

Desarrollo de una propuesta para el diagnóstico, puesta a punto y creación de un plan de mantenimiento en los equipos de generación de la empresa GEP S.A.S.

Luis Carlos Rodríguez Peña
Cod:35668

William Ricardo Triana Tinjaca
Cod: 84977

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI
Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá 2021

Desarrollo de una propuesta para el diagnóstico, puesta a punto y creación de un plan de mantenimiento en los equipos de generación de la empresa GEP S.A.S.

Luis Carlos Rodríguez Peña
Cod:35668

William Ricardo Triana Tinjaca
Cod: 84977

Mg. Fred Geovanny Murillo Rondón

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI
Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá 2021

Hoja de Jurados

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado especialmente a todas las personas que fueron mi apoyo y fuerza incondicional para seguir adelante mi camino para seguir creciendo como profesional.

Agradecimientos

Doy gracias a Dios por guiarme, darme la sabiduría necesaria para asumir este proceso encarando cada adversidad sin desfallecer en el intento. A mis padres, Mis hermanas y a mi Pareja gracias por su apoyo y cada uno de sus consejos, los cuales me permiten seguir formándome como profesional y creciendo como persona.

A los tutores de la especialización por formarme de manera constructiva, darme sus conocimientos y especialmente al Ing. Fred Giovanni Murillo Rondón quien fue nuestra guía para la elaboración de este trabajo; su experiencia, comprensión, cada una de sus cátedras y retroalimentación que nos permitieron realizar un trabajo de excelente calidad, además de crecer como un gran profesional.

Y por último a mi compañero Luis Carlos Rodríguez; por su perseverancia, dedicación con el desarrollo de este trabajo y el cual siempre se prestó de manera atenta y positiva en pro del beneficio común.

Mil Gracias William Triana

Dedicatoria

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

Agradecimientos

A mis padres Elsa Gladys y Raúl, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; la mayoría de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este, siempre me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A mi hermana Ximena y mi novia Andrea, quienes siempre estuvieron presentes, brindándome su apoyo incondicional y paciencia a lo largo de esta etapa de mi vida.

Infinitas Gracias Luis Carlos Rodríguez

Tabla de contenido

| | | |
|-------|-------------------------------------|----|
| 1 | Título de la investigación | 15 |
| 2 | Problema de investigación | 15 |
| 2.1 | Descripción del problema | 15 |
| 2.2 | Planteamiento del problema..... | 16 |
| 2.3 | Sistematización del problema | 16 |
| 3 | Objetivos de la investigación | 16 |
| 3.1 | Objetivo General..... | 16 |
| 3.2 | Objetivos Específicos..... | 17 |
| 4 | Justificación y delimitación..... | 17 |
| 4.1 | Justificación | 17 |
| 4.2 | Delimitación..... | 18 |
| 4.3 | Limitaciones..... | 19 |
| 5 | Marco conceptual | 19 |
| 5.1 | Estado del arte..... | 19 |
| 5.1.1 | Estado del arte Nacional..... | 19 |
| 5.1.2 | Estado del arte internacional | 24 |
| 5.2 | Marco Teórico..... | 29 |
| 5.2.1 | Mantenimiento | 30 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.2.2 | Tipos de mantenimiento..... | 31 |
| 5.2.3 | Etapas de mantenimiento | 35 |
| 5.2.4 | Gestión integral de mantenimiento | 37 |
| 5.2.5 | Análisis de criticidad..... | 40 |
| 5.2.6 | Indicadores de Gestión..... | 41 |
| 5.2.7 | Grupo electrógeno..... | 44 |
| 5.2.8 | Metodologías de mantenimiento..... | 48 |
| 5.3 | Marco normativo y legal..... | 54 |
| 6 | Diseño Metodológico..... | 57 |
| 7 | Cronograma..... | 59 |
| 8 | Resultados | 60 |
| 8.1 | Inventario de grupos electrógenos | 60 |
| 8.2 | Estado actual de los equipos de generación | 61 |
| 8.2.1 | Generador Perkins 2506C (GEN 21) | 62 |
| 8.2.2 | Generador Cummins QSL9-G5 (GEN 55)..... | 63 |
| 8.2.3 | Generador Cummins QSL9-G5 (GEN 54)..... | 64 |
| 8.2.4 | Generador Perkins 2506C (GEN 38) | 66 |
| 8.2.5 | Generador Cummins QSL9-G3 (GEN 28)..... | 67 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 8.2.6 | Generador Cummins QSL-G3 (GEN 10)..... | 68 |
| 8.2.7 | Generador Cummins KTA-38 P1200 (GEN 75)..... | 69 |
| 8.2.8 | Generador Perkins 2206A (GEN 15) | 70 |
| 8.2.9 | Generador Cummins QSL9 – G3 (GEN 17)..... | 71 |
| 8.2.10 | Generador Perkins 2506C (GEN 20) | 72 |
| 8.3 | Análisis Económico | 73 |
| 8.4 | Caracterización de mantenimiento en la empresa GEP SAS | 78 |
| 8.4.1 | Recurso humano..... | 81 |
| 8.4.2 | Manejo y registro de la información | 83 |
| 8.5 | Plan de mantenimiento propuesto..... | 84 |
| 8.5.1 | Confiabilidad y Disponibilidad | 92 |
| 8.6 | Análisis de costos de mantenimiento | 93 |
| 8.7 | Gestión de mantenimiento | 99 |
| 9 | Recomendaciones..... | 101 |
| 10 | Conclusiones..... | 102 |
| 11 | Bibliografía..... | 104 |

Tabla de Tablas

| | |
|----------------------|----|
| Tabla 1 | 55 |
| Tabla 2 | 82 |
| Tabla 3 | 85 |
| Tabla 4 | 86 |

Tabla de Ilustraciones

| | |
|-----------------------------|----|
| Ilustración 1 | 31 |
| Ilustración 2 | 38 |
| Ilustración 3 | 43 |
| Ilustración 4 | 45 |
| Ilustración 5 | 47 |
| Ilustración 6 | 59 |
| Ilustración 7 | 60 |
| Ilustración 8 | 61 |
| Ilustración 9 | 62 |
| Ilustración 10 | 63 |
| Ilustración 11 | 64 |
| Ilustración 12 | 65 |
| Ilustración 13 | 65 |

| | |
|-----------------------------|----|
| Ilustración 14 | 66 |
| Ilustración 15 | 67 |
| Ilustración 16 | 68 |
| Ilustración 17 | 69 |
| Ilustración 18 | 70 |
| Ilustración 19 | 71 |
| Ilustración 20 | 72 |
| Ilustración 21 | 73 |
| Ilustración 22 | 75 |
| Ilustración 23 | 76 |
| Ilustración 24 | 77 |
| Ilustración 25 | 79 |
| Ilustración 26 | 82 |
| Ilustración 27 | 84 |
| Ilustración 28 | 87 |
| Ilustración 29 | 88 |
| Ilustración 30 | 89 |
| Ilustración 31 | 89 |
| Ilustración 32 | 90 |
| Ilustración 33 | 91 |
| Ilustración 34 | 92 |
| Ilustración 35 | 93 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| Ilustración 36 | 94 |
| Ilustración 37 | 94 |
| Ilustración 38 | 95 |
| Ilustración 39 | 96 |
| Ilustración 40 | 97 |
| Ilustración 41 | 98 |
| Ilustración 42 | 100 |

Resumen

A continuación, se muestra el siguiente trabajo denominado **“Desarrollo de una propuesta para el diagnóstico, puesta a punto y creación de un plan de mantenimiento en los equipos de generación de la empresa GEP S.A.S.”**.

Inicialmente, se realizó una actualización del inventario de los grupos electrógenos fuera de servicio, con apoyo del personal técnico se determinó su estado y actividades necesarias para su puesta a punto, con esta información se desarrolló un análisis económico determinándose la viabilidad de las reparaciones mayores de acuerdo con las políticas de la empresa.

Se mencionan las actividades actuales desarrolladas dentro del plan de mantenimiento, el recurso humano con que en estos momentos cuenta la empresa y los indicadores de confiabilidad y disponibilidad dispuestos por la compañía para la medición de la efectividad del plan de mantenimiento desarrollado.

Se estableció una propuesta de un nuevo plan de mantenimiento, donde se tuvo en cuenta el histórico de fallas, requerimientos de gerencia y manuales de mantenimiento, en las intervenciones a realizar se incluyeron las frecuencias, los repuestos y que elementos se deben llevar por condición, se realizó un análisis comparativo de costos del plan de mantenimiento actual y la proyección de costos del plan de mantenimiento propuesto, finalmente se muestran los incrementos en los porcentajes de los indicadores de confiabilidad y disponibilidad.

Para lograr llevar un control, evaluar el desempeño y evolución del plan de mantenimiento propuesto, se propuso dos nuevos indicadores y la inclusión de un nuevo cargo en el área de mantenimiento.

Palabras clave: Overhaul, Grupo Electrónico, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Correctivo, GEP S.A.S

Abstract

Next, the following work called "**Development of a proposal for the diagnosis, tuning and creation of a maintenance plan in the generation equipment of the company GEP S.A.S.**" is shown.

Initially, an inventory update of the out-of-service generator sets was carried out, with the support of the technical staff, their status, and activities necessary for their commissioning were determined, with this information an economic analysis was developed, determining the viability of major repairs of in accordance with company policies.

The current activities developed within the maintenance plan, the human resources that the company currently has, and the reliability and availability indicators provided by the company to measure the effectiveness of the maintenance plan developed are mentioned.

A proposal for a new maintenance plan was established, where the failure history, management requirements and maintenance manuals were taken into account, in the

interventions to be carried out included frequencies, spare parts and which elements should be carried by condition, A comparative analysis of the costs of the current maintenance plan and the cost projection of the proposed maintenance plan was carried out, finally the increases in the percentages of the reliability and availability indicators are shown.

In order to control, evaluate the performance and evolution of the proposed maintenance plan, two new indicators and the inclusion of a new position in the maintenance area were proposed.

Keywords: Overhaul, Generator Group, Preventive Maintenance, Corrective Maintenance, GEP S.A.S

1 Título de la investigación

Desarrollo de una propuesta para el diagnóstico, puesta a punto y creación de un plan de mantenimiento en los equipos de generación de la empresa GEP S.A.S.

2 Problema de investigación

2.1 Descripción del problema

La compañía Global Energy & Production Company; desarrolla en una de sus líneas de negocio, el alquiler de equipos de generación para campos petroleros, los cuales varían según su capacidad de 200 KW hasta los 1000 KW.

