista mucho en el detalle para al menos ser descrito como mantenimiento preventivo y mucho más como predictivo, cuyas actividades se centraban en acciones operativas y funcionales externas no invasivas del sistema y acciones correctivas superficiales sin análisis de causa raíz.

2. Plan de Mantenimiento Predictivo: la implementación de rutinas predictivas dentro del mantenimiento se convierte en una herramienta muy útil para el diagnóstico y prevención de fallas en los activos complementando así el Plan de Mantenimiento Preventivo. Dentro de las rutinas no invasivas sugeridas para implementar dentro del Plan se pueden considerar las siguientes pruebas:
 - a) Análisis de calidad del aceite: este permitirá mediante el análisis de los resultados obtenidos, establecer el estado actual del aceite y definir si requiere su reemplazo: así mismo, identificar posibles desgastes al interior del motor de acuerdo a la concentración de residuos metálicos encontrados en la muestra siendo esto, una herramienta que permita identificar una falla de forma

anticipada y de esa forma, tomar las medidas necesarias para evitar una falla funcional que afecte la continuidad del servicio.

- b) Pruebas de compresión del motor cuando se evidencie alguna situación como pérdida de potencia en el motor, cambio de la coloración del humo expulsado del motor, bajo consumo de combustible o aumento del consumo de aceite, problemas de arranque no asociado a batería o a la temperatura exterior, En cualquiera de estos casos, la prueba de compresión podrá determinar la condición del motor y tomar acciones que permitan mantener el desempeño o tomar acciones para mitigar el riesgo de llegarse a identificar alguna situación riesgosa relacionada con la compresión del motor.
- c) Análisis de refrigerante con refractómetro y densímetro permitirán establecer el nivel de degradación del refrigerante y con ello, determinar si requiere su reemplazo para mantener la calidad del mismo y asegurar las condiciones de intercambio de calor adecuados en el sistema de refrigeración del equipo.

La periodicidad con la cual se realice cada una de las pruebas mencionadas dependerá de la necesidad que se evidencie en cada equipo y de la disponibilidad de recursos económicos que dispongan dentro del presupuesto para mantenimiento.

- 3. El mantenimiento correctivo será utilizado como última medida de acuerdo al desempeño del equipo y las fallas que se puedan llegar a presentar como consecuencia de situaciones no contempladas o monitoreadas dentro de los planes de mantenimiento preventivo y predictivo sugeridos.
- 4. Evaluar la contratación de un proveedor especializado en plantas eléctricas que permita cubrir los activos bajo contrato de mantenimiento que permita llevar a cabo las rutinas establecidas dentro del plan de mantenimiento y que incluya la atención en modalidad 7x24 estableciendo ANS (Acuerdos de Nivel de Servicio) para asegurar la atención oportuna de incidentes y emergencias validando económicamente la inclusión de los insumos requeridos para el equipo y tarifas preferenciales para el suministro de repuestos.

Se debe considerar cubrir bajo este contrato a las tres plantas eléctricas del Edificio: General – Centro de Datos – Sistema RCI y contemplar todas las actividades producto del análisis AMEF dentro de las ejecutadas en el plan de mantenimiento. Dicho contrato deberá incluir dentro de los costos asociados al contrato, las pruebas y mediciones de compresión, densidad del electrolito y nivel de carga eléctrica de las baterías, los costos correspondiente a análisis de laboratorio para aceites y refrigerante y proceso de microfiltrado del combustible deben estar considerados dentro de los valores contractuales como una actividad a demanda que se autorizará su ejecución según se defina en el plan de trabajo y mantenimiento para cada equipo. Se recomienda que estos análisis estén contemplados e incluidos dentro del presupuesto anual de mantenimiento toda vez que forman parte integral de las actividades necesarias para dar cumplimiento al objetivo de detección predictiva de fallas potenciales.

5. Si bien está establecido que no se cuenta con un departamento de mantenimiento específico y dedicado a estas labores y que se mantendría la contratación bajo modalidad de outsourcing, se recomienda aprovechar el recurso humano disponible (auxiliar de servicios generales) quien estará en la capacidad de realizar los recorridos de inspección a los equipos e identificar condiciones anómalas y generar la alerta correspondiente luego de recibir la capacitación adecuada en la operación y mantenimiento básico de las plantas eléctricas; esto permitirá identificar en las rondas de inspección cualquier condición anormal que sea indicador de posible falla y así prevenir una posible falla funcional.

La Administración continuará con la gestión sobre el mantenimiento de los activos, pero un mayor conocimiento sobre el funcionamiento y operación permitirá mejorar la gestión, es por ello que se recomienda implementar un esquema de capacitación a todo el personal relacionado con la gestión y mantenimiento de los activos. El contenido y alcance de dicho plan de capacitación deberá ser analizado y definido por la Alta Dirección en conjunto con las áreas de Administración, Calidad y Recursos Humanos.

6. Aprovechar la interfase de comunicación CANBus J1939 con la que esta provista el módulo de control que permite recibir datos del motor desde los controles de motor CANBus para acceder a los

parámetros primarios de operación del motor tales como: velocidad del motor, presión de aceite y temperatura del motor, entre otros, y realizar el monitoreo vía web del equipo integrándolo a alguna plataforma tecnológica, para ello será necesario revisar la solución para conectar el puerto de comunicación RS-232 con el que cuentan las plantas eléctricas o el cambio de tarjeta de comunicación a una que permita el protocolo para comunicación TCP/IP.

7. Fomentar en el cliente la cultura del mantenimiento preventivo como herramienta para disminuir costos, aumentar la productividad y optimizar la disponibilidad. Para ello se propone realizar evaluaciones periódicas que permita evidenciar el rendimiento de los equipos y mostrar los ahorros obtenidos con la implementación del plan siendo este el eje para cambiar la percepción del mantenimiento como una inversión y no como un gasto.
8. Extender gradualmente la estrategia aplicada a las plantas eléctricas a los demás equipos críticos: UPS, bombas, ascensor. De esta forma, se podrá implementar de forma paulatina los cambios en la gestión del mantenimiento sin que el impacto sea muy fuerte y genere una alta carga laboral en el personal de Administración o las demás áreas de la empresa, así como un impacto económico por las inversiones que se deban realizar para su implementación.
9. Como última propuesta dentro de la solución planteada, pero no menos importante, se recomienda realizar un control documental que incluya:
 - a. Establecer formatos y procedimientos para realizar las labores de inspección y mantenimiento.
 - b. Establecer la taxonomía para todos los equipos críticos y con base en dicha identificación, establecer las prioridades en repuestos que se deben contemplar en cada caso.
 - c. Establecer acuerdos de servicio internos para mejorar los tiempos de respuesta en la atención de fallas y aumentar la satisfacción del cliente interno.

- d. Identificar las métricas y definir los indicadores que permitan controlar el desempeño de los activos y asegure la adecuada ejecución del plan de mantenimiento a los activos y los costos asociados a dicho plan.
- e. Como parte del proceso de calidad, se debe incluir la gestión del mantenimiento dentro de las Auditorías Internas que se realicen, esto permitirá identificar falencias que se puedan llegar a tener y brechas que deban ser solucionadas para la mejora continua del proceso.

Teniendo en cuenta el análisis AMEF realizado, se complementan las tareas tomando en cuenta que la responsabilidad de la ejecución recae directamente en los evaluadores de las mismas, tales como, el técnico *In-house* en sus rutas periódicas y la empresa contratista. Agregando los equipos y herramientas a utilizar más los insumos, duración de las mismas y la descripción de las actividades, como se muestra en el Anexo 5.

Impactos Esperados / Generados

Impactos esperados

El impacto de aplicar una metodología de mantenimiento en la economía dentro de una organización es decisivo. Aun cuando su implementación, estadísticamente considerable inicialmente y decreciente en el tiempo, en este caso enfocado en la indisponibilidad repentina por averías, acarreado pérdidas desastrosas y hasta irre recuperables. Las plantas eléctricas son el activo más crítico dentro de la organización como se consideró en el capítulo del análisis de la información.

En algunas ocasiones, antes o luego de realizar un mantenimiento preventivo, puede ocurrir que se detecten fallas en alguna de las plantas eléctricas con motor Diesel, por esto es conveniente analizar las posibles causas de la falla de modo tal se pueda hacer una planificación predictiva.

Se espera con la propuesta, de ponerse en práctica, un ahorro superior al 25% en el valor del rubro anual de mantenimiento para estas plantas debido a la disminución de la frecuencia ejecución de las rutinas sistemáticas de mantenimientos hasta un mínimo de una vez al año, conforme se describe en el

Programa de mantenimiento de la NFPA 110, 2019 [Ilustraciones A.8.3.1(a)] para plantas de tipo 1 como las estudiadas en este trabajo.

Con la implementación de la propuesta, se espera mejorar la disponibilidad y la confiabilidad de las plantas eléctricas durante un evento de alta concurrencia dentro del CCBP, para mitigar el riesgo de pérdidas por monto superior a los \$150 000 000 debido a la baja confiabilidad de los equipos, además de la afectación de la imagen organizacional con alcance mediático negativo a nivel internacional, la cual es incuantificable.

Se espera desarrollar el nivel de impacto a través de los indicadores de confiabilidad y disponibilidad en el desempeño de los equipos (MTBF-MTTR).

La minimización de residuos son acciones que conducen a la búsqueda de reducir la contaminación y más beneficios al medio ambiente. Principalmente implica reducir el consumo de materias primas y recursos renovables y no renovables y se refleja directamente en el balance económico de una empresa.

El impacto de apuntar a disminuir la frecuencia de ejecución de las rutinas incide directamente en el asunto medio ambiental al disminuir el uso y consumo de insumos que posteriormente van a desecho con sus consecuencias de disposición final.

Impactos alcanzados

En la Taxonomía, árbol o jerarquía de equipos se identifican y registran sistemáticamente los activos de la organización, ésta es la piedra angular para resolver dudas críticas en la resolución de problemas y las decisiones.

El impacto alcanzado fue encontrar debilidades en la aplicación de la rutina de mantenimiento específicamente el CMMS *Mantum*® donde se evidencia una fragmentación de los equipos de forma taxonómica hasta el quinto nivel según la norma ISO 14224, es decir a la identificación del equipo sin contar con los subniveles de componentes y elementos mantenibles si lo hubiere. Aun así, se realizó el ejercicio de identificar los componentes de las plantas eléctricas como se muestra en el Anexo 2.

Para determinar la criticidad y dar jerarquía a los activos ante una falla potencial de consideración, se realizó el análisis de criticidad respectivo y así establecer el impacto de indisponibilidad de estos activos ante la organización, su personal, medio ambiente, financiero entre otros.

Análisis Financiero

Para efectos del análisis financiero de la presente investigación, se contemplaran dos escenarios: el primero corresponde a estimar la relación costo – beneficio obtenida de implementarse la propuesta de mejora al plan de mantenimiento comparando los costos asociados a la ejecución de las rutinas de mantenimiento actual y la propuesta; el segundo estará enfocado a estimar la relación costo – beneficio y determinar el ROI viendo la operación de las plantas eléctricas desde el punto de vista de respaldo, es decir, asumiéndolo como un seguro que, de no contar con una alta disponibilidad y confiabilidad se dejarían de percibir beneficios económicos y se incurrirían en gastos adicionales que afectarían el desempeño económico de la empresa CCBP.

Evaluación Costo – Beneficio relacionado con el Plan de Mantenimiento Actual.

Como primera medida se deben determinar los costos asociados al mantenimiento según el plan actual, para ello se cuenta con la información consolidada del valor cancelado por concepto de contrato anual de mantenimiento pagado al contratista que realiza las rutinas al activo.

Las labores de mantenimiento al activo y considerando la política de tercerización del Empresa CCBP, es realizada a través de la empresa contratista *STEWART & STEVENSON de Colombia* bajo un esquema de mantenimiento preventivo sistémico realizado periódicamente cada dos meses, el costo asociado a dicho mantenimiento según contrato para el periodo 2021 ascendió a \$5 400 000 cada rutina pagaderos de forma bimestral, así mismo, los valores por insumos, repuestos y demás elementos asociados a los mantenimientos son los relacionados en la Tabla 10. Este mantenimiento incluye la mano de obra por atención de servicios preventivos y atención a emergencias y correctivos en modalidad 7x24x365.

En la Tabla 10, se presenta el detalle de los costos asociados al mantenimiento y operación de la planta eléctrica de respaldo en un periodo de un año y en la Tabla 11, el resumen total de los costos anuales por cada planta eléctrica.

Tabla 10

Costos discriminados anuales de mantenimiento plantas eléctricas 625 kVA / 500 kW – Periodo 2021

Concepto Egreso	Detalle Egreso	Unidad	Cantidad	Costo unitario (COP)	Costo unitario (COP)	Periodicidad ejecución (año)	Subtotal egreso (COP/Año)
Mano de obra	Personal técnico (contrato 7x24 y mantenimiento)	Cuadrilla	1	\$ 5.400.000	\$ 5.400.000	6	\$ 32.400.000
						COSTO DIRECTO	\$ 32.400.000
						IVA (19%)	\$ 6.156.000
						SUBTOTAL	\$ 38.556.000
Combustibles	Suministro de combustible	galón	200	\$ 10.850	\$ 2.170.000	2	\$ 4.340.000
						COSTO DIRECTO	\$ 4.340.000
						IVA (exento)	\$ -
						SUBTOTAL	\$ 4.340.000
Insumos mantenimiento	Aceite 15W40	galón	54	\$ 65.600	\$ 3.542.400	1	\$ 3.542.400
	Filtros de aceite, aire, combustible, refrigerante	unidad	2	\$ 500.100	\$ 1.000.200	1	\$ 1.000.200
	Baterías 950 Ah - 12 V	unidad	4	\$ 980.000	\$ 3.920.000	0,5	\$ 1.960.000
	Correas B14-50	unidad	8	\$ 23.500	\$ 188.000	1	\$ 188.000
	Refrigerante	galón	4	\$ 55.000	\$ 220.000	1	\$ 220.000
	Desengrasante	galón	1	\$ 55.000	\$ 55.000	1	\$ 55.000
	Insumos varios limpieza	global	1	\$ 45.000	\$ 45.000	1	\$ 45.000
						COSTO DIRECTO	\$ 7.010.600
						IVA (19%)	\$ 1.332.014
						SUBTOTAL	\$ 8.342.614
Otros egresos	Reparaciones varias (repuestos)	global	1	\$ 735.000	\$ 735.000	1	\$ 735.000
	Elementos de protección personal	global	2	\$ 160.000	\$ 320.000	1	\$ 320.000
	Diálisis combustible	global	1	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000	1	\$ 2.250.000
						COSTO DIRECTO	\$ 3.305.000
						IVA (19%)	\$ 627.950
						SUBTOTAL	\$ 3.932.950

Tabla 11

Resumen de costos totales anuales de mantenimiento plantas eléctricas 625 kVA / 500 kW – Periodo 2021

Concepto Egreso	Subtotal egreso (COP/Año)
Mano de obra	\$ 38.556.000
Combustibles	\$ 4.340.000
Insumos mantenimiento	\$ 8.342.614
Otros egresos	\$ 3.932.950
SUBTOTAL	\$ 55.171.564

En la Tabla 12 se relacionan los costos asociados a mantenimientos correctivos del equipo para el periodo 2021.

Tabla 12*Costos por Mantenimientos Correctivos a la Planta Eléctrica - Periodo 2021*

ITEM	CÓDIGO	EQUIPO	FECHA	TIPO MAN T	DESCRIPCIÓN	TTR (h)	VALOR SERVICIO / HORA	COSTO SERVICIO	COSTO REPUESTOS	SUBTOTAL
			2021-12-31		Tiempo de referencia fin de año					
1	BO10REPE1	PE1	2021-11-12 15:00	N	En Operación		\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
2	BO10REPE1	PE1	2021-11-12 13:00	P	Parado por Mantenimiento - Rutina	2,0	\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
3	BO10REPE1	PE1	2021-10-19 16:00	N	En Operación		\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
4	BO10REPE1	PE1	2021-10-19 09:00	C	Parado por Fallo - Fuga leve de aceite	7,0	\$ 180.000	\$ 1.260.000	\$ 4.365.000	\$ 5.625.000
5	BO10REPE1	PE1	2021-09-06 12:00	N	En Operación		\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
6	BO10REPE1	PE1	2021-09-06 10:00	P	Parado por Mantenimiento - Rutina	2,0	\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
7	BO10REPE1	PE1	2021-07-13 10:00	N	En Operación		\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
9	BO10REPE1	PE1	2021-07-13 08:00	P	Parado por Mantenimiento - Rutina	2,0	\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
10	BO10REPE1	PE1	2021-05-20 11:00	N	En Operación		\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
11	BO10REPE1	PE1	2021-05-20 08:00	P	Parado por Mantenimiento - Rutina	3,0	\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
12	BO10REPE1	PE1	2021-04-21 10:00	N	En Operación		\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
13	BO10REPE1	PE1	2021-04-21 09:00	C	Parado por Fallo - Corrección config	1,0	\$ 180.000	\$ 180.000	\$ 320.000	\$ 500.000
14	BO10REPE1	PE1	2021-03-30 18:00	N	En Operación		\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
15	BO10REPE1	PE1	2021-03-30 13:00	C	Parado por Mantenimiento - Cambio de	5,0	\$ 180.000	\$ 900.000	\$ 8.342.614	\$ 9.242.614
16	BO10REPE1	PE1	2021-03-03 14:00	N	En Operación		\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
17	BO10REPE1	PE1	2021-03-03 11:00	P	Parado por Mantenimiento - Rutina	3,0	\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
18	BO10REPE1	PE1	2021-01-15 13:00	N	En Operación		\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
19	BO10REPE1	PE1	2021-01-15 10:00	P	Parado por Mantenimiento - Rutina	3,0	\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
			2021-01-01	N	Tiempo de referencia inicio de año		\$ 180.000	\$ -	\$ -	\$ -
					Total Horas de paro no programado	13,00		Total repuestos 2021	\$13.027.614,00	
					Cantidad de fallas presentadas	3		Total Correctivos 2021		\$15.367.614,00

Nota. Los tipos de mantenimientos definidos son Preventivo (P), Correctivo (C) y Ninguno (N).

Totalizando los costos por contrato de mantenimiento de la Tabla 11 junto con los asociados por correctivos de la Tabla 12 se obtienen los valores correspondientes por concepto de mantenimiento para el activo durante el periodo 2021, lo cuales se relacionan en la Tabla 13:

Tabla 13*Costos Totales por Concepto de Mantenimiento a la Planta Eléctrica - Periodo 2021*

CONCEPTO	VALOR
Total Contrato 2021	\$ 55.171.564,00
Total Correctivos 2021	\$ 15.367.614,00
Total Mantenimientos Anual	\$ 70.539.178,00
Valor mensual	\$ 5.878.264,83

Teniendo en cuenta la propuesta de mejora al plan de mantenimiento, se estiman los costos asociados. Se contempla que la frecuencia de ejecución de las rutinas de mantenimiento preventivo se propone realizarlas trimestralmente, esto reduce en una rutina al año; de igual forma, se incluyen actividades de mantenimiento preventivo que permitirán evaluar el estado del aceite, del refrigerante y de las baterías de arranque de las plantas eléctricas. Basado en la premisa de bajo uso de las plantas

eléctricas dado el historial de fallas, se espera que la calidad del aceite y del refrigerante no se haya degradado, por lo tanto, se podría extender la vida útil de estos insumos en al menos la mitad del periodo definido por el fabricante para el cambio de aceite del equipo.