Actualmente la compañía desarrolla un plan de mantenimiento básico, debido a la falta de un adecuado plan de mantenimiento se presenta un elevado número de actividades correctivas y de emergencia, esto trae como consecuencia, menor confiabilidad y reducción de la vida útil de los equipos, mayores costos de mantenimiento, elevación del nivel de riesgo en seguridad, menor desempeño del personal y afectación de la imagen ante el cliente.

Ante la creciente cantidad de Generadores que se encuentran fuera de servicio en la empresa, el personal de operaciones quiere ante todo atacar los problemas críticos que se están presentando, entre ellos se encuentran: baja disponibilidad de los equipos, altos costos de reparación y migración de los clientes por incumplimiento en la prestación del servicio. De igual manera, existen cláusulas en los contratos que pueden llevar a una penalización de la empresa por pérdidas de producción (extracción de crudo), esto debido a los tiempos perdidos por paradas no programadas.

Normalmente las ubicaciones donde son requeridos los equipos se encuentran en entornos ambientales difíciles y con problemas de accesibilidad, esto hace que se dificulte la logística para el ingreso de suministros (consumibles, repuestos etc.) y se presenten altos tiempos de respuesta ante paradas no programadas.

2.2 Planteamiento del problema

Teniendo en cuenta el problema descrito la pregunta de investigación es: ¿Cómo desarrollar una propuesta para el diagnóstico, puesta a punto y creación de un plan de mantenimiento para los equipos de generación en la empresa GEP SAS?

2.3 Sistematización del problema

¿Como es el proceso de mantenimiento aplicado actualmente en la empresa para los equipos de generación?

¿Cuál es el estado actual de los equipos de generación y que se requiere para su puesta a punto?

¿Cuál es la estructura de gestión adecuada para llevar el control y evolución del plan de mantenimiento propuesto?

3 Objetivos de la investigación

3.1 Objetivo General

Desarrollar una propuesta para el diagnóstico, puesta a punto y creación de un plan de mantenimiento, para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de generación en la empresa GEP S.A.S.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el inventario y el estado general de los equipos de generación definiendo su viabilidad para puesta a punto.
- Caracterizar el tipo de mantenimiento aplicado actualmente en la empresa para equipos de generación.
- Establecer la estructura de gestión adecuada para llevar el control y evolución del plan de mantenimiento propuesto.

4 Justificación y delimitación

4.1 Justificación

Actualmente las compañías orientadas al sector de hidrocarburos ofrecen dentro de un marco de negocios, productos y servicios de alta calidad, a razón de esto se han adoptado a lo largo del tiempo filosofías enfocadas al aseguramiento de calidad, administración de riesgos y mejora continua en sus procesos.

Entre los procesos más críticos se encuentra el alquiler de equipos para generación eléctrica, lo que conlleva a la aplicación efectiva de un plan de mantenimiento sobre los mismos, debido a que es la mejor alternativa en busca de la administración eficaz de los recursos y del aumento de la confiabilidad, disponibilidad y conservación de los activos fijos. Al analizar las condiciones operacionales de los equipos, se logra constatar que los fallos que se puedan presentar afectan a las operaciones en tres aspectos: rendimiento, calidad del servicio e imagen ante el cliente, en todos los casos estas consecuencias afectan financieramente a la compañía.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la empresa GEP SAS, busca que los equipos de generación se encuentren en condiciones óptimas de funcionamiento y puedan contar con un plan de mantenimiento, con el objetivo principal de optimizar sus procesos de Gestión del Mantenimiento y de incrementar los niveles de confiabilidad y competitividad.

Por esta razón, la elaboración de la propuesta del diagnóstico, puesta a punto y creación de un plan de mantenimiento para los equipos de generación, surge como una alternativa que le permite al personal de operaciones, mantenimiento y gestión de activos, generar estrategias efectivas de mantenimiento, ajustar las acciones de control e incremento de disponibilidad, en el entorno operacional de los equipos de generación, garantizando el cumplimiento de los estándares de los clientes.

4.2 Delimitación

Los activos de la empresa GEP S.A.S. serán los localizados en el municipio de Cajicá específicamente en la vereda Calahorra lote el Antojo. El alcance de este proyecto se orienta de manera única y exclusivamente a la elaboración y entrega de una propuesta para el diagnóstico, puesta a punto y creación de un plan de mantenimiento para los equipos de generación en la empresa GEP S.A.S, más no a su implementación y evaluación técnico-económica, ya que la aplicación y evaluación del proyecto demoraría un tiempo considerablemente largo, y la presente investigación será desarrollada entre los meses de noviembre 2020 y julio 2021.

4.3 Limitaciones

La mayor limitación que se tendrá al realizar el proyecto es la disponibilidad de tiempo para efectuar un análisis mayor de los equipos operativos, debido a que son equipos que se encuentran en alquiler o disponibles para el alquiler, por lo cual estarán en movimiento constante entre operaciones y esto no permitirá tenerlos disponibles para el correspondiente análisis.

5 Marco conceptual

5.1 Estado del arte

5.1.1 Estado del arte Nacional

5.1.1.1 Prospectiva metodológica para el mantenimiento preventivo.

En el año 2014 los autores Orlando Giraldo Colmenares y Daniel Eduardo Villalobos escriben para la revista Ingenium el artículo titulado “Prospectiva metodológica para el mantenimiento preventivo” el proyecto se fundamenta en aplicar a un programa de mantenimiento preventivo de un equipo, una metodología que permita simplificar el macro de los componentes de un equipo en subconjuntos, a los que se les pueda realizar mantenimiento preventivo o correctivo a partir de los valores característicos de sus elementos, consolidados como valores operativos o funcionales. (Colmenares Giraldo & Villalobos, 2014). Es relevante el planteamiento desarrollado en el artículo citado teniendo en cuenta que en la aplicación del programa de mantenimiento preventivo, en ocasiones genera incertidumbre respecto a los componentes que actúan de manera paralela con el reparado, incluso hay casos en los que sirven para resaltar la anomalía de dichos componentes, consideradas menores o a su vez los reparados reciben los efectos del

desgaste de los paralelos, manifestándose en daños colaterales, dejando sin sustento el mantenimiento programado.

5.1.1.2 Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica

En el año 2017 las autoras Angie Julieth Romero Guarín y Laura Viviana Soler Rodríguez, escriben para la Universidad Católica de Colombia, la tesis titulada “ Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica” la cual se fundamenta, en crear un plan de mantenimiento predictivo, con metodología descriptiva con el que se identificara el funcionamiento y principales fallos que existen en la maquinaria que deben ser controlados y monitoreados, para evitar daños mayores que alteren la productividad de la centrales hidroeléctricas. (Soler Rodriguez & Romero Guarin, 2017). Conforme al estudio de este caso, se determinó que los planes de mantenimiento predictivo pueden ser diseñados a partir de las necesidades especificaciones de fábrica y análisis de falla de la quinaria y así obtener el máximo beneficio de las técnicas de mantenimiento predictivo y diagnósticos para la aplicación de otros tipos de mantenimiento como preventivo y correctivo de acuerdo con el momento indicado.

5.1.1.3 Implementación plan de mantenimiento eléctrico para destilería Riopaila y Riopaila energía

En el año 2016 el autor Jhon Jairo Serna Ramírez, escribe para la Universidad Tecnológica de Pereira , la tesis titulada “ Implementación plan de mantenimiento eléctrico para destilería Riopaila y Riopaila energía” que se fundamenta en la creación de una

estrategia de mantenimiento eléctrico basándose en cuatro grandes procedimientos, plan de mantenimiento, hoja de ruta, catálogo de fallas y repuestos, los cuales brindan información detallada al personal técnico, ya que de este modo se establece un protocolo para revisión adecuada cada equipo. (Serna Ramirez, 2016). Con esta estrategia las empresas pueden mejorar el funcionamiento de los equipos, prolongar su vida útil, organización de la información en formatos visualmente comprensibles, capacitaciones; además de brindar al personal herramientas que les permitan realizar de forma segura y eficiente su trabajo.

5.1.1.4 Automatismo para el monitoreo y control de un grupo electrógeno con arranque eléctrico

En el año 2015 los autores Flavio Humberto Fernández Morales y Julio Enrique Duarte, desarrollaron el artículo titulado “*Automatismo para el monitoreo y control de un grupo electrógeno con arranque eléctrico*” para la revista Entramado de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Los autores buscaron desarrollar un sistema automático para el monitoreo de las variables y el control de un grupo electrógeno, desarrollaron un sistema de microcontroladores que permitían la obtención y visualización de las variables más representativas que buscaban asegurar la operación y manutención del equipo. (Fernandez Morales & Duarte , 2015). Este articulo nos brinda bastante información de como con las nuevas tecnologías se puedes realizar el seguimiento de la operación en tiempo real de un grupo electrógeno, con esto se puede realizar intervenciones a tiempo de los grupos electrógenos y que no se vean afectadas la operación por paradas no programadas.

5.1.1.5 Diseño del plan de mantenimiento basado en ingeniería de confiabilidad y análisis RAM, para plantas eléctricas de emergencia atendidas por la empresa WES importaciones.

En el año 2019 el autor Jesús Leonardo Rodríguez Florián, desarrollo la tesis titulada “*Diseño del plan de mantenimiento basado en ingeniería de confiabilidad ya análisis RAM, para plantas eléctricas de emergencia atendidas por la empresa WES importaciones*” para la universidad Libre, Seccional Bogotá. El autor busco diseñar un plan de mantenimiento para plantas electricas de emergencia, teniendo en cuenta sus características como su contexto operacional, llegando a diseñar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad y análisis RAM. Como resultado se obtuvo un plan de mantenimiento que complemento el portafolio de servicios de la empresa a la cual se desarrolló el estudio. (Rodrigueza Florian, 2019). Con esta tesis podemos establecer que actividades se realizan para los equipos de generación que se encuentran en Stand By, así como las plantas eléctricas de emergencia, adicional que actividades de mantenimiento se realizan por medio del análisis de confiabilidad y RAM.