Lo anterior, significaría un ahorro en la compra de insumos para el equipo que impactaría positivamente en los costos de mantenimiento, una reducción en los tiempos muertos causados por mantenimiento preventivo que aumentaría la disponibilidad del equipo, así como su confiabilidad, reduciría el impacto ambiental por la reducción de desechos contaminantes a disponer y permitiría disponer de mayor tiempo para el personal técnico y administrativo que se pueden utilizar de forma más eficiente.

En la Tabla 14 se muestran los costos totales estimados por concepto de mantenimiento de implementar la propuesta al plan de mantenimiento según las actividades indicadas en la Tabla 7. Cabe anotar que consumibles como el combustible se tienen en cuenta para todos los escenarios planteados de frecuencia (hasta anual) toda vez que, la propuesta no afecta las horas de posible funcionamiento de las plantas, por ende, la disponibilidad de combustible para operar debe mantenerse.

Tabla 14

Costos Totales Estimados - Implementación de Propuesta de Mejora al Plan de Mantenimiento

CONCEPTO	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO				
	BIMESTRAL	TRIMESTRAL	CUATRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL
Valor anual contrato	\$ 38.556.000,00	\$ 25.704.000,00	\$ 19.278.000,00	\$ 12.852.000,00	\$ 6.426.000,00
Análisis de aceite		\$ 760.000,00	\$ 760.000,00	\$ 760.000,00	\$ 760.000,00
Combustible	\$ 4.340.000,00	\$ 4.340.000,00	\$ 4.340.000,00	\$ 4.340.000,00	\$ 4.340.000,00
Otros Egresos	\$ 3.932.950,00	\$ 3.932.950,00	\$ 3.932.950,00	\$ 3.932.950,00	\$ 3.932.950,00
Cambio de insumos	\$ 8.342.614,00	\$ 1.532.958,00	\$ 1.532.958,00	\$ 1.532.958,00	\$ 1.532.958,00
Correctivos	\$ 15.367.614,00	\$ 7.683.807,00	\$ 7.683.807,00	\$ 7.683.807,00	\$ 7.683.807,00
Total anual Mantto	\$ 70.539.178,00	\$ 43.953.715,00	\$ 37.527.715,00	\$ 31.101.715,00	\$ 24.675.715,00
Valor mensual	\$ 5.878.264,83	\$ 3.662.809,58	\$ 3.127.309,58	\$ 2.591.809,58	\$ 2.056.309,58
Porcentaje reducción comparado con Plan Actual	0%	38%	47%	56%	65%

Nota. La frecuencia definida para el cálculo de los valores incluidos en esta tabla se considera el actual (bimestral) y el propuesto inicial (trimestral), de igual forma se proponen: cuatrimestral, semestral y anual.

Como parte del análisis del costo beneficio, la estrategia actual de ejecución del mantenimiento (independiente de las tareas realizadas) tiene una frecuencia bimestral, que según el análisis no genera un retorno de la inversión a largo plazo toda vez que los valores recibidos por los diferentes conceptos son consumidos por el mismo contrato de mantenimiento preventivo y las labores correctivas realizadas. Al cambiar la frecuencia de ejecución a trimestral y acompañándola de tareas relacionadas con el mantenimiento predictivo, se refleja dicho cambio en el retorno aumentando considerablemente la rentabilidad económica que impacta directamente de forma positiva en el presupuesto de mantenimiento de la empresa CCBP.

Cálculo del Costo de Ciclo de Vida (CCV) del Activo Objeto de Estudio

Con el fin de realizar el cálculo del costo del ciclo de vida de la planta eléctrica, se tomará como base la Ecuación (5). (Murillo, 2021) a partir de la cual, se hará un desglose de cada uno de los valores que la componen y de esta forma, poder determinar el valor del CCV:

$$CCV = \sum_{t=0}^n CI + N(CO + CM + Cnd + CD) \quad (5)$$

donde:

- Costo de inversión (*CI*): considerados como *CAPEX*, son todos los costos en los cuales se incurre previo a la puesta en servicio del activo.
- Costo de operación (*CO*): considerados como *OPEX*, representa los costos directos en los cuales se incurre para lograr la operación normal y adecuado funcionamiento del equipo (combustibles, insumos y consumibles, recurso humano para operación, consumo interno de energía, entrenamiento, entre otros).
- Costo de mantenimiento (*CM*): incluye los costos asociados a las rutinas de mantenimientos, es decir: mantenimientos preventivos y predictivos (rutinarios o frecuente) y los mantenimientos no frecuentes (correctivos, inspecciones específicas, pruebas especializadas)
- Costos por baja confiabilidad o bajo desempeño (*Cnd*): hace relación a todos aquellos costos generados por paros no programados causados por desgaste del activo o la pérdida

de desempeño y que están relacionados con tiempos muertos, pérdida de producción, requerimientos no previstos.

- Costos por desincorporación (CD): son todos aquellos costos que se involucran por desmontaje o desincorporar un activo del sistema al que pertenece tales como: mano de obra, maquinaria y equipos, impacto que genera en la producción (cuando aplica), impacto ambiental, impuestos o pagos de acuerdo a leyes y reglamentos vigentes, entre otros.
- Factor de valor actual (N): tasa que se genera a partir de la interacción de la tasa de inflación y el número de años considerados para el activo.

De acuerdo a la información dada por el fabricante y conforme a las condiciones de instalación de la planta eléctrica, se estima que la vida útil del equipo es de **25 años** bajo condiciones de mantenibilidad adecuada y realizando las rutinas de mantenimiento y reemplazo de insumos conforme se define en el manual del fabricante teniendo en cuenta las cantidades, características y periodos de cambio para asegurar el adecuado funcionamiento del equipo.

Discriminación de los Costos

Costos Iniciales (CAPEX)

En la Tabla 15, se presenta el resumen de los costos asociados a la compra de las dos plantas eléctricas de respaldo de la Empresa CCBP. Se debe contemplar que el costo es unitario para el sistema paralelo ya que corresponden a dos activos de las mismas características, por ende, los costos calculados aplican a las dos.

Tabla 15*Resumen de costos de adquisición planta eléctrica 625 kVA / 500 kW en el año 2010*

Ítem	Descripción	Valor Parcial
1.0	Sistema de generación alterna mediante generadores diesel en paralelo para 500 kW / 625 kVA	\$ 227.972.703
2.0	Instalación de los equipos de generación	\$ 43.457.142
3.0	Sistema de insonorización de los equipos instalados	\$ 36.000.631
TOTAL COSTO DIRECTO		\$ 307.430.476
IVA (19%)		\$ 58.411.790
VALOR TOTAL		\$ 365.842.266

Costos de Operación, Mantenimiento, Descarte y Otros (OPEX)

Los costos de mantenimiento preventivo anual son los relacionados en la Tabla 10 y totalizados en la Tabla 11.

Costos por Baja Confiabilidad o Bajo Desempeño (Cnd)

Según el historial del activo, la planta eléctrica no ha generado fallas funcionales críticas que hayan afectado el normal funcionamiento del sistema eléctrico y las novedades que se han presentado han sido solucionadas durante las rutinas de mantenimiento programadas, sin embargo, debido al riesgo que representa una falla funcional de la planta eléctrica que la dejara indisponible o se diera una condición por la cual no entrara en funcionamiento durante una ausencia de la red eléctrica externa, podría generar unas pérdidas económicas estimadas relacionadas con los ingresos por concepto de uso del teatro que se encuentra al interior de la Empresa CCBP, del alquiler del espacio público durante los eventos y funciones y por los apremios asociados a incumplimientos de contratos de alquiler del teatro (puesto que impacta en los conceptos asociados a costos de pagos a los artistas, transporte y hospedaje, logística y alquiler de equipos) que pueden ascender hasta un 30% +/-5% de los valores de la boletería (información dada de forma verbal por el administrador del teatro y a cuyos valores específicos no se tuvo acceso).

Cabe anotar que, por el riesgo inherente mencionado, todos los eventos contratados cuentan con el respaldo de una póliza de cumplimiento que cubriría el 10% del valor del contrato para mitigar el impacto de los costos ocasionados de materializarse una falla funcional. Por otra parte, la materialización

de este riesgo tendría un impacto negativo en la imagen de la empresa CCBP que se convierte en un costo intangible, pero de alta repercusión para los intereses de la empresa.

El cálculo de los ingresos estimados por los conceptos anteriores y que, para efecto de cálculo se considerarían como costos en caso de materializarse una falla funcional se relacionan en las Tablas 16, 17 y 18.

Tabla 16

Costo Aforo Completo Teatro

Sillas por sala		Costo promedio unitario por silla según función	Valor subtotal por sala
Sala Principal	1300	\$ 90.000	\$ 117.000.000
Sala Alterna	330	\$ 90.000	\$ 29.700.000
TOTALES	1630		\$ 146.700.000

Lo anterior indica, que la planta eléctrica al ser un activo que está disponible para atender cualquier ausencia de tensión eléctrica externa, se convierte de forma directa en un seguro para atender el suministro eléctrico, visto desde el punto de vista económico, la disponibilidad de la planta eléctrica representa un valor que puede asumirse como ingreso en la medida que, de no tener el respaldo de la planta eléctrica cuando se presenten fallas de tensión, los valores asociados a aforo del teatro no serían posibles. Por lo tanto, si se toma el valor estimado del total del aforo de las dos salas y se tiene en cuenta que las funciones en general duran máximo dos horas por día, al dividir dicho valor entre los minutos de un día se puede estimar que el valor por minuto de disponibilidad de la planta eléctrica es equivalente a \$101 875; el cálculo de disponibilidad de la planta eléctrica se muestra en la Tabla 17 donde se realizó el estimado del ingreso por cada uno de los años históricos según el tiempo de falla indicado en la Tabla 16 frente al valor por minuto calculado.

Tabla 17*Cálculo de ingreso por disponibilidad planta eléctrica*

Año de uso	Año	Tiempo de operación (min)	Tiempo de operación (h)	Valor por minuto según aforo	Valor estimado disponibilidad
1	2010	380	6,33	\$ 69.779	\$ 26.515.961
2	2011	730	12,17	\$ 72.221	\$ 52.721.406
3	2012	480	8,00	\$ 74.749	\$ 35.879.445
4	2013	1040	17,33	\$ 77.365	\$ 80.459.654
5	2014	898	14,97	\$ 80.073	\$ 71.905.401
6	2015	498	8,30	\$ 82.875	\$ 41.271.938
7	2016	751	12,52	\$ 85.776	\$ 64.417.788
8	2017	896	14,93	\$ 88.778	\$ 79.545.247
9	2018	662	11,03	\$ 91.885	\$ 60.828.143
10	2019	923	15,38	\$ 95.101	\$ 87.778.595
11	2020	348	5,80	\$ 98.430	\$ 34.253.623
12	2021	459	7,65	\$ 101.875	\$ 46.760.625
13	2022	957	15,95	\$ 105.441	\$ 100.906.678
14	2023	957	15,95	\$ 109.131	\$ 104.438.412
15	2024	957	15,95	\$ 112.951	\$ 108.093.756
16	2025	957	15,95	\$ 116.904	\$ 111.877.038
17	2026	957	15,95	\$ 120.996	\$ 115.792.734
18	2027	957	15,95	\$ 125.230	\$ 119.845.480
19	2028	957	15,95	\$ 129.613	\$ 124.040.072
20	2029	957	15,95	\$ 134.150	\$ 128.381.474
21	2030	957	15,95	\$ 138.845	\$ 132.874.826
22	2031	957	15,95	\$ 143.705	\$ 137.525.445
23	2032	957	15,95	\$ 148.734	\$ 142.338.835
24	2033	957	15,95	\$ 153.940	\$ 147.320.694
25	2034	957	15,95	\$ 159.328	\$ 152.476.919

Por otra parte, dentro de los servicios ofrecidos por el Empresa CCBP se encuentra el arriendo temporal de espacio público para actividades o eventos esporádicos y que incluyen dentro de las condiciones el uso y disponibilidad de energía eléctrica, lo que representa un ingreso asociado al uso de la planta eléctrica definido por el Empresa CCBP en un valor porcentual del 12% del total de dicho ingreso que, para el año 2019 ascendió a \$50.000.000. En la Tabla 18 se relacionan los valores históricos desde el año 2010 a la fecha y el valor correspondiente asociado al activo.

Tabla 18*Histórico de Ingreso Adicionales por Concepto de Arriendo Temporal Espacio Público Empresa CCBP*

Año	Valor recibido	% asociado a planta eléctrica (12%)
2010	\$ -	\$ -
2011	\$ 68.000.000	\$ 8.160.000
2012	\$ 104.000.000	\$ 12.480.000
2013	\$ 147.000.000	\$ 17.640.000
2014	\$ 211.500.000	\$ 25.380.000
2015	\$ 115.000.000	\$ 13.800.000
2016	\$ 98.700.000	\$ 11.844.000
2017	\$ 134.000.000	\$ 16.080.000
2018	\$ 128.000.000	\$ 15.360.000
2019	\$ 150.000.000	\$ 18.000.000
2020	\$ 50.000.000	\$ 6.000.000
2021	\$ 15.000.000	\$ 1.800.000
Mediana 2011-2020	\$ 121.500.000	\$ 14.580.000

Nota. Ingresos adicionales recibidos por la Empresa CCBP durante el periodo comprendido entre los años 2010 a 2021 por concepto de arriendo de espacio público para eventos de terceros

Costos por desincorporación (CD)

De igual forma, el valor de salvamento según lo estimado por el fabricante para la disposición final del equipo está valuada en \$14.000.000; se debe contemplar que el retiro del equipo, la logística para el desmonte y traslado del activo y los desechos, así como la mano de obra para desmontar la infraestructura de la planta eléctrica puede ascender a un valor de \$12.748.000 según lo estimado por el proveedor de mantenimiento.

Cálculo de Retorno de la Inversión (ROI)

La planta eléctrica al formar parte esencial del sistema eléctrico de respaldo de la Empresa CCBP, opera de forma automática bajo condiciones de ausencia de tensión eléctrica suministrada por el operador de red Enel Colombia S.A. ESP, lo anterior, hace que para cuantificar el valor equivalente por la generación de energía suministrada de forma periódica por la planta, se realizó el cálculo tomando el valor totalizado por año en tiempo (horas) desde el año uno cuando se puso en operación la planta hasta el año veinticinco (fecha que se estima termina su vida útil) y se multiplico por el consumo promedio de la

Empresa CCBP (en kW) y ese resultado se multiplico por el valor cobrado por el operador de red correspondiente al kilovatio por hora (\$/kWh); Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19

Cálculo Histórico y Estimado de Generación de Energía por Soporte en Planta Eléctrica Empresa CCBP

Año de uso	Año	Tiempo de operación (min)	Tiempo de operación (h)	Consumo combustible (gl)	Carga promedio	Carga promedio generada (kWh)	Valor kWh	Total generado (\$/kWh)
1	2010	380	6,33	79	425	2691,7	\$ 296,5696	\$ 798.267
2	2011	730	12,17	152	426	5183,0	\$ 322,9437	\$ 1.673.817
3	2012	480	8,00	100	442	3536,0	\$ 349,3178	\$ 1.235.188
4	2013	1040	17,33	217	453	7852,0	\$ 375,6919	\$ 2.949.933
5	2014	898	14,97	187	437	6540,4	\$ 402,0660	\$ 2.629.686
6	2015	498	8,30	104	437	3627,1	\$ 428,4401	\$ 1.553.995
7	2016	751	12,52	156	446	5582,4	\$ 426,5609	\$ 2.381.248
8	2017	896	14,93	187	442	6600,5	\$ 478,0811	\$ 3.155.590
9	2018	662	11,03	138	447	4931,9	\$ 502,6982	\$ 2.479.257
10	2019	923	15,38	192	454	6984,0	\$ 496,1009	\$ 3.464.785
11	2020	348	5,80	73	439	2546,2	\$ 518,8642	\$ 1.321.132
12	2021	459	7,65	96	455	3480,8	\$ 576,7744	\$ 2.007.607
13	2022	957	15,95	199	493	7863,4	\$ 596,9615	\$ 4.694.117
14	2023	957	15,95	199	463	7384,9	\$ 617,8552	\$ 4.562.768
15	2024	957	15,95	199	477	7608,2	\$ 639,4801	\$ 4.865.260
16	2025	957	15,95	199	439	7002,1	\$ 661,8619	\$ 4.634.390
17	2026	957	15,95	199	437	6970,2	\$ 685,0271	\$ 4.774.741
18	2027	957	15,95	199	491	7831,5	\$ 709,0030	\$ 5.552.522
19	2028	957	15,95	199	485	7735,8	\$ 733,8181	\$ 5.676.633
20	2029	957	15,95	199	443	7065,9	\$ 759,5017	\$ 5.366.525
21	2030	957	15,95	199	483	7703,9	\$ 786,0843	\$ 6.055.876
22	2031	957	15,95	199	455	7257,3	\$ 813,5973	\$ 5.904.479
23	2032	957	15,95	199	480	7656,0	\$ 842,0732	\$ 6.446.912
24	2033	957	15,95	199	431	6874,5	\$ 871,5457	\$ 5.991.397
25	2034	957	15,95	199	483	7703,9	\$ 902,0498	\$ 6.949.256

Los índices de inflación o Índice de Precios al Consumidor (IPC) de los años en funcionamiento del activo, según el portal de Estadísticas Históricas de Colombia del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2022), el IPC del Estado para el periodo comprendido entre los años 2010 al 2020 se muestran en la Tabla 20. Para el cálculo del costo del ciclo de vida y teniendo en cuenta las proyecciones del DANE para el IPC del año 2022, se considerará un incremento estimado del 3,5% en la tasa de inflación que impactarán los costos de mano de obra, mantenimiento e insumos.

Tabla 20*Índices de Precio al Consumidor 2010-2020 - Fuente DANE*

Año	Variación anual (Ene a Dic)
2010	3,17%
2011	3,73%
2012	2,44%
2013	1,94%
2014	3,66%
2015	6,77%
2016	5,75%
2017	4,09%
2018	3,18%
2019	3,80%
2020	1,61%

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en las tablas anteriores, se realiza el cálculo del Costo del Ciclo de Vida para el activo según la Ecuación (5) utilizando las funciones de *MS Excel®* para determinar el valor correspondiente, los cálculos se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21*Cálculo estimado de flujo neto*