5.1.1.6 Análisis del desempeño de un moto generador al usar biodiesel como combustible.

En el año 2016 los autores Juan Gabriel Fajardo Cuadrado, Oscar Navas y Andrés Díaz desarrollaron el artículo titulado “*Análisis del desempeño de un motor generador al usa biodiesel como combustible*” para la revista EIDENAR de la universidad del valle, Colombia. En el cual los autores evaluaron la alternativa de utilizar un biodiesel en la operación de un moto generador, se obtuvo que la potencia del motor disminuye cuando se

utiliza biodiesel debido al menor poder calorífica a comparación de un diésel convencional. (Fajardo Cuadro, Navas, & Diaz, 2015). Este articulo nos brinda información de cómo el cambio de combustible en los motores de combustión interna afecta su desempeño y con esto la vida útil del mismos, lo que nos hace considerar la inclusión de características específicas del combustible suministrado para la operación de los equipos de generación de energía a los cuales se les va a desarrollar el plan de mantenimiento

5.1.1.7 Propuesta de mejora del plan de mantenimiento de los motores AX-901b y AX-901d en la planta Apiay de Ecopetrol.

En el año 2017 el autor Juan David Monroy Higuera desarrollo la tesis titulada “Propuesta de mejora del plan de mantenimiento de los motores AX-901b y AX-901d en la planta Apiay de Ecopetrol” para la universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia. En la que desarrollo una propuesta de mejora en el plan de mantenimiento para los motores mencionados anteriormente, esta mejora se debe a que le plan de mantenimiento con el que cuenta actualmente no cubre todas las intervenciones necesarias para los equipos y generan muchas paradas no programadas debido a fallo en componentes que no se cambian o se intervienen en el plan de mantenimiento actual. Después de realizar un análisis a fondo de las fallas y operación de los motores se crearon planes de intervención para cada uno con sus respectivos planes de mantenimiento mejorados. (Monroy Higuera, 2017). Este trabajo nos da la información necesaria para realizar los planes de acción y de mejora para la intervención y puesta a puntos de nuestros equipos y posteriormente de acuerdo con la operación incluir actividades que no se tiene en cuenta en el plan de mantenimiento que se va a establecer.

5.1.2 Estado del arte internacional

5.1.2.1 Estudio de factibilidad para optimizar frecuencia de remplazo del lubricante, en Grupos Electrógenos.

En el año 2014 los autores Jabel Felipe Quintana Tamayo, Francisco Martínez Pérez, Yanira Guadalupe Vázquez Jorge y Jorge Ramírez Arzuaga desarrollaron el artículo titulado “*Estudio de factibilidad para optimizar frecuencia de remplazo del lubricante, en Grupos Electrógenos.*” para la revista ciencias técnicas agropecuarias del centro de mecanización agropecuaria. Los autores buscaron alargar el ciclo de cambio de lubricante de los motores de los grupos electrógenos, realizando muestreos de aceite y analizando sus propiedades fisicoquímicas para verificar el estado en el que se encuentra a las 350 horas de operación y con esto determinaron que el aceite puede continuar en operación después de este tiempo sin que afecte sus condiciones fisicoquímicas. (Quintana Tamayo, Martinez Perez, Vazquez Jorge, & Ramirez Arzuaga, 2014). El artículo consultado nos brinda bastante información acerca de las frecuencias de cambio de aceite de los motores de equipos de generación de energía o también conocidos como grupos electrógenos, los que da un punto de partida para las frecuencias de cambio de aceite en el plan de mantenimiento que se va a desarrollar para los equipos de generación.

5.1.2.2 El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional.

En el año 2000 el autor Mendoza, R. Huerta escribe para la revista Ingenium el artículo titulado “El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional” El autor realiza un análisis de la metodología lo que permite establecer varios

factores como la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creación de una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. (Mendoza , 2000). Es relevante lo desarrollado en el artículo citado teniendo en cuenta que, al establecer la criticidad de los equipos, es más sencillo diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

5.1.2.3 Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento.

En el año 2016 los autores Herrera Galán Michael y Martínez Delgado Edith escriben para la revista Ingeniería Industrial el artículo titulado “Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento” en el trabajo los autores se refieren a la implementación de una metodología para la gestión de mantenimiento asistido por computadora a través del desarrollo de un programa de mantenimiento y su puesta en práctica. (Herrera Galán & Martínez Delgado, 2016). Es relevante el planteamiento desarrollado en el artículo citado, teniendo en cuenta que con la implementación del programa de gestión se logrará un profundo cambio, con lo cual se llevará un mejor control, una visión clara del estado actual y se cumplirá con las exigencias de buenas prácticas en el departamento de mantenimiento.

5.1.2.4 Análisis de criticidad en los sistemas mecánicos de los grupos electrógenos.

En el año 2017 los autores Alfonso Paduran Yaima, García Tol Alejandra Elena, Díaz Concepción Armando, Rodríguez Piñeiro Alberto J., Hourné Calzada María Bárbara y Cedrón Pérez Grenda escriben para la revista de Energía Energética el artículo titulado “Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento” en el trabajo los autores realizan una investigación que se desarrolló con el objetivo de jerarquizar los sistemas mecánicos que componen los motores de combustión interna (MCI), en una central eléctrica, empleando un modelo de criticidad. La jerarquización de los sistemas se realizó con ayuda del modelo de análisis de criticidad en los grupos electrógenos. (Yaima, y otros, 2017). Es relevante el planteamiento desarrollado en el artículo citado, debido a la explicación de los pasos realizados para la aplicación del modelo, tomando como referencia los datos de los fallos de cada motor en un período de un año, esto obtuvo como resultado que los sistemas más críticos fueron los sistemas de inyección de combustible, admisión y gases de escape y enfriamiento del motor; es una base importante para tener en cuenta en la realización de la propuesta a desarrollar.

5.1.2.5 Diagnóstico de generadores eléctricos de potencia con técnicas de monitoreo en línea y fuera de línea.

En el año 2016 el autor Campuzano Martínez Ignacio R. escribe para la revista Información Tecnológica el artículo titulado “Diagnóstico de generadores eléctricos de potencia con técnicas de monitoreo en línea y fuera de línea” en el trabajo el autor presenta el análisis dieléctrico del sistema aislante del estator de cuatro generadores de 25 MW de

una Central Geotérmica en México. Desde los primeros mantenimientos se identificó polvo blanco en los devanados del estator, evidencia de alta actividad de descargas parciales, donde se decidió determinar tanto el origen como el nivel de afectación del sistema aislante para tomar acciones de mantenimiento. (Campuzano Martínez, 2016). Es relevante el planteamiento desarrollado en el artículo citado, ya que se llevó cabo en dos etapas; la primera consistió en el monitoreo en línea de las descargas y una segunda etapa de aplicación de pruebas fuera de servicio. Donde se identificaron los mecanismos de deterioro de los devanados y se aplicaron acciones correctivas de mantenimiento, estas acciones proporcionaron confiabilidad y disponibilidad a los cuatro generadores.

5.1.2.6 Diagnóstico del servicio de mantenimiento de grupos electrógenos de emergencia.

En el año 2019 los autores Martínez Delgado Edith, Cabrera Gómez Jesús y Arce Castro Bertha Alicia escriben para la revista Ingeniería Mecánica el artículo titulado “Diagnostico del servicio de mantenimiento de grupos electrógenos de emergencia” en este artículo los autores presentan los resultados del trabajo realizado para una empresa prestadora de servicios de mantenimiento a grupos electrógenos de emergencia que son propiedad de sus clientes, teniendo como objetivo identificar las causas de mayor impacto sobre el mencionado servicio. (Edith, Jesús, & Alicia, 2019). Es importante lo desarrollado en el artículo ya que se aplican técnicas tales como observación, revisión documental, entrevista, tormenta de ideas, diagrama causa-efecto y diagrama de relaciones e Inograf, con esto se logra identificar un numeroso grupo de factores causales que impactan

negativamente en la gestión del mantenimiento a los equipos, de esta manera es posible proponer acciones para superar la situación actual.

5.1.2.7 Optimización del mantenimiento preventivo utilizándolas técnicas de diagnóstico integral. Fundamento teórico practico.

En el año 2008 los autores Hernández Pedro L., Carro Miguel de Oca, Juan Montes García, Luis Fernández y Sergio J escriben para la revista de Ingeniería Energética el artículo titulado “Optimización del mantenimiento preventivo utilizándolas técnicas de diagnóstico integral. Fundamento teórico practico” en este artículo los autores exponen un método para la optimización del mantenimiento preventivo planificado (MPP) a partir de la introducción del mantenimiento basado en la condición (MBC) en las turbinas y generadores de vapor de una central termoeléctrica cubana, utilizando las técnicas de diagnóstico integral. (L., Oca, García, Fernández, & J, 2008). Es relevante el planteamiento desarrollado en el artículo citado, ya que se realiza un estudio estadístico de las fallas y se presentan varios casos de estudio con la finalidad de que se pueda comprender la necesidad de implantación de esta técnica, cuyos únicos costos son la organización de los datos de fallas y la colaboración del personal técnico ligado a las mismas.

5.1.2.8 Implantación de un sistema de mantenimiento preventivo para el aumento de la eficiencia de la maquinaria en una planta de fundición.

En el año 2018 los autores Becerril Rosales Israel, Gutiérrez Balderas Jaime y Hurtado Gómez Rubén, escriben para la revista de Ciencia Administrativa el artículo titulado “Implantación de un sistema de mantenimiento preventivo para el aumento de la eficiencia de la maquinaria en una planta de fundición” en este artículo los autores

presentan las ventajas de implantar sistemas de mantenimiento junto con OEE para conocer la eficiencia, esto permitirá visualizar el comportamiento de la disponibilidad, rendimiento, la calidad de la maquinaria y la producción, así también como la identificación de la causa de los tiempos muertos que se generan durante el proceso y poder tomar acciones correctivas. (Israel, Jaime, & Rubén, 2018). Es importante lo desarrollado en el artículo, ya que nos deja ver lo indispensable que es un plan de mantenimiento, apropiado para una empresa, ya que permite conservar sus equipos, herramientas e instalaciones en las mejores condiciones de funcionamiento, con el paso del tiempo esto ha ido adquiriendo una gran importancia ya que tener equipos en buen funcionamiento representa mejor producción, programación de actividades más específicas y buen funcionamiento de este.

5.2 Marco Teórico

El sustento teórico de la presente investigación se basa en el desarrollo de los siguientes temas en los cuales se va a fundamentar el proyecto.

- 1) Mantenimiento
- 2) Tipos de mantenimiento
- 3) Etapas de mantenimiento
- 4) Gestión integral de mantenimiento
- 5) Análisis de criticidad
- 6) Indicadores de gestión
- 7) Grupo electrógeno
- 8) Metodologías de mantenimiento

A continuación, se definen cada uno de los temas:

5.2.1 Mantenimiento

La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo. Bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas, acorde con las necesidades de sus clientes, que son todas aquellas dependencias o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos para producirlos.

El papel principal de mantenimiento es incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción realizando actividades tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos, buscando la conservación de los equipos. Sus funciones van más allá de las reparaciones que se presentan; su importancia se aprecia en la forma en que las fallas se disminuyen como resultado de una buena gestión que involucre todo el departamento de mantenimiento y el apoyo de gerencia y en general de toda la empresa.

La labor primordial de mantenimiento es asegurar la mayor disponibilidad de los sistemas técnicos, previniendo o prediciendo cualquier tipo de evento que pueda alterar su óptimo desempeño, manteniendo su función en el tiempo. Pero además de esto, el área de mantenimiento debe velar por que su costo dentro de la empresa siempre se mantenga dentro de unos márgenes determinados, optimizando sus costos de operación. (Mora Gutiérrez , 2009).

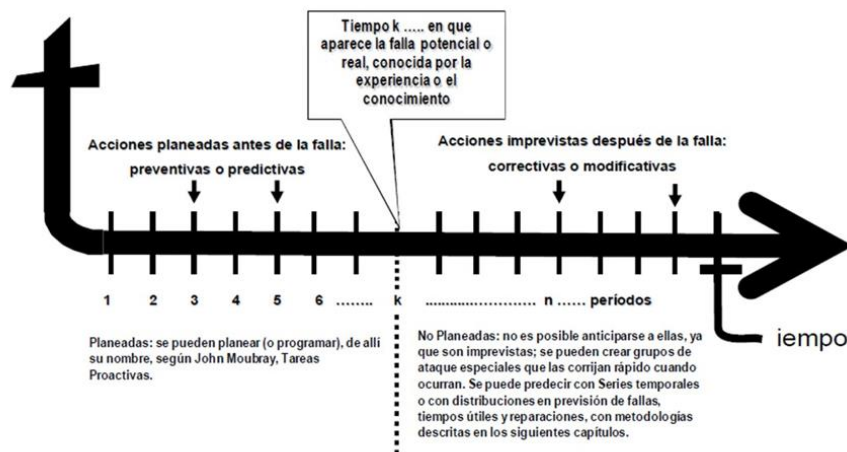
5.2.2 Tipos de mantenimiento

En mantenimiento existen 4 tipos de acciones que agrupan cualquier tipo de intervención a los artefactos por parte del personal técnico de mantenimiento; las cuales son:

- 1) Mantenimiento Correctivo.
- 2) Mantenimiento Modificativo.
- 3) Mantenimiento Preventivo.
- 4) Mantenimiento Predictivo.

Ilustración 1

Tipos de acciones de mantenimiento.



Nota: El autor presenta los tipos de acciones de mantenimiento, planeadas antes de la falla y las imprevistas después de la falla, durante un periodo de tiempo. Fuente: (Mora Gutiérrez A. , 2007a)

5.2.2.1 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se basa en corregir las averías a medida que se van produciendo. Lo más normal es que quien reporta las averías es el propio usuario de los equipos.

El principal problema que se encuentra al aplicar este tipo de mantenimiento es que el usuario se da cuenta de la avería o falla justo en el momento en que va a disponer del equipo, ya sea al ponerlo en marcha o bien durante su utilización (Navarro Elola, Pastor, & Mugaburu Lacabrera, 1997).

Otros inconvenientes que se pueden presentar es que el usuario intentará seguir utilizando el equipo en condición de falla lo que normalmente empeora más el estado del equipo.

Las tareas de mantenimiento correctivo son llevadas a cabo con el fin de devolver la función de la pieza o máquina en su etapa inicial, tras haber perdido su capacidad para realizar la función o las prestaciones que se requieren (Knezevic, 1996).

5.2.2.2 Mantenimiento Modificado

Las acciones de modificación aplicada a los equipos ya sea para eliminar la causa raíz de la falla, para acoplar una nueva máquina dependiendo de las necesidades del proceso propio, o bien sea modificaciones para extender la vida útil del equipo, son agrupadas a acciones de mantenimiento modificativo (ESReDa, 2001).

Las acciones de mantenimiento modificativo se aplican normalmente cuando luego de reiteradas intervenciones correctivas, no se puede corregir la causa raíz del fallo completamente, y se repite periódicamente luego de cierto tiempo de operación; esto se

realiza después de un análisis de modo y efecto de falla (AMEF). Para ejecutar esto, el departamento de ingeniería debería prestar la colaboración pertinente, pero generalmente es responsabilidad del departamento de mantenimiento (Kelly & Harris, 1998).

5.2.2.3 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es la práctica de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos, con el objetivo de conocer las condiciones o estados anormales de esos elementos, que puedan llevar a paros en la línea de producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones, y siempre ejecutar el cuidado de mantenimiento adecuado de la planta para retardar la aparición de tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están aún en estado inicial de desarrollo.

El mantenimiento preventivo normalmente está asociado a un plan de mantenimiento que es generado con el conocimiento de los equipos a los cuales se les realizara la labor, su criticidad en el sistema y con una concreta interacción producción-mantenimiento para el momento óptimo a realizarse. Para esto se requiere mucha experiencia previa de fallas para la búsqueda de síntomas, al igual que la información propia del fabricante en la cual se hacen unas recomendaciones, que deben ser ajustadas dependiendo del entorno en el cual se encuentra el equipo. (Patton, 1996)

La acción sistemática de revisar periódicamente se puede definir como “inspeccionar-controlar y reparar” antes de que se produzca la avería. También se puede decir que es reparar cuando la maquinaria o instalación productiva están aún, en cuanto a

seguridad, calidad y desgaste, dentro de límites aceptables (Francisco, 1996).

5.2.2.4 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento el cual se aplica con el objetivo de conocer y monitorear el estado de los equipos más indispensables de la compañía, con el fin de saber su estado actual de funcionamiento, analizando el cambio de sus variables.

Al conocer qué tipo de variables afectan un sistema, parametrizarlas y monitorear su comportamiento, da la informan necesaria para predecir su funcionamiento en el tiempo y su condición actual, sin tener que intervenir o hacer paros en el equipo para realizar inspecciones preventivas.

Algunas ventajas del mantenimiento predictivo son: reducción del tiempo de parada al conocerse exactamente que órgano es el que falla, seguimiento a la evolución de un defecto en el tiempo, optimización a la gestión del personal de mantenimiento, verificación de la condición de estado y monitoreo en tiempo real de la maquinaria, tanto la que se realiza en forma periódica como la que se hace de carácter eventual, Ejecución de un registro de información histórica vital, a la hora de toma de decisiones técnicas en los equipos, definición de los límites de tendencia relativos a los tiempos de falla o de aparición de condiciones no estándares, etc. (Mora Gutiérrez L. A., 2009)

Aunque este tipo de análisis permite obtener información de los equipos en todo momento, no es económicamente viable aplicar este tipo de análisis para todos los sistemas ya que estos requieren de tecnología y elementos de medición que supondrían un alto costo

para mantenimiento. Antes de aplicar esta metodología, siempre es bueno analizar primero cuales son los sistemas críticos y de los cuales depende el proceso para funcionar.

5.2.3 Etapas de mantenimiento

Para hacer un análisis del estado del departamento de mantenimiento de cualquier tipo de empresa, es importante conocer su punto de desarrollo o estado en el que se encuentra, para así ajustar que exigencias debería tener o que se puede esperar de este. Así mismo poder plantear un plan de trabajo o sugerencias para su consiguiente avance al siguiente nivel (Mora Gutiérrez L. A., 2009).

5.2.3.1 Etapa I

En su primer momento de desarrollo, el mantenimiento busca devolver la funcionalidad a la maquina después que se ha presentado la falla, estas acciones son de naturaleza correctiva, ya que los equipos se intervienen cuando han perdido completamente su función.

La etapa I es el momento donde aparecen todos los instrumentos de mantenimiento, en ese momento se contrata o se entrena todo el personal el cual requiere mantenimiento, con el fin de capacitarlo para realizar lo que se puede llamar las primeras acciones de mantenimiento, que son de naturaleza correctiva. La parada de los equipos en muchos casos no era tomaba como un gran problema ya que muchos de los sistemas no se encontraban mecanizados y la maquinaria existente era robusta y confiable, construida con altos factores de seguridad (Francisco, 1996)

El mantenimiento correctivo o reparativo es el único practicado en esta etapa, las piezas y equipos son llevados al límite de su vida útil, hasta la falla y con la acción de

mantenimiento se recupera la función inicial, consiste en remplazar las piezas que no funcionan sin aplicar un mayor análisis sobre la causa raíz del problema (Benítez Hernández, 2007).

5.2.3.2 *Etapa II*

El auge y la mayor complejidad de los equipos que se presenta en la industria en esta etapa, a que los costos por acciones correctivas sean muy altos, nacen dos acciones de mantenimiento: preventivo y predictivo como una opción para reducir los paros y tiempos improductivos que afectaban la producción.

Las técnicas y metodologías propias de las acciones planeadas de mantenimiento empiezan a utilizarse en esta etapa, la empresa adquiere el conocimiento y la destreza para diferenciar las acciones propias de mantenimiento, antes y después de la falla (Mora Gutiérrez L. A., 2009).

En nuestro medio es muy común encontrar empresas las cuales todavía se encuentran en esta etapa, sin ahondar más en procesos de mejora que permitan ver al mantenimiento más como una inversión y no como un gasto.

5.2.3.3 *Etapa III*

Lo que plantean algunos autores es, que esta etapa es alcanzada cuando las industrias han logrado consolidar un plan de trabajo eficiente que conjuga las labores de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo la cual no es posible su completa eliminación, y busca un desarrollo en la parte administrativa del mantenimiento que permita adoptar un sistema organizado para todo el manejo del área y su personal a cargo.

Lo importante en esta fase III para las empresas es optimizar su producción, generando tácticas empresariales que permitan que todos los entes de la empresa trabajen en conjunto para maximizar su productividad. (Mora Gutiérrez L. A., 2009)

5.2.3.4 *Etapas IV*

La etapa 4 es alcanzada en el momento en que los departamentos de mantenimiento y en general la compañía desarrollan con cuando las empresas desarrollan con eficacia los niveles anteriores, el objetivo ya es medir sus resultados y conocer que tan bien están ejecutando su labor, por esta razón se empiezan a instaurar diferentes sistemas de costeo propios de mantenimiento entre ellos el *Life Cost Cycle* o *LCC* por sus siglas en inglés, la implementación de un registro histórico de fallas y reparaciones, el CMD, etc. (Mora Gutiérrez L. A., 2009).

En este punto la meta es ser competitivos, no solo localmente, si no comparándose contra los mejores en el área, saber cómo se encuentra la empresa con respecto del líder mundial en el sector.

5.2.4 *Gestión integral de mantenimiento*

La gestión integral de mantenimiento se basa en intervenir en todos aquellos tópicos de importancia para el buen desempeño y avance de la compañía y que, de una u otra manera, se relacionan con el mantenimiento de las instalaciones. Se trata, por tanto, de gestionar de manera activa basándose en los objetivos de la empresa y no solo en los objetivos tradicionales de mantenimiento disponibilidad y costes, admitiendo una postura pasiva (Navarro Elola, Pastor, & Mugaburu Lacabrera, 1997).