Periodo vida útil	Tasa inflación Tabla 17	INGRESOS			EGRESOS				Flujo Neto
		Energía generada Tabla 16	Valor estimado disponibilidad Tabla 14	% Arriendo temporal Tabla 15	Salario	Otros	Mantenimiento	Inversion Tabla 10	
0								\$ 365.842.266	-\$ 365.842.266
1	0,0317	\$ 798.267	\$ 26.515.961	\$ -	\$ 17.742.157	\$ 2.668.224	\$ 8.604.242		\$ 1.700.395
2	0,0373	\$ 1.673.817	\$ 52.721.406	\$ 8.160.000	\$ 18.379.100	\$ 2.764.013	\$ 8.913.134		\$ 32.498.976
3	0,0244	\$ 1.235.188	\$ 35.879.445	\$ 12.480.000	\$ 19.038.910	\$ 2.863.241	\$ 9.233.116		\$ 18.459.366
4	0,0194	\$ 2.949.933	\$ 80.459.654	\$ 17.640.000	\$ 19.722.407	\$ 2.966.032	\$ 9.564.585		\$ 68.796.564
5	0,0366	\$ 2.629.686	\$ 71.905.401	\$ 25.380.000	\$ 20.430.441	\$ 3.072.512	\$ 9.907.953		\$ 66.504.180
6	0,0677	\$ 1.553.995	\$ 41.271.938	\$ 13.800.000	\$ 21.163.894	\$ 3.182.815	\$ 10.263.649		\$ 22.015.576
7	0,0575	\$ 2.381.248	\$ 64.417.788	\$ 11.844.000	\$ 21.923.678	\$ 3.297.078	\$ 10.632.114		\$ 42.790.166
8	0,0409	\$ 3.155.590	\$ 79.545.247	\$ 16.080.000	\$ 22.710.738	\$ 3.415.443	\$ 11.013.807		\$ 61.640.849
9	0,0318	\$ 2.479.257	\$ 60.828.143	\$ 15.360.000	\$ 23.526.053	\$ 3.538.058	\$ 11.409.202		\$ 40.194.088
10	0,038	\$ 3.464.785	\$ 87.778.595	\$ 18.000.000	\$ 24.370.639	\$ 3.665.074	\$ 11.818.793		\$ 69.388.875
11	0,0161	\$ 1.321.132	\$ 34.253.623	\$ 6.000.000	\$ 25.296.723	\$ 3.796.650	\$ 12.243.087		\$ 238.295
12	0,0359	\$ 2.007.607	\$ 46.760.625	\$ 1.800.000	\$ 25.704.000	\$ 3.932.950	\$ 12.682.614		\$ 8.248.668
13	0,0359	\$ 4.694.117	\$ 100.906.678	\$ 15.103.422	\$ 26.626.774	\$ 4.074.143	\$ 13.137.920		\$ 76.865.381
14	0,0359	\$ 4.562.768	\$ 104.438.412	\$ 15.103.422	\$ 27.582.675	\$ 4.220.405	\$ 13.609.571		\$ 78.691.951
15	0,0359	\$ 4.865.260	\$ 108.093.756	\$ 15.103.422	\$ 28.572.893	\$ 4.371.917	\$ 14.098.155		\$ 81.019.474
16	0,0359	\$ 4.634.390	\$ 111.877.038	\$ 15.103.422	\$ 29.598.660	\$ 4.528.869	\$ 14.604.279		\$ 82.883.043
17	0,0359	\$ 4.774.741	\$ 115.792.734	\$ 15.103.422	\$ 30.661.252	\$ 4.691.455	\$ 15.128.572		\$ 85.189.618
18	0,0359	\$ 5.552.522	\$ 119.845.480	\$ 15.103.422	\$ 31.761.990	\$ 4.859.879	\$ 15.671.688		\$ 88.207.866
19	0,0359	\$ 5.676.633	\$ 124.040.072	\$ 15.103.422	\$ 32.902.246	\$ 5.034.348	\$ 16.234.301		\$ 90.649.231
20	0,0359	\$ 5.366.525	\$ 128.381.474	\$ 15.103.422	\$ 34.083.437	\$ 5.215.081	\$ 16.817.113		\$ 92.735.791
21	0,0359	\$ 6.055.876	\$ 132.874.826	\$ 15.103.422	\$ 35.307.032	\$ 5.402.303	\$ 17.420.847		\$ 95.903.941
22	0,0359	\$ 5.904.479	\$ 137.525.445	\$ 15.103.422	\$ 36.574.554	\$ 5.596.245	\$ 18.046.256		\$ 98.316.290
23	0,0359	\$ 6.446.912	\$ 142.338.835	\$ 15.103.422	\$ 37.887.581	\$ 5.797.151	\$ 18.694.116		\$ 101.510.321
24	0,0359	\$ 5.991.397	\$ 147.320.694	\$ 15.103.422	\$ 39.247.745	\$ 6.005.268	\$ 19.365.235		\$ 103.797.265
25	0,0359	\$ 6.949.256	\$ 152.476.919	\$ 15.103.422	\$ 40.656.739	\$ 6.220.858	\$ 20.060.447		\$ 107.591.554

El Valor Presente Neto (VPN) anual se obtiene mediante la función Excel VNA, utilizando los datos de tasa efectiva anual, el flujo neto completo en términos anuales y la inversión inicial del activo.

Para hallar la rentabilidad del equipo se aplica la función ROI, tanto en valor (COP) como en porcentaje, en la Tabla 22 se realiza un comparativo de los valores de VPN y ROI (tanto en pesos como en porcentaje) para diferentes escenarios en los cuales la frecuencia de ejecución de mantenimiento cambia en razón a la propuesta de mantenimiento planteada en esta investigación. Se parte de la frecuencia de mantenimiento establecida para 2021 y se propone hacer ajustes para ejecutarla de forma trimestral para aumentar el tiempo entre rutina y rutina e ir incrementando dicho tiempo de forma gradual hasta llevarla a una meta objetivo sugerida de una rutina anual, lo anterior, bajo la premisa que debe irse monitoreando el desempeño del activo y evaluar si es viable el ajuste de dicha periodicidad en la medida que la nueva estrategia de mantenimiento sea efectiva.

Tabla 22

Estimación del VPN y ROI según Frecuencia de Mantenimiento al Activo

	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO				
	BIMESTRAL	TRIMESTRAL	CUATRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL
VPN Anual	\$ 366.518.616	\$ 578.573.891	\$ 684.601.528	\$ 790.629.165	\$ 896.656.803
ROI (pesos)	\$ 1,00	\$ 1,58	\$ 1,87	\$ 2,16	\$ 2,45
ROI (%)	0,185%	58,148%	87,130%	116,112%	145,094%

Dado los valores obtenidos, el análisis inicial indica que con una inversión de \$365 842 266 y con una frecuencia de mantenimiento bimestral (como se viene realizando) arroja un VPN de \$366 518 616 y el Retorno de Inversión (ROI) es casi nulo (0.185%), lo que se interpreta que por cada peso invertido se tiene un retorno de COP \$ 0.185, que representa una muy baja rentabilidad.

Al realizar el ajuste de la frecuencia de mantenimiento a trimestral, los valores calculados mejoran considerablemente y ya el VPN pasa a \$578 573 891 y el ROI a 1.58%, lo que significa que con solo este ajuste se logra una mejor rentabilidad dada la baja inversión realizada en el activo siempre y cuando se asegure una alta disponibilidad y confiabilidad del activo.

Presupuesto Anual de Mantenimiento del Activo Objeto de Estudio**Tabla 23***Presupuesto 2021 (Causación) asociado a la Gestión de Mantenimiento de Plantas Eléctricas Empresa**CCBP*

Sistema	Equipo / Instalación	Actividades	TOTAL AÑO 2021 (miles)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	EJECUT	SALD	PORCENTUAL EJECUTADO
Sistema de Generación	Planta generadora	Mantenimiento preventivo rutinario (inspecciones)	\$ 2,184,100							\$ 2,234,706	\$ 744,902					\$ 2,979,608	\$ 1,388,592	68.21%
		Mantenimiento anual (Cambio de filtros de aire, aceite y combustible; cambio de aceite, etc.)	\$ 1,500,000								\$ 2,851,990					\$ 2,851,990	\$ 148,010	95.07%
	Tanque de ACPM (1000 m3)	lavado de tanque ACPM	\$ 3,500,000						\$ 654,500							\$ 654,500	\$ 2,845,500	18.70%
	Tanque de ACPM (1000 m3)	Compra ACPM	\$ 1,800,000													\$ 0	\$ 1,800,000	0.00%

Conclusiones y Recomendaciones**Conclusiones**

La propuesta de un plan de mantenimiento más eficiente, mejorando confiabilidad y disminuyendo costos, se traduciría en un impacto positivo en la calidad del servicio, confiabilidad, medio ambiente y financiero. De igual forma, reducirá las debilidades y potenciará las fortalezas de la rutina de mantenimiento actual del fabricante, disminuirá los mantenimientos correctivos y sus tiempos (es decir, a mayor tiempo que se aplique por mantenimiento menor el índice de confiabilidad). Todo esto conllevaría a un aumento de la buena percepción y satisfacción del cliente interno facilitando a corto y mediano plazo la integración y compromisos entre áreas operativas.

Se detectaron las debilidades y fortalezas de la rutina de mantenimiento del fabricante, a través de las herramientas de análisis RCM y se cuantificaron las inversiones a los activos, para lograr esto, se identificó que la información histórica es clave para obtener un mejor análisis de criticidad que permita una mejor toma de decisiones.

Se realizó el análisis de criticidad a los activos de la empresa CCBP, determinándose que los activos más críticos sean las Bombas de agua potable, Las fuentes UPS y las plantas eléctricas, cuyo puntaje establecido de criticidad fue el mayor.

Se realizó el análisis bajo la metodología RCM permitiendo establecer la criticidad de los activos y así, priorizar los puntos clave en los cuales se debe realizar una intervención inmediata que genere un impacto positivo, esto conlleva a mejorar la eficiencia operativa. Determinando acciones correctivas y de mejora tanto en taxonomía y rutas de trabajo (tareas diarias) en el mantenimiento actual, con enfoque a tareas operativas de mantenimiento rutinario enfocadas a la predictibilidad de las fallas potenciales y, por ende, menos paros por mantenimiento preventivo que mejore el indicador de *confiabilidad* sin desmejorar el de *disponibilidad*.

Se reconoce la necesidad de implementar un plan de mantenimiento que mitigue el alto nivel de mantenimientos correctivos presentados a la fecha en los activos.

Las condiciones actuales de desempeño de los activos no es el adecuado para un sistema de respaldo eléctrico toda vez que se requiere una alta disponibilidad y confiabilidad en los activos que asegure la continuidad del servicio en los escenarios de ausencia de tensión eléctrica externa.