Los doce principios más importantes en la gestión de mantenimiento enunciados por la comisión EUREKA son:

Ilustración 2

Principios básicos de Mantenimiento.

| Temas Técnicos | Recursos Humanos | Campo Económico |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> •Servicios •Productos •Calidad de los productos •Métodos de trabajos de mantenimiento •Manejo de materiales óptimo •Control de todas las actividades de mantenimiento. | <ul style="list-style-type: none"> •Función de relaciones internas del personal •Función de relaciones externas •Función de la organización del mantenimiento | <ul style="list-style-type: none"> •Estructura de mantenimiento •Economía en la gerencia de mantenimiento •Economía frente a la producción |

Nota: La comisión EUREKA, nos presenta los doce principios más importantes en la gestión de mantenimiento, donde se referencian temas técnicos, recursos humanos y campo económico. Fuente: (Mora Gutiérrez L. A., 2009)

Un punto primordial a la hora de buscar una gestión integral de mantenimiento es la comunicación e interacción con todos los departamentos con que mantenimiento se ve directa o indirectamente involucrado, por ejemplo: Ingeniería o Montajes, Compras, Contabilidad, etc. Generando grupos interdisciplinarios o de apoyo que desdibujen los límites de las funciones de cada área, y se unan en conjunto para el beneficio general de la empresa. Mantenimiento no debe limitarse solo a la reparación de los equipos o sistemas (Navarro Elola, Pastor, & Mugaburu Lacabrera, 1997).

Por ejemplo:

- Relación Mantenimiento - Montajes

Cada vez que el departamento de Ingeniería o Montajes se disponga a realizar la instalación de un equipo, se debería realizar una operación conjunta que permita a Mantenimiento conocer a detalle el funcionamiento del sistema y sus puntos críticos, facilitando las intervenciones futuras. Al igual que Ingeniería dará soporte a la hora del análisis de falla de un equipo y en los procedimientos de intervención de los equipos.

- Relación Mantenimiento – Contabilidad

Para el área de mantenimiento, es importante conocer y hacer seguimiento a los costos totales generados por cada intervención, en los que incluye costos como mano de obra, herramienta, consumibles, al igual que los costos fijos, etc. Por eso es importante el soporte de contabilidad control de todas estas variables.

- Relación Mantenimiento – Gestión humana

Permite la selección de un personal idóneo para las necesidades del departamento al igual que la planeación de capacitaciones que faciliten un desarrollo tanto de la empresa a través del crecimiento humano. Así mismo la inducción adecuada, la evaluación del desempeño, el mejoramiento de competencias, los planes de carrera, la motivación, el clima, cultura organizacional y el bienestar humano.

- Relación Mantenimiento – Compras - Almacén

Algunas veces el departamento de mantenimiento maneja su propio almacén, en otras ocasiones hace parte de un área llamada compras, sin importar el caso, mantenimiento debe comunicarse con compras para la consecución de los materiales y repuestos necesarios para las intervenciones, al igual que los tiempos de entrega y la renovación tecnológica por parte de los proveedores.

Los activos pueden maximizar su eficacia, eficiencia, y productividad mediante el conocimiento y la aplicación de las leyes que rigen la relación entre producción y mantenimiento; y en este caso también aplicaría para las relaciones con toda la empresa en general (Mora Gutiérrez L. A., 2009).

La gestión de mantenimiento debe enfocarse a todos los aspectos que de una u otra manera, pasan por sus manos y que influyen sobre el desarrollo de la empresa (Navarro Elola, Pastor, & Mugaburu Lacabrera, 1997).

5.2.5 Análisis de criticidad

No todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial. Es un hecho que unos equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener una planta son limitados, debemos destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes, dejando una pequeña porción del reparto a los equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa.

Pero ¿cómo diferenciamos los equipos que tienen una gran influencia en los resultados de los que no la tienen? Cuando tratamos de hacer esta diferenciación, estamos realizando el Análisis de Criticidad de los equipos de la planta.

Comencemos distinguiendo una serie de niveles de importancia o criticidad:

A) Equipos críticos. Son aquellos equipos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.

B) Equipos importantes. Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.

C) Equipos prescindibles. Son aquellos con una incidencia escasa en los resultados. Como mucho, supondrán una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño coste adicional

Veamos, en segundo lugar, qué criterios podemos utilizar para clasificar cada uno de los equipos en alguna de las categorías anteriores. Debemos considerar la influencia que una anomalía tiene en cuatro aspectos: producción, calidad, mantenimiento y seguridad.

— Producción. Cuando valoramos la influencia que un equipo tiene en producción, nos preguntamos cómo afecta a ésta un posible fallo. Dependiendo de que suponga una parada total de la instalación, una parada de una zona de producción preferente paralice equipos productivos, pero con pérdidas de producción asumible o no tenga influencia en producción, clasificaremos el equipo como A, B o C.

— Calidad. El equipo puede tener una influencia decisiva en la calidad del producto o servicio final, una influencia relativa que no acostumbre a ser problemática o una influencia nula.

— Mantenimiento. El equipo puede ser muy problemático, con averías caras y frecuentes; o bien un equipo con un coste medio en mantenimiento. (Navarro Elola, Pastor, & Mugaburu Lacabrera, 1997)

5.2.6 Indicadores de Gestión

Existen muchas formas en que mantenimiento puede medir que tan bien está desarrollando su labor dentro de la empresa, la mayoría de los autores y organismos internacionales que profundizan en este tema, concuerdan en utilizar 3 indicadores

generales para medir la gestión de mantenimiento, estos son Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de un sistema o equipo.

- Confiabilidad: Es la probabilidad que un equipo mantenga su función sin fallar dentro del tiempo que es requerido.
- Disponibilidad: Es la probabilidad que un equipo se encuentre en condiciones de funcionamiento normal cuando es requerido.
- Mantenibilidad: Es la capacidad inherente del equipo a que sea retornado a condiciones normales de operación.

Este tipo de análisis que en principio fue introducido por la aviación de los estados unidos, sirve como indicadores estándar que permiten mediciones y comparaciones de un mismo nivel de cualquier tipo de sistema, y ayudan a llevar un registro de como este varia en el tiempo para un mismo proceso.

Pero este tipo de análisis son útiles para el área de mantenimiento, de hecho, la gerencia de las empresas necesita saber cómo se relaciona el trabajo hecho por mantenimiento y los costos que este genera para obtener los resultados (Amendola, 2005).

Gonzales en sus indicadores de gestión, define estos costos como indicadores de Gestión Económica, en los cuales toma 4 indicadores finales que son (Gonzales Fernández, 2004)

Ilustración 3

Gestión Económica

| | |
|----|---|
| C1 | $\frac{\text{Costes operativos totales del departamento de Mantenimiento}}{\text{Produccion valorada a costes industriales}}$ |
| C2 | $\frac{\text{Costes acumulados por actividades – secciones – instalaciones}}{\text{Costes presupuestados en dichos conceptos}}$ |
| C3 | $\frac{\text{Costes operativos mas costes de paradas en produccion}}{\text{Produccion valorada a costes industriales}}$ |
| C4 | $\frac{\text{Costes de personal indirecto, propio e imputado}}{\text{Costes del personal operativo de Mantenimiento}}$ |

Nota: El autor define estos 4 costos como indicadores de gestión económica. Fuente:

(González Fernández, 2004)

- El primero de ellos (C1) indica cuánto dinero está gastando la empresa en su departamento de mantenimiento en comparación con lo que se produce.
- El segundo indicador (C2) muestra que porcentaje del presupuesto destinado a determinado sistema fue gastado en las intervenciones a este.
- El indicador (C3) es similar a (C1) pero añade los costos generados por las averías.
- Por último (C4) representa el grado de personal propio de mantenimiento.

Por lo anterior, es necesario conocer los tipos de costos involucrados en la labor de mantenimiento, y poder tomarlos como indicador básico de gestión de mantenimiento.

Estos costos pueden ser clasificados de diferentes maneras, los clasifica en 4 tipos: Coste de mano de obra, repuestos, servicios exteriores y costes financieros, el problema con esta clasificación es que no toma en cuenta los costos variables que son generados cuando se presenta una falla (González Fernández, 2004)

5.2.7 Grupo electrógeno

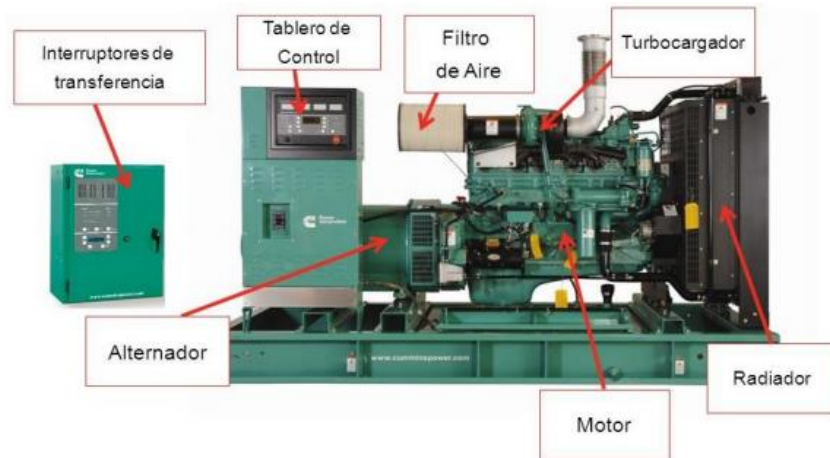
Un grupo electrógeno se refiere a un equipo que tiene como función principal transformar la llamada capacidad calorífica aportada por el combustible en energía mecánica a la salida del eje del cigüeñal del motor y luego en energía eléctrica. Consiste en un motor y un alternador que están acoplados en una base con otros elementos. Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna. Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico. Así mismo, la legislación de los diferentes países puede obligar a instalar un grupo electrógeno en lugares en los que haya grandes densidades de personas, como hospitales, centro de datos, centros comerciales, restaurantes, cárceles, edificios administrativos, etc. Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico. Generalmente son zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas. (FG wilson, 2017).

5.2.7.1 Partes de un grupo electrógeno

Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes:

Ilustración 4

Partes grupo electrógeno.



Nota: El autor presenta las partes principales que conforman un grupo electrógeno. Fuente: (FG wilson, 2017)

5.2.7.1.1 Motor Diesel

El motor diésel que acciona el Grupo Electrónico ha sido seleccionado por su fiabilidad y por el hecho de que se ha diseñado específicamente para accionar grupos Electrónicos. La potencia útil que se quiera suministrar la proporcionará el motor, así que, para una determinada potencia, habrá un determinado motor que cumpla las condiciones requeridas. (FG wilson, 2017).

5.2.7.1.2 Sistema eléctrico del motor

El sistema eléctrico del motor es de **12 [Volt] CC**, excepto aquellos motores los cuales son alimentados a **24 [Volt] CC**. El sistema incluye un motor de arranque eléctrico, unas baterías, sin embargo, se pueden instalar otros tipos de baterías si así se especifica, y los sensores y dispositivos de alarmas de los que disponga el motor. Normalmente, un

motor dispone de un contacto de presión de aceite, un termo contacto de temperatura y de un contacto en el alternador de carga del motor para detectar un fallo de carga en la batería. (FG wilson, 2017)

5.2.7.1.3 Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración del motor puede ser por medio de agua, refrigerante o aire. El sistema de refrigeración por aire consiste en un ventilador de gran capacidad que hace pasar aire frío a lo largo del motor para enfriarlo. El sistema de refrigeración por agua o refrigerante consta de un radiador, un ventilador interior para enfriar sus propios componentes o enfriado a través del sistema de enfriamiento con agua. (FG wilson, 2017)

5.2.7.1.4 Alternador

La energía eléctrica de salida se produce por medio de un alternador apantallado, protegido contra salpicaduras, auto excitado, autorregulado y sin escobillas acoplado con precisión al motor, aunque también se pueden acoplar alternadores con escobillas para aquellos grupos cuyo funcionamiento vaya a ser limitado y, en ninguna circunstancia, forzado a regímenes mayores. Depósito de combustible y bancada. El motor y el alternador están acoplados y montados sobre una bancada de acero de gran resistencia La bancada puede incluir un depósito de combustible con una capacidad mínima de 8 horas de funcionamiento a plena carga, en caso contrario se puede construir uno que cumpla con las normas de la casa clasificadora a la que este sujeto. (FG wilson, 2017).

5.2.7.1.5 Silenciador y sistema de escape

El Grupo Electrónico está dotado de mogollas anti vibrantes diseñados para reducir las vibraciones transmitidas por el Grupo Motor-Alternador. Estos aisladores están

colocados entre la base del motor, del alternador, del cuadro de mando y la bancada. (FG wilson, 2017)

5.2.7.1.6 Sistema de escape

El silenciador de escape va instalado en el Grupo Electrónico, el silenciador y el sistema de escape reducen la emisión de ruidos producidos por el motor. (FG wilson, 2017)

5.2.7.1.7 Sistema de control

Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control para controlar el funcionamiento y salida del grupo y para protegerlo contra posibles fallos en el funcionamiento. El manual del sistema de control proporciona información detallada del sistema que está instalado en el Grupo Electrónico. (FG wilson, 2017)

Ilustración 5

Sistema de control.



Nota: El autor nos presenta uno de los posibles sistemas de control que puede ser utilizado en un grupo eléctrico. (FG wilson, 2017).

5.2.7.1.8 Breaker automático de la salida

Para proteger al alternador, se suministra un breaker automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida del Grupo Electrónico con control manual. Para grupos Electrónicos con control automático se protege el alternador mediante contactores adecuados para el modelo adecuado y régimen de salida. (FG Wilson, 2017).

5.2.8 Metodologías de mantenimiento

Las metodologías de mantenimiento que se tuvieron en cuenta para elaborar los proyectos son las siguientes, ya que tener en cuenta que solo se toman como base para la elaboración del proyecto más no se van a aplicar:

- TPM (Mantenimiento productivo total)
- RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad)
- MBR (Mantenimiento basado en riesgo)
- PMO (Optimización de plan de mantenimiento)

5.2.8.1 TPM (Mantenimiento productivo total)

El TPM (Mantenimiento Productivo Total) surgió en Japón gracias a los esfuerzos del Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) como un sistema destinado a lograr la eliminación de las llamadas (seis grandes pérdidas) de los equipos, con el objetivo de facilitar la implantación de la forma de trabajo “Just in Time” o “justo a tiempo”.

El TPM es una filosofía de mantenimiento cuyo objetivo es eliminar las pérdidas en producción debidas al estado de los equipos, o, en otras palabras, mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas. Esto supone:

- Cero averías
- Cero tiempos muertos
- Cero defectos achacables a un mal estado de los equipos
- Sin pérdidas de rendimiento o de capacidad productiva debidos a estos de los equipos

Se entiende entonces perfectamente el nombre: mantenimiento productivo total, o mantenimiento que aporta una productividad máxima o total.

Desde la filosofía del TPM se considera que una máquina parada para efectuar un cambio, una máquina averiada, una máquina que no trabaja al 100% de su capacidad o que fabrica productos defectuosos está en una situación intolerable que produce pérdidas a la empresa. La máquina debe considerarse improductiva en todos esos casos, y deben tomarse las acciones correspondientes tendentes a evitarlos en el futuro. TPM identifica seis fuentes de pérdidas (denominadas las “seis grandes pérdidas”) que reducen la efectividad por interferir con la producción:

- Fallos del equipo, que producen pérdidas de tiempo inesperadas.
- Puesta a punto y ajustes de las máquinas (o tiempos muertos) que producen pérdidas de tiempo al iniciar una nueva operación u otra etapa de ella. Por ejemplo, al inicio en la mañana, al cambiar de lugar de trabajo, al cambiar una matriz o matriz, o al hacer un ajuste.

- Marchas en vacío, esperas y detenciones menores (averías menores) durante la operación normal que producen pérdidas de tiempo, ya sea por problemas en la instrumentación, pequeñas obstrucciones, etc.
- Velocidad de operación reducida (el equipo no funciona a su capacidad máxima), que produce pérdidas productivas al no obtenerse la velocidad de diseño del proceso.
- Defectos en el proceso, que producen pérdidas productivas al tener que rehacer partes de él, reprocesar productos defectuosos o completar actividades no terminadas.
- Pérdidas de tiempo propias de la puesta en marcha de un proceso nuevo, marcha en vacío, periodo de prueba, etc.

El análisis cuidadoso de cada una de estas causas de baja productividad lleva a encontrar las soluciones para eliminarlas y los medios para implementar estas últimas. Es fundamental que el análisis sea hecho en conjunto por el personal de producción y el de mantenimiento, porque los problemas que causan la baja productividad son de ambos tipos y las soluciones deben ser adoptadas en forma integral para que tengan éxito. (García Garrido, MantenimientoPetroquímica, 2017).

5.2.8.2 RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad)

RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos

costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

Fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978. Desde entonces, el RCM ha sido usado para ayudar a formular estrategias de gestión de activos físicos en prácticamente todas las áreas de la actividad humana organizada, y en prácticamente todos los países industrializados del mundo. Este proceso definido por Nowlan y Heap ha servido de base para varios documentos de aplicación en los cuales el proceso RCM ha sido desarrollado y refinado en los años siguientes. Muchos de estos documentos conservan los elementos clave del proceso original. Sin embargo, el uso extendido del nombre “RCM” ha llevado al surgimiento de un gran número de metodologías de análisis de fallos que difieren significativamente del original, pero que sus autores también llaman “RCM”. Muchos de estos otros procesos fallan en alcanzar los objetivos de Nowlan y Heap, y algunos son incluso contraproducentes. En general tratan de abreviar y resumir el proceso, lo que lleva en algunos casos a desnaturalizarlo completamente.

Como resultado de la demanda internacional por una norma que establezca unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado “RCM” surgió en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. No intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen,

como se ha dicho, unos criterios que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM. (Garcia Garrido, <http://santiagogarciagarrido.com/>, 2017).

5.2.8.3 MBR (*Mantenimiento basado en riesgo*)

Podemos considerar al Mantenimiento Basado en Riesgo (RBM) como la evolución del RCM (Mantenimiento Basado en la Fiabilidad), RCM está basado en el estado del equipo y en su importancia dentro del sistema, pero está limitado por la dificultad para cuantificar los problemas que el equipo presenta.

Y es precisamente la capacidad de cuantificar los problemas, además de su mayor sencillez de aplicación, lo que hace que RBM se aplique con éxito en el sector del Oil&Gas, plantas petroquímicas, generación y distribución de energía, etc.... consiguiendo ahorros muy importantes.

La norma API RP 580 define el riesgo como la combinación de la probabilidad de que se produzca un suceso durante un determinado periodo de tiempo y las consecuencias de que ese suceso ocurra. En términos matemáticos lo define como:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia}$$

Pudiendo obtener un valor económico (si la consecuencia está valorada económicamente) o una clasificación utilizando una matriz de riesgos.

API considera a las Inspecciones Basadas en Riesgo (RBI) como un método de nueva generación para calcular los periodos entre inspecciones, al fijar la atención en los equipos y los mecanismos de deterioro que tienen mayor riesgo para una instalación. Considerando que el principal objetivo de las inspecciones es la seguridad y la fiabilidad.

F.I. Khan y M.M. Haddara proponen una metodología para la realización de planes de Mantenimiento Basado en Riesgo (RBM) que se compone de tres fases:

- Fase I: Estimación del riesgo, teniendo en cuenta una estimación de las consecuencias de cada fallo y la probabilidad de que ese fallo se produzca, que incluye la utilización de Análisis de Árbol de Fallos (FTA).
- Fase II: Evaluación del riesgo, definiendo un nivel de riesgo aceptable y comparando los riesgos estimados de cada fallo con ese valor.
- Fase III: Planificación del mantenimiento, optimizando el plan de mantenimiento para reducir la probabilidad de los fallos que sobrepasan el criterio de aceptación, reduciendo así su riesgo.

En esta última fase podemos utilizar las propuestas de medidas de reducción de riesgos que propone la norma ISO 17776, entre las que destacan la prevención, la detección y el control.

La norma Norsok Standard Z-008 no solo propone la utilización de Mantenimiento Basado en Riesgo (RBM) para diseñar y actualizar los programas de mantenimiento, sino que además propone su utilización para priorizar las actividades de mantenimiento y calcular las cantidades de repuestos y su localización.

Encontramos por lo tanto en RBM una metodología más sencilla que RCM, que requiere también de un estudio previo de fiabilidad pero que incluye una valoración económica del riesgo, lo que permite realizar análisis financieros y facilita la elección de tareas preventivas y predictivas así como la toma de decisiones sobre acciones más complejas, como pueden ser la cantidad de repuestos necesarios, su localización, la

realización de cambios en el diseño de los equipos o cambios en los procedimientos de trabajo. (Alter Evo Ltda, 2013).