El análisis de criticidad permite la toma de decisiones basado en información alineada a la realidad de un sistema y datos históricos del comportamiento del mismo.

El impacto esperado luego de la implementación de la propuesta estará relacionado con reducción de las fallas presentadas en los equipos, lo que aumentará la confiabilidad y disponibilidad de los activos

Se puede obtener una disminución de los costos asociados al mantenimiento de estos activos aplicando el Plan propuesto, los recursos que se ahorren del presupuesto anual de mantenimiento pueden

aprovecharse de mejor forma impactando otros activos o fortaleciendo el proceso de capacitación del personal.

Buscar la alta disponibilidad de los activos y la confiabilidad debe ser uno de los objetivos prioritarios a corto plazo del área de mantenimiento con el respaldo permanente de la Alta Dirección.

La percepción del cliente interno y su satisfacción serán relevantes en la mejora de las relaciones entre áreas facilitando la integración de las mismas al evidenciar el impacto que esto genera en la ejecución y continuidad del trabajo.

Recomendaciones

Realizar el análisis bajo la metodología RCM permite establecer la criticidad de los activos y así, priorizar los puntos clave en los cuales se debe realizar una intervención inmediata que genere un impacto positivo.

La cantidad de fallas de los activos objeto de análisis han impactado negativamente en el desempeño total del sistema eléctrico al ser estos, parte primordial del sistema de respaldo eléctrico del Edificio.

Se evidencia la necesidad de aumentar la base de conocimiento específico en los activos por parte de todo el personal que está relacionado con la gestión del mantenimiento.

De continuar las actividades de mantenimiento no optimizado se está dando cabida a la posibilidad de daños prematuros de los activos y riesgo de accidentes con lesiones y muerte de personal relacionado, con perjuicios operativos permanentes y financieros por gastos de reposición, pérdidas por lucro cesante (estimado el valor de la hora de producción o servicios), entre otros, que pueden conllevar a la ruina de la organización.

La implementación de rutinas de mantenimiento preventivas y predictivas permiten detectar de forma temprana los modos de falla más recurrentes en los equipos, de igual forma, identificar aquellos actos inseguros y acciones que lleven a establecer controles para evitar fallos por causa de errores humanos durante el desarrollo de las tareas de mantenimiento.

Se requiere la integración de varias áreas de la compañía para implementar la propuesta presentada en este trabajo, será relevante el liderazgo que desde la Alta Dirección se dé a la propuesta y el apoyo para llevar a cabo su implementación.

Referencias Bibliográficas

- Arata, A., & Funaletto, L. (2005). *Manual de gestión de activos y mantenimiento*. RIL editores. Chile
- Calva, M. V. M., CEMA, C., Canovas, D., & DE CEMA, D. G. (2017). *Análisis de modo y efecto de falla*. Centro de excelencia médica en altura (CEMA). México
- Fernández, F. J. G. (2014). *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión* (2a. edición). Ediciones de la U. España
- Grupo CASTEL. (2021). *Mantenimiento predictivo de motores y generadores*. CASTEL Total Service, 3. España
- Ingason, H. T. (2020). *Quality Management: A project management perspective*. Routledge Ed. Londres
- Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control* (1a. edición). Alfaomega Grupo Editor. S.A. de C.V. México
- Pirani. (2020). *eBook: Guía para realizar la evaluación de riesgos. Guía para realizar la evaluación de riesgos*. Recuperado de <https://www.piranirisk.com/es/academia/especiales/guia-para-realizar-la-evaluacion-del-riesgo>
- Silva, A. A. (2011). *Mantenimiento preventivo de una planta eléctrica de emergencia con motor Diesel* (Colegio de Ingenieros de Venezuela). Venezuela.
- Torres, L. (2015). *Gestión integral de activos físicos y mantenimiento*. Alfaomega.
- Tavares, L. (2011). *Gestión de activos para el mantenimiento*. Mantenimiento mundial.

Referencias

- Álvarez Romero, Y., & Hurtado Avella, S. (2021). *Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte del sistema eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella sede colina*. Recuperado de <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/866>

Benítez, Y. (2020). *Evaluación de los impactos generados por mantenimiento y su optimización a partir del modelo de economía circular, enfocado en plantas de producción de bebidas UHT (Ultra High Temperature)*. Recuperado de

<https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/738>

Cala Arias, L. M., & Hernández Rodríguez, L. V. (2018). Diseño de un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) caso de estudio: sistema eléctrico en los activos inmobiliarios de Terranum. Recuperado de

<https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/2504>

Calderón, G. (2021). Desarrollo de una política de mantenimiento para equipos de misión crítica en empresas de servicios IT. Recuperado de

<https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/2314>

Cerquera Valderrama, C. J., & Barrantes Malagón, J. A. (2016). Gestión de activos enfocado hacia la confiabilidad o determinación del TPEF (tiempo promedio entre fallas en equipos y/o sistemas). Recuperado de

<https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/305/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1>

Clemenza, B. (2021). *Estrategia y Filosofía de Mantenimiento—Predictiva 21*. Revista Digital Predictiva 21. Recuperado de <https://predictiva21.com/filosofia-de-mantenimiento/>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2022). *IPC Información técnica*.

Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/ipc-informacion-tecnica>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). (2020). *Código Eléctrico Colombiano -NTC 2050*. Segunda actualización

Fajardo Arévalo, S. A. (2018). *Propuesta para la implementación de estrategias de mantenimiento a equipos y herramientas de los centros de servicio y servicios in-house de la empresa Automundial S.A.* [ECCI]. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/2738>

- Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., & Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Editorial McGraw Hill. México
- Fernández, F. J. G. (2014). *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión*. FC editorial.
- Garavito, M. (2018) *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para flota de generadores Empresa Generación y Sistemas S.P.A. (Gensys)*. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11673/45813>
- Gil López, L. A., & Peñaloza Godoy, M. C. (2014). *Mejora en el procedimiento de recolección del aceite usado para minimizar el impacto ambiental generado en el área de lubricación de la empresa Multiservicio Automotor S.A.S*. Recuperado de <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1797>
- Gordillo, J. H., Urián, M. A. (2021). *Propuesta de un modelo para evaluar la implementación de mantenimiento preventivo (caso estudio metodología 8 pasos)*. ECCI. Recuperado de <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/2394>
- Grajales, D. H. M., Candelario, M. P., & Sánchez, Y. O. (2006). *La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento*. Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et technica*, 1(30), 155-160.
- Jiménez Marrugo, B., & Vanegas Puello, R. (2003). *Mantenimiento correctivo, preventivo, y predictivo de los bancos de motores de inducción y síncronos del laboratorio de máquinas eléctricas de la C.U.T.B. Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar*. Recuperado de <http://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0019036.pdf>
- Krupitzer, C., Wagenhals, T., Marwin, Z., Lesch, V., Schäfer, D., Mozaffarin, A., Edinger, J., Becker, C., & Kounev, S. (s. f.). *Una encuesta sobre mantenimiento predictivo para la Industria 4.0 (A Survey on Predictive Maintenance for Industry 4.0)* (p. 16). *A Survey on Predictive Maintenance for Industry 4.0*. Cornell University. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2002.08224>

- Martínez Triana, D., & Rodríguez, C. A. (s. f.) *Determinación de la viabilidad técnico-económica de la utilización de aceite usado como fuente primaria de energía en plantas de generación eléctrica*. Universidad de La Salle. Colombia.
- Meza Manco, S. Y., & Galarza Pira, F. *Propuesta para la aplicación de PMO al plan de mantenimiento de la turbina de gas de la empresa Air Liquide Colombia (ALCO)*. Recuperado de <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/856>
- Mora, D. F., & Mendoza, H. (2015). *Propuesta de un modelo de gestión integral de mantenimiento para los equipos del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) Centro de Tecnologías del Transporte (CTT)*.
- Moreno, R. (2019). *Desarrollo de un plan de mantenimiento enfocado a la condición física de edificaciones, caso edificio Giordano Bruno*. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/20844>
- Murillo, F. (Docente). (2021). *ECCI: Seminario de Gerencia financiera*. [Sesión 9]. Colombia: Apuntes de clase.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2018)
- Neira, J. G. I., & Velásquez, M. D. R. P. (2017). *Aplicación de las metodologías 8D y AMFE para reducir fallos en una fábrica de refrigeradoras*. Revista Industrial Data. Recuperado de <https://www.redalyc.org/revista.oa?id=816>
- Ramírez, M. A. (2015). *Análisis del histórico de una flota de vehículos de transporte de pasajeros y minimización de fallas a través de la aplicación de mantenimiento predictivo*. Asociación Colombiana de Ingenieros (ACIEM).
- Reliabilityweb. (s.f.). *El Cálculo de la Confiabilidad*. <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-calculo-de-la-confiabilidad>.
- Riera Romero, R. S., & Espinoza Bustos, M. A. (2013). *Evaluación de confiabilidad en las unidades generadoras de CELEC EP - Hidropaute (Mazar & Molino) utilizando el método de simulación de Montecarlo*. Universidad politécnica salesiana. Ecuador

- Riesenberger, C. A., & Sousa, S. D. (2010). *The 8D Methodology: An Effective Way to Reduce Recurrence of Customer Complaints?* World Congress on Engineering (WCE).
- Romero-Guarín, A., & Soler-Rodríguez, L. V. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica*. Universidad Católica de Colombia.
- Rodríguez Florián, J. L. (2019). *Diseño Del Plan De Mantenimiento Basado En Ingeniería De Confiabilidad Y Análisis Ram, Para Plantas Eléctricas De Emergencia Atendidas Por La Empresa Wes Importaciones*. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/15853>
- Stanford, M. (2019). *NFPA 110 Type 10 Requirements for emergency Power Systems. Webinar*. Recuperado de https://www.cummins.com/sites/default/files/2019-03/PowerHour_NFPA110.pdf
- Villanueva, G. A., Naranjo, A. F., & Jerez Romero, E. (2021). *Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento de los activos de una compañía certificadoras de productos y servicios*. Recuperado de <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1025>
- Wilfrido Massieu. (2008). *Mantenimiento a generadores eléctricos*. Instituto Politécnico Nacional. México