5.2.8.4 PMO (*Optimización plan de mantenimiento*)

Un sistema eficaz de mantenimiento debe incluir todas las acciones dirigidas a conservar los límites de diseño de los equipos, para evitar fallas imprevistas, prolongar su ciclo de vida útil y mantener su operación en forma óptima. El sistema de Optimización de Mantenimiento Planeado (PMO) es una metodología que se ha desarrollado para revisar en detalle los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos fijos en operación. Un sistema PMO, facilita el diseño de un marco de trabajo racional y rentable, cuando se tienen los registros históricos de Mantenimiento Preventivo y la planta se mantiene bajo control. A partir de ahí, se logran fácilmente grandes mejoras con una adecuada asignación de los recursos; y el personal de mantenimiento puede enfocar sus esfuerzos en los defectos de diseño de la planta, o en sus limitaciones operativas específicas. El presente texto se basa en la teoría del Sistema PMO, estudia algunos Índices de Gestión, presenta los modelos matemáticos del Análisis Estadístico de la Confiabilidad de los equipos y el cálculo de los costos de las intervenciones, así como de la Frecuencia Óptima de Mantenimiento Preventivo, para minimizar los costos totales, optimizar los programas y mejorar la productividad de la organización. (García Palencia, 2017).

5.3 Marco normativo y legal

Para el desarrollo del presente proyecto se cuenta con varias normas nacionales e internacionales definidas.

Tabla 1

Normas, Leyes, Decretos o Acuerdos que Aplican al Proyecto.

| Norma, Ley, Decreto o Acuerdo | Numeral que Aplica | Observaciones de Nivel de Cumplimiento |
|---|--|---|
| Norma ISO 14224 Industrias de petróleo y gas natural Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos | Todo | En este momento la organización tiene la necesidad de tener claro el inventario y las condiciones actuales de los activos con los que se cuenta, por lo que es necesario utilizar la taxonomía de activos. |
| Norma ISO 55000 Gestión de Activos - Aspectos Generales, Principios y Terminología. | Todo | Se usa como guía y referente de vocabulario para la organización en vista de tener un lenguaje universal para la identificación de los activos. |
| Norma ISO 55001- Gestión de Activos - Requisitos | Todo | En la medida en que conozco el inventario de mis activos y conozco su condición puedo establecer el ciclo de vida y a partir de esto puedo tomar decisiones de que mantenimiento debo aplicar a los activos. |
| Norma ISO 9001 Sistema de Gestión de Calidad – Requisitos. | 4.4. sistema de gestión de calidad y sus procesos. | Es importante aplicar los criterios y métodos (incluyendo el seguimiento, las mediciones y los indicadores del desempeño relacionados) necesarios para asegurarse de la operación eficaz y el control de los procesos. Mantener información documentada y conservarla para tener la confianza de que los procesos se realizan según lo planificado. |

| | | |
|--|-------------------------------|--|
| | 7.1. Recursos. | Fundamental contar con los recursos de personal, como de infraestructura para garantizar los planes de mantenimiento de los activos. |
| | 7.2. Competencias. | El departamento de mantenimiento debe determinar las competencias necesarias del personal para la realización de trabajos de mantenimiento |
| | 7.4. Comunicación | El departamento de mantenimiento debe determinar cómo se deben comunicar las órdenes de trabajo y los documentos necesarios de esta área. |
| | 7.5. Información Documentada. | Los activos deben contar idealmente con una información documentada que permita tener un historial del equipo, para llevar la trazabilidad de este, además se debe saber cómo se crean documentos nuevos o se actualizan de una forma organizada, para poder tener un control total de los documentos. |
| | 10.3. Mejora Continua | Todos los planes de mantenimiento deben tener como premisa la mejora continua, debido que cada vez salen nuevos estudios o técnicas para el mantenimiento que permiten obtener una mayor eficiencia en la confiabilidad de los equipos. |
| Norma ISO 31010 Selección y aplicación de técnicas útiles para la evaluación de riesgo | Todo | Con esto establecemos los riesgos que aplican para cada una de las operaciones en las cuales desarrollaremos nuestro plan de mantenimiento para los equipos de generación |
| Certificación RUC (Registro Único de Contratistas) | Todo | Se debe tener la certificación RUC para poder aplicar a licitaciones y contratos con el sector O&G |

| | | |
|--|------|--|
| Norma OHSAS 18001 Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo | Todo | En necesario tener esta certificación ya que es aplicable para organizaciones comprometidas con la seguridad y salud laboral y con la prevención de riesgos laborales siendo una herramienta fundamental y de reconocido prestigio ante las instituciones. |
|--|------|--|

Nota: En esta tabla observamos el resumen de las Normas, Leyes, Decretos o Acuerdos que Aplican al Proyecto, para las cuales, para algunas aplican toda la norma y en otras algunos numerales, además, encontramos las observaciones a nivel de cumplimiento, Fuente: Elaboración propia.

6 Diseño Metodológico

El trabajo se desarrolló dentro de un enfoque de investigación Documental / Explicativa ya que se describe un problema y se busca la causa, y se trata de dar solución mediante la recopilación de información técnica de los equipos, la población y muestras se tomaron por el método no probabilístico ya que la selección de los equipos a analizar fue determinada por los autores.

La verificación y diagnóstico, se desarrollará para los grupos electrógenos que se encuentran en las instalaciones de la empresa Global Energy & Production Company la cual está ubicada en la vereda calahorra lote el antojo del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

La empresa actualmente ejecuta un plan de mantenimiento básico a los componentes de los equipos de generación, el restante de las intervenciones se realiza por medio de mantenimientos correctivos.

Las actividades que se tienen planteadas para el desarrollo del proyecto son las siguientes:

- Verificación y actualización del inventario.
- Revisión y diagnóstico.

- Definir viabilidad para posible puesta a punto de los equipos.
- Caracterización de mantenimiento en la empresa
- Recurso humano
- Manejo y registro de la información
- Verificación indicadores e histórica de fallas que actualmente se llevan en la empresa.
- Reunión con gerencia de la empresa para conocer sus requerimientos.
- Definir el plan de mantenimiento adecuado, acorde a las necesidades de la empresa.
- Análisis de costos.
- Realizar la estructura de gestión para el control del plan propuesto.
- Definir listado de indicadores a llevar.

En cuanto a la recolección de información y datos acerca de los grupos electrógenos, se tomarán las hojas de vida de estos y se revisara la data que se encuentre por equipo; con el fin de posteriormente sacar un listado de las intervenciones y eventos más relevantes. Se realizará una inspección y diagnóstico a cada uno de los equipos para determinar las intervenciones a realizar.

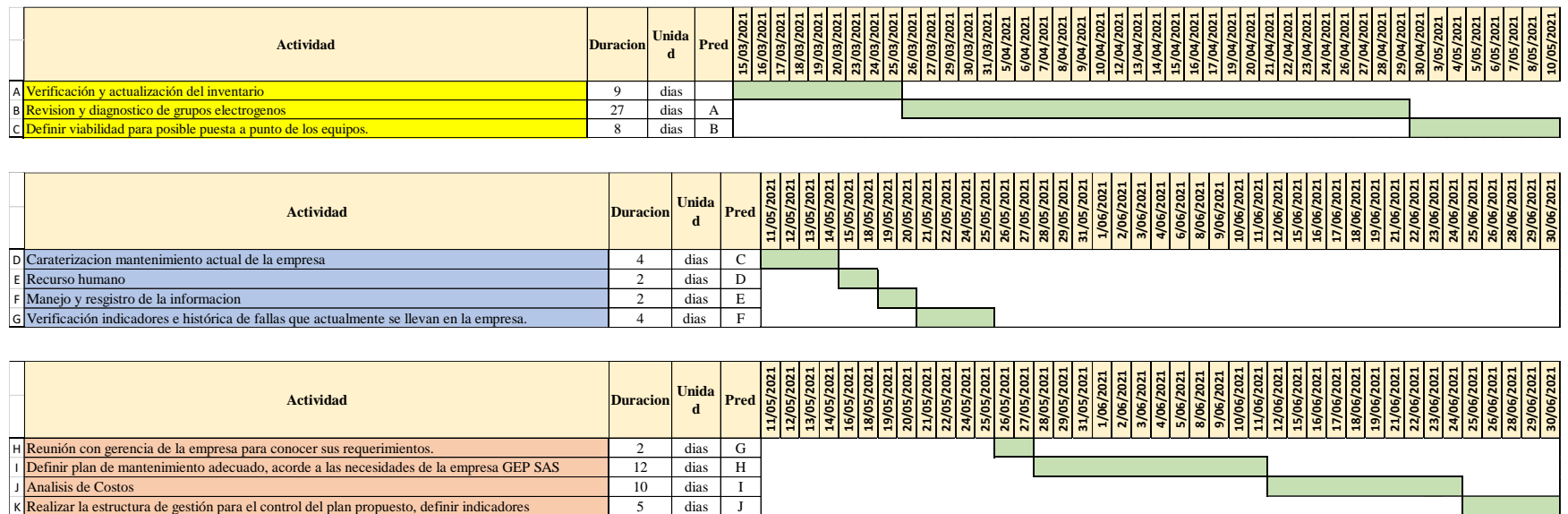
Una vez que se tenga la información más relevante por equipo, se realizará un presupuesto de intervención para determinar su viabilidad, para posteriormente llegar a definir un cronograma para las reparaciones, con el histórico de fallas, manuales de los equipos y necesidades de la empresa se procederá a definir una propuesta para un nuevo plan de mantenimiento.

7 Cronograma

El cronograma tiene una duración de 11 semanas, dando inicio el día 15/03/2021 y finalizando el 30/06/2021.

Ilustración 6

Cronograma de actividades por objetivos.



Nota: En esta ilustración observamos el cronograma, con las diferentes actividades a realizar por objetivos propuestos, especificando el tiempo de ejecución de cada una de ellas, Fuente: Elaboración propia.

8 Resultados

8.1 Inventario de grupos electrógenos

Disponer de un inventario actualizado dentro de la empresa GEP SAS, se convierte en una necesidad, para definir el plan de mantenimiento propuesto y para llevar un control de los activos pertenecientes a la empresa.

En la empresa se cuenta con un archivo “GEPF-OP-GM-011 DOCUMENTO MAESTRO DE GRUPOS ELECTRÓGENOS V.2”, donde se encuentra el listado de equipos de generación con los datos correspondientes como se muestra en la ilustración 7.