Anexos

1. Respuesta Carta solicitud trabajo de grado

18/5/22, 19:00

Correo: Carlos Alberto Zaidman Dominguez – Outlook

RV: Carlos Zaidman - Especialización ECCI: Carta solicitud autorización de proyecto

From: Carlos Alberto Zaidman Dominguez <cazaidman@univap.edu.co>

Mar 16/11/2021 12:25 PM

Para: Carlos Alberto Zaidman Dominguez <cazaidman@univap.edu.co> | Cesar Augusto Gomez Gaitanero <cesargomez@univap.edu.co>

CC: | Juan Eduardo Guavados Uscocha <Administrador@univap.edu.co> | Mauricio Maldonado Valbuena <mauriciovalbuena@univap.edu.co>

Buenos días Carlos,

Hemos revisado tu solicitud y estamos de acuerdo con la misma, sin embargo, es importante aclarar que la **confidencialidad debe ser absoluta y en ningún momento se debe hacer referencia a UNIVAP o a la propiedad a estudiar en los documentos que generes, en ese sentido veo que la solicitud de la universidad referencia el trabajo con "Sistema de gestión de mantenimiento", este debe cambiar ya que es muy obvio, si buscas en Google por este nombre inmediatamente lo relaciona con el "univap" así que por favor modificalo para mantener la confidencialidad mencionada,**

Por otra parte es importante que los resultados sean compartidos con (área de ingeniería, tu jefe directo y eventualmente alguna persona) también puede solicitar una presentación de los resultados hallados, y que de ahí salgan iniciativas aplicables de mejora,

@Cesar como líder de ingeniería y de acuerdo a nuestra conversación, es importante que estes al tanto de esta investigación.

Saludos,

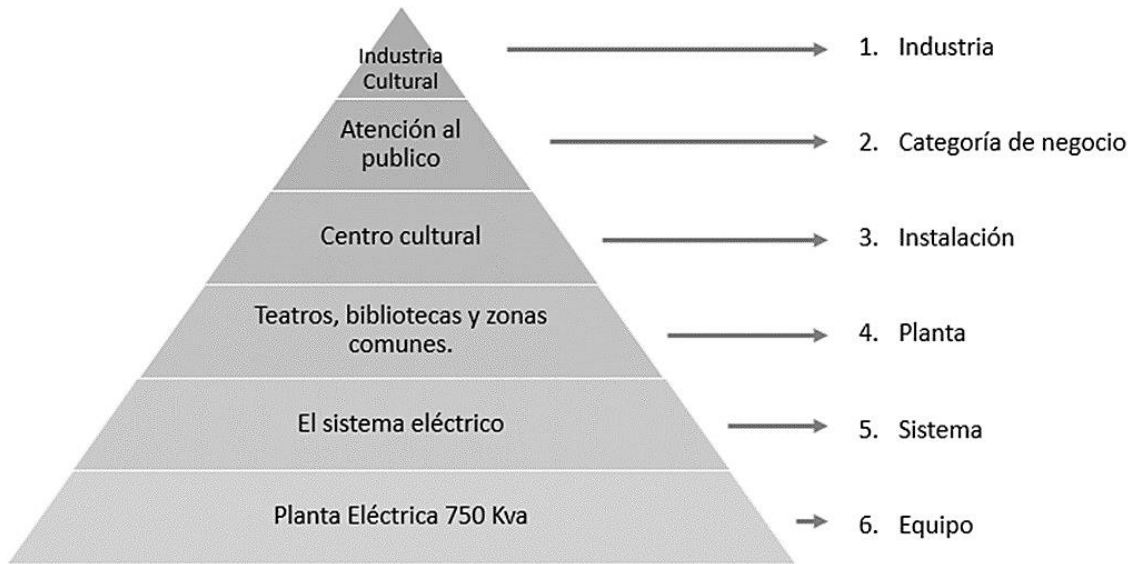


Anexo 2

TAXONOMÍA DE ACTIVO SELECCIONADO: PLANTA ELÉCTRICA 625 KVA

En la siguiente figura y tabla, se encontrará la descripción taxonómica del proyecto de acuerdo a la norma ISO 14224 (2016), se relaciona la identificación única que servirá para cada equipo en la herramienta CMMS *Mantum*®, e identifica datos esenciales del equipo estudiado. Para el inmueble, en la siguiente figura se establece una jerarquía en forma de pirámide según las características de la organización y en la base se desarrolla dónde y cómo se encuentra ubicado el equipo taxonómicamente. Este tipo de código es único para cada equipo por lo cual ante una sustitución de un equipo el código del nuevo equipo debe ser diferente.

Pirámide taxonómica



Nota: Elaboración de los autores.

TAXONOMÍA DE ACTIVO SELECCIONADO: PLANTA ELÉCTRICA 625 KVA

CIUDAD	CÓD	EDIFICIO	CÓD	PISO	CÓD	SISTEMA	CÓD	EQUIPO	CÓD	IDENTIFICACIÓN
Bogotá	BO	Principal	1	Sótano	0	Respaldo Eléctrico	RE	Planta Eléctrica 750 KVA	PE1	BO10REPE1

EQUIPO	CÓD	IDENTIFICACIÓN	SUB-SISTEMA	CÓD	COMPONENTE	CÓD	IDENTIFICACIÓN
Planta Eléctrica 750 KVA	PE1	BO10REPE1	Generador Eléctrico	GE	Estator	EST	BO10REPE1_GEEST
					Rotor	ROT	BO10REPE1_GEROT
					Eje	EJE	BO10REPE1_GEEJE
					Escobillas	EC1	BO10REPE1_GEEC1
					Bornera de conexiones	BOR	BO10REPE1_GEBOR
					Breaker de protección Salida	BRK	BO10REPE1_GEBRK
			Arranque	AR	Baterías 12V 95 Ah	BAT	BO10REPE1_ARBAT
					Motor de arranque	MTA	BO10REPE1_ARMTA
					Cableado baterías	CAB	BO10REPE1_ARCAB
					Cargador de baterías 12V	CBT	BO10REPE1_ARCBT
					Alternador BA12VSF	ALT	BO10REPE1_ARALT
					Escobillas ref. W4A25	EC2	BO10REPE1_ARC2
					Fusible corto vidrio 2A 12V 5mmx20mm	FU1	BO10REPE1_ARFU1
					Escobillas carbon (6,5x7,5x12mm)	EC3	BO10REPE1_ARC3
			Combustible	DI	Correa altemador 5PK1920	CO1	BO10REPE1_ARCO1
					Tanque extemo	TEX	BO10REPE1_DITEX
					Sistema Trasiiego	TRS	BO10REPE1_DITRS
					Inyectores	INY	BO10REPE1_DIINY
					Bomba combustible	BBC	BO10REPE1_DIBBC
			Control	CO	Manguera lona CV3F12 5/16"	MG1	BO10REPE1_DIMG1
					Tarjeta AVR	AVR	BO10REPE1_COAVR
					tarjeta Comunicación ModBus TCP/IP	COM	BO10REPE1_COCOM
			Sensorica	SE	Display HMI	HMI	BO10REPE1_COHMI
					Sensor presión	SPS	BO10REPE1_SESPS
					Sensor temperatura	STP	BO10REPE1_SESTP
					Sensor nivel de refrigerante	SNR	BO10REPE1_SESNR
					Sensor nivel de combustible	SNC	BO10REPE1_SESNC
			Enfriamiento	EF	Tacómetro	SVE	BO10REPE1_SESVE
					Transformador de corriente	SCT	BO10REPE1_SESCT
					Aspas ventilador	ASP	BO10REPE1_EFASP
					Correa distribución	CO2	BO10REPE1_EFOO2
					Manguera Blue Stripe 1" 4230SB	MG2	BO10REPE1_EFMG2
					Radiador	RAD	BO10REPE1_EFRAD
			Filtrado	FI	Líquido Refrigerante	REF	BO10REPE1_EFREF
					Tapa radiador	TRD	BO10REPE1_EFTRD
					Filtro combustible	FLC	BO10REPE1_FIFLC
					Filtro aire	FLW	BO10REPE1_FIFLW
			Precalentamiento	PR	Filtro aceite	FLO	BO10REPE1_FIFLO
					Filtro refrigerante	FLR	BO10REPE1_FIFLR
					Bomba refrigerante	BBR	BO10REPE1_PRBBR
					Resistencia eléctrica	REL	BO10REPE1_PPREL
					Manguera Blue Stripe 1" 4230SB	MG3	BO10REPE1_PRMG3
Alimentación eléctrica externa	AE	Contactora	CTT	BO10REPE1_PRCTT			
		Circuito precalentador	CPR	BO10REPE1_AECPR			
Mecánico	ME	Circuito cargador baterías	CCB	BO10REPE1_AECCB			
		Mogollas de amortiguamiento	MOG	BO10REPE1_MEMOG			
Expulsión de gases	EG	Guardas aspas radiador	GRD	BO10REPE1_MEGRD			
		Exhosto	EXH	BO10REPE1_EGEXH			
		Silenciador	SIL	BO10REPE1_EGSIL			
		Absorbedor de vibración	AVB	BO10REPE1_EGAVB			
					Recubrimiento térmico	RTR	BO10REPE1_EGRTR

PROPUESTA DE MEJORA RCM AL PLAN DE MANTENIMIENTO

Anexo 3 CLASIFICACIÓN DE CATEGORÍAS ANÁLISIS DE CRITICIDAD

TIPO	PARTES INTERESADAS	ECONÓMICO	MEDIO AMBIENTAL	CLIENTES	IMAGEN	CONCEPTUAL	FRECUENCIA
5	Socios y accionistas, Personal gerencial, Proveedores Logísticos y de Producción, Usuarios del Edificio XYZ, Áreas de la Edificación	Impacto > \$60.440.001	Riesgo Biológico (Contagios Virus - Disposición elementos de bioseguridad)	Afectados > 1201	La materialización del riesgo afecta la imagen de la Edificación externamente con clientes, usuarios y proveedores. Se genera un efecto publicitario negativo con alcance amplio	Alto	9 - 10 E Frecuente
4	Socios y accionistas, Personal de Producción, Proveedores Logísticos y de Producción nacionales, Usuarios del Edificio XYZ, Áreas de la Edificación	\$60.440.000 > Impacto > \$45.330.001	Contaminación Auditiva (Superar los deciveles permitidos en la empresa de acuerdo al sector y actividad laboral)	901 - 1200	La materialización del riesgo afecta la imagen de la Edificación externamente. Se genera un efecto publicitario negativo con alcance a nivel nacional	Medio Alto	7 - 8 D Ocasional
3	Socios y accionistas, Personal de Producción, Proveedores Logísticos y de Producción local, Usuarios del Edificio XYZ, Áreas de la Edificación	\$45.330.000 > Impacto > \$30.220.001	Consumo de Energía y agua potable (Mantenimiento y ejecución de planes de acción para controlar los consumos dentro de las instalaciones)	601 - 900	La materialización del riesgo afecta la imagen de la Edificación externamente con algunos usuarios de relevancia o proveedores. Se genera un efecto publicitario negativo con alcance a nivel local (ciudad)	Medio	5 - 6 C Probable
2	Socios y accionistas, Personal de Producción, Áreas de la Edificación	\$30.220.000 > Impacto > \$15.110.001	Disposición Residuos (Identificación de puntos ecológicos para la separación adecuada de los residuos)	301 - 600	La materialización del riesgo afecta la imagen de la Edificación internamente. Es de conocimiento general a nivel interno de áreas, de junta directiva y/o accionistas	Medio Bajo	3 - 4 B Remoto
1	Personal Operativo,	\$15.110.000 > Impacto > \$1	Medición huella de carbono (Control y efectividad de las campañas para tener un estándar de funcionamiento)	1 - 300	La materialización del riesgo afecta la imagen de alguna área de la Edificación sin que sea de conocimiento de las demás áreas de la Edificación.	Bajo	0-2 A Improbable
0	Evento aislado que solo afecta a menos de 3 personas del personal operativo.	\$0	Socializar y concientizar a los asistentes de cada uno de las actividades para contribuir a la sostenibilidad y funcionamiento de la Edificación.	0	La materialización del riesgo no afecta ninguna área de la Edificación ni es de conocimiento público. Se maneja a nivel interno sin consecuencias.	Ninguno	0

PROPUESTA DE MEJORA RCM AL PLAN DE MANTENIMIENTO

Anexo 4 EVALUACIÓN FMECA DEL ACTIVO OBJETO DEL ESTUDIO

SUB-SISTEMA	CÓD	COMPONENTE	IDENTIFICACIÓN	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO	CONSECUENCIA	Nivel de Ocurrencia (NO)	Nivel de Severidad (NS)	Nivel de detección de fallos (ND)	Nivel de Costos de Fallo (NC)	RPN	Criticidad
Generador Eléctrico	GE	Estator	BO10REPE1_GEEST	Conversión electromagnética interna	Pérdida de conducción electromagnética	Corto circuito interno por daño del aislamiento	Ausencia de generación de energía eléctrica	Apagado de la carga soportada por el sistema de respaldo - Afectación directa del cliente atendido - Pérdida económicas	1	10	10	10	30	Medio
	Rotor	BO10REPE1_GEROT	Inducción magnética en estator	Pérdida de conducción electromagnética	Corto circuito interno por daño del aislamiento	Ausencia de generación de energía eléctrica	Apagado de la carga soportada por el sistema de respaldo - Afectación directa del cliente atendido - Pérdida económicas	1	10	10	10	30	Medio	
	Eje	BO10REPE1_GEEJE	Transmitir energía mecánica rotativa del motor al generador	Transmisión ineficiente o nula de energía mecánica rotativa	Desalineación del eje por sobre esfuerzo mecánico o sobrecalentamiento	Paro de emergencia de la planta por falla mecánica	Apagado de la carga soportada por el sistema de respaldo - Afectación directa del cliente atendido - Pérdida económicas	1	10	10	10	30	Medio	
	Escobillas	BO10REPE1_GEEC1	Transmite la corriente eléctrica desde el rotor	Ausencia de conducción eléctrica	Desgaste excesivo	Ausencia de generación de energía eléctrica	Apagado de la carga soportada por el sistema de respaldo - Afectación directa del cliente atendido - Pérdida económicas	1	10	10	10	30	Medio	
	Bomera de conexiones	BO10REPE1_GEBOR	Permite conexiones eléctricas externas del cableado	Aislamiento de contacto eléctrico	Sulfatación y/o oxidación de los contactos	Ausencia de generación de energía eléctrica	Apagado de la carga soportada por el sistema de respaldo - Afectación directa del cliente atendido - Pérdida económicas	3	10	10	10	90	Alto	
	Breaker de protección Salida	BO10REPE1_GEBRK	Protege el equipo contra sobrecargas de corriente eléctrica	Ausencia de conducción eléctrica	Disparo por sobre corriente debido a sobrecarga	Ausencia de energía eléctrica hacia la carga	Apagado de la carga soportada por el sistema de respaldo - Afectación directa del cliente atendido - Pérdida económicas	3	10	6	10	78	Alto	

PROPUESTA DE MEJORA RCM AL PLAN DE MANTENIMIENTO

Anexo 5

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTO PARA LAS PLANTAS ELÉCTRICAS DE LA EMPRESA CCBP

COMPONENTE	CÓD	IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	COD FALL	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	Equipos y Herramientas	Repuestos, insumos y/o consumibles	Duración (horas)	Criticidad
Baterías 12V 95 Ah	BAT	BO10REPEI_ARBAT	Verificar el suministro de energía DC para el arranque del motor	001	Disminución de carga eléctrica para el arranque	Daño interno de la batería por obsolescencia o ausencia de carga	Juego de destornilladores, Alicates, pinza amperimétrica, guantes y lentes de protección	Batería(s)	1	Crítico
Cargador de baterías 12 V	CBT	BO10REPEI_ARCBT	Verificar la carga eléctrica en las baterías del sistema cuando planta esta en standby	006	Voltaje inadecuado o inexistente a la salida del cargador	Daño interno, circuito de alimentación desenergizado, apertura del fusible por sobre corriente	Juego de destornilladores, Alicates, pinza amperimétrica, guantes y lentes de protección	Juego de diodos	2	Crítico
Alternador BA 12VSF	ALT	BO10REPEI_ARALT	Verificar la carga eléctrica en las baterías del sistema cuando planta esta encendida	005	Voltaje inadecuado o inexistente a la salida del alternador	Daño interno del regulador DC, pérdida de transmisión de energía hacia el alternador por rotura de la correa de transmisión	Juego de destornilladores, Alicates, pinza amperimétrica, guantes y lentes de protección	Correa de transmisión.	2	Crítico
Filtro combustible	FLC	BO10REPEI_FIFLC	Verificar si existe material sólido e impurezas contaminantes disueltas en el combustible que ingresa al motor	004	Pérdida o disminución de flujo a través del filtro	Contaminación excesiva del fluido filtrado o exceso de horas de trabajo	Juego de llaves, destornilladores y copas	Filtro Combustible	0,5	Crítico
Filtro aire	FLW	BO10REPEI_FIFLW	Verificar si existe material sólido e impurezas contaminantes presentes en el aire que ingresa al motor	004	Pérdida o disminución de flujo a través del filtro	Contaminación excesiva del fluido filtrado o exceso de horas de trabajo	Juego de llaves, destornilladores y copas	Filtro de aire	0,5	Crítico
Filtro aceite	FLO	BO10REPEI_FIFLO	Verificar la presencia de material sólido e impurezas contaminantes disueltas en el aceite que circula por el motor	004	Pérdida o disminución de flujo a través del filtro	Contaminación excesiva del fluido filtrado o exceso de horas de trabajo	Juego de llaves, destornilladores y copas	Filtro de aceite	1	Crítico
Filtro refrigerante	FLR	BO10REPEI_FIFLR	Verificar la presencia de material sólido e impurezas contaminantes disueltas en el refrigerante que circula por el motor	004	Pérdida o disminución de flujo a través del filtro	Contaminación excesiva del fluido filtrado o exceso de horas de trabajo	Juego de llaves, destornilladores y copas	Filtro refrigerante	1	Crítico
Bomba refrigerante	BBR	BO10REPEI_PRBBR	Revisar de la presión del refrigerante para que circule del radiador al motor	002	Pérdida de presión o disminución del flujo de bombeo	Daño mecánico de la bomba por rozamiento o empaquetadura gastada	Juego de destornilladores, Llaves de copa, guantes y lentes de protección	N/A	4	Crítico
Circuito precalentador	CPR	BO10REPEI_AECPR	Medir voltaje eléctrico en el sistema del precalentador	003	Pérdida o bajo voltaje medido en el circuito	Disparo de protección eléctrica en el tablero por sobrecorriente	Pinza amperimétrica, alicates, juego de destornilladores	N/A	1	Crítico
Circuito cargador baterías	CCB	BO10REPEI_AECCB	Medir voltaje en el sistema del cargador de baterías	003	Pérdida o bajo voltaje medido en el circuito	Disparo de protección eléctrica en el tablero por sobrecorriente	Pinza amperimétrica, alicates, juego de destornilladores	N/A	1	Crítico