Ilustración 7

Encabezado documento maestro de grupos electrógenos

| ID GEN | MODELO GRUPO ELECTRÓGENO | HORÓMETRO (hrs) | POTENCIA GRUPO ELECTRÓGENO STAND BY @ 1800 rpm | MARCA MOTOR | MODELO MOTOR | SERIAL MOTOR | MARCA GENERADOR | MODELO GENERADOR | SERIAL GENERADOR | ESTADO | UBICACIÓN | VIDA UTIL EN HORAS DE OPERACIÓN |
|--------|--------------------------|-----------------|--|-------------|--------------|--------------|-----------------|------------------|------------------|--------|-----------|---------------------------------|
|--------|--------------------------|-----------------|--|-------------|--------------|--------------|-----------------|------------------|------------------|--------|-----------|---------------------------------|

Nota: En esta ilustración observamos el encabezado con los diferentes ítems que se tiene en el documento para el control de inventario, Fuente: Empresa GEP SAS.

Se realiza una verificación del formato, que actualmente se utiliza en la empresa para manejo de inventario de grupos electrógenos, el cual es correcto ya que se incluyen los datos más relevantes para estos equipos.

Ilustración 8

Documento maestro de grupos electrógenos

| GEP® | | DOCUMENTO MAESTRO DE GRUPOS ELECTROGENOS | | | | | | | | | | 2 |
|--|--------------------------|---|--|------------------------|--------------|--------------------|-----------------|------------------|------------------|--------|-----------|---------------------------------|
| GEPF-OP-GM-011 | | | | | | | | | | | 5/04/2018 | |
| ESTADO DE EQUIPO | | | | | | | | | | | 1 DE 1 | |
| FDS: FUERA DE SERVICIO DESPUES DE DIAGNOSTICADO | | FDS-PI: FUERA DE SERVICIO, PENDIENTE E INSPECCION | | SIB: STAND-BY EN CAMPO | | | | | | | | |
| FDS-PM: FUERA DE SERVICIO, PENDIENTE MANTENIMIENTO | | OP: OPERATIVO EN CAMPO | | DIAG: EN DIAGNOSTICO | | | | | | | | |
| ID GEN | MODELO GRUPO ELECTROGENO | HORÓMETRO (hrs) | POTENCIA GRUPO ELECTROGENO STAND BY @ 1800 rpm | MARCA MOTOR | MODELO MOTOR | SERIAL MOTOR | MARCA GENERADOR | MODELO GENERADOR | SERIAL GENERADOR | ESTADO | UBICACIÓN | VIDA UTIL EN HORAS DE OPERACIÓN |
| 10 | CNY - 250 OTTOMOTORES | 19785 | 313 KVA 250 KW | CUMMINS | QSL9 G3 | 46986729 | STAMFORD | UCDI.274K1L | M08K581801 | FDS-PI | BASE | 24.000 |
| 15 | MP - 400 MODASA | 15247 | 644 KVA 515 KW | PERKINS | 2506C | TGHF5069U14815U | STAMFORD | HCL434F1L | M10G272917 | FDS-PI | BASE | 24.000 |
| 17 | CNY - 250 OTTOMOTORES | 7177 | 313 KVA 250 KW | CUMMINS | QSL9 G3 | 21974005 | STAMFORD | UCDI.274K | M11B056093 | FDS-PI | BASE | 24.000 |
| 20 | MP - 205 MODASA | 4772 | 644 KVA 515 KW | PERKINS | 2506C | WGDF7005N10679U | STAMFORD | UC I274HIL | M10F258074 | FDS-PI | BASE | 24.000 |
| 21 | MP - 205 MODASA | 22090 | 644 KVA 515 KW | PERKINS | 2506C | WGDF7005 - N10882U | STAMFORD | UCI274CIL | M10G298104 | FDS-PI | BASE | 24.000 |
| 28 | CNY - 250 OTTOMOTORES | 21853 | 313 KVA 250 KW | CUMMINS | QSL9 G3 | 21974256 | STAMFORD | UCDI.274K | M11B056090 | FDS-PI | BASE | 24.000 |
| 38 | P - 200 CASA INGLESA | 3072 | 644 KVA 515 KW | PERKINS | 2506C | WGDF7005 N10077W | STAMFORD | UCL274H1 | M12C127965 | FDS-PI | BASE | 24.000 |
| 54 | CNY 300 OTTOMOTORES | 6957 | 375 KVA 300 KW | CUMMINS | QSL9 G3 | 22083549 | STAMFORD | HCL434D | M13C126133 | FDS-PI | BASE | 24.000 |
| 55 | CNY 300 OTTOMOTORES | 4949 | 375 KVA 300 KW | CUMMINS | QSL9 G3 | 22070629 | STAMFORD | HCL434D | M13D171015 | FDS-PI | BASE | 24.000 |
| 75 | WCS800D6 POWERLINK | 8434 | 937 KVA 750 KW | CUMMINS | KTA38 | 41207050 | STAMFORD | HC.634B | D900315093 | FDS-PI | BASE | 24.000 |

Nota: En esta ilustración observamos el inventario actualizado de equipos. Fuente: Empresa GEP SAS.

En la ilustración 8, se muestra el listado de grupos electrógenos fuera de servicio ubicados en base Cajicá, esta información se encuentra actualizada y se puede observar la identificación del equipo, potencia, marca, modelo, seriales, horómetro y su estado, estos datos fueron verificados en compañía de la parte técnica de la empresa.

8.2 Estado actual de los equipos de generación

En coordinación con la gerencia se realizó la verificación del estado actual de los equipos con un recurso humano disponible conformado por: 1 técnico mecánico y 1 técnico eléctrico y 2 auxiliares, los cuales se encargaron de realizar la revisión de los equipos para

determinar su estado actual y dar un diagnóstico referente a las fallas presentes en cada uno de los equipos que se encuentran fuera de servicio.

8.2.1 Generador Perkins 2506C (GEN 21)

Según último reporte de campo presenta recalentamiento evidenciándose afectación en el empaque de culata quedando fuera de servicio, se inicia con el diagnóstico desmontando culata y realizándose pruebas de estanqueidad en la cual se evidencia desgaste en camisas y anillos, se realiza verificación de planitud en culata y bloque las cuales presentan desviaciones, se identifica un alto grado de desgaste en piezas internas (eje balancines, balancines, válvulas, eje de levas etc.), para lograr habilitar este equipo es necesario realizar una reparación mayor (OVH).

Ilustración 9

Componentes del GEN 21



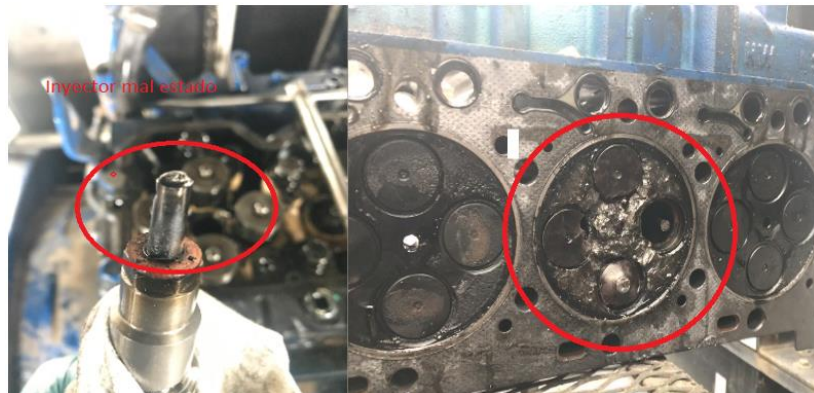
Nota: En esta ilustración observamos el estado de los componentes del Generador Perkins 2506C (GEN 21) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

8.2.2 Generador Cummins QSL9-G5 (GEN 55)

Se desmonta culata evidenciándose afectación en el puesto número 5 donde se encuentra comprometido pistón, culata e inyector, se continua con el desarme donde se observa un desgaste interno de piezas normal en balancines, eje balancines, eje de levas y camisas, debido a la gravedad del daño presentado es necesario enviar el equipo a una reparación mayor overhaul (OVH), donde se debe cambiar culata y realizar metrología en cigüeñal para descartar una afectación. Importante identificar la causa raíz de la falla ya que con el daño del inyector existe la posibilidad de una inadecuada calibración de válvulas e inyectores.

Ilustración 10

Componentes GEN 55



Nota: En esta ilustración observamos el estado de los elementos inyector y culata del Generador Cummins QSL9-G5 (GEN 55) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

Ilustración 11

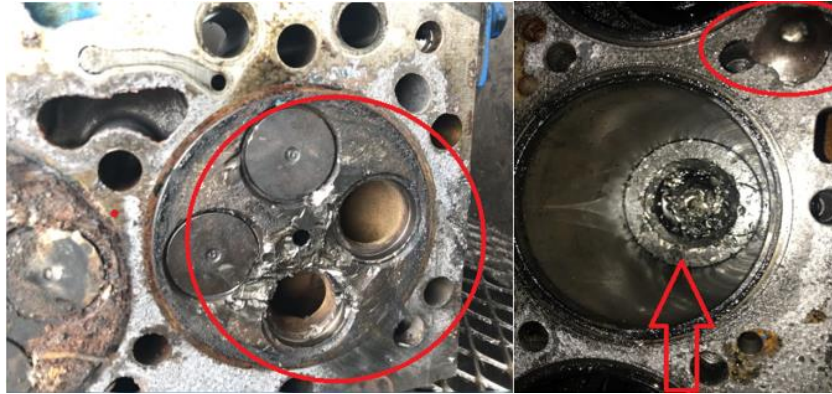
Componentes GEN 55



Nota: En esta ilustración observamos el estado de los componentes del Generador Cummins QSL9-G5 (GEN 55) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

8.2.3 Generador Cummins QSL9-G5 (GEN 54)

Al retirar algunos componentes como mangueras del sistema aftercooler, mangueras del sistema de refrigeración y turbo cargador, se evidencia que este equipo ya había sido inspeccionado, debido a que la mayoría de sus piezas se encuentran sueltas, inicialmente se retira tapa de válvulas se evidencia que no cuenta con inyectores, se continúa con el desmonte de culata donde se observa afectación en el puesto número 6 el cual compromete culata, camisa y pistón, adicional uno de los tornillos de la culata se encuentra partido, es necesario enviar el equipo a una reparación mayor (OVH), donde se debe cambiar culata y realizar metrología en cigüeñal para descartar una afectación.

Ilustración 12*Componentes GEN 54*

Nota: En esta ilustración observamos el estado de los componentes del Generador Cummins QSL9-G5 (GEN 54) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

Ilustración 13*Componentes GEN 54*

Nota: En esta ilustración observamos el estado de los componentes del Generador Cummins QSL9-G5 (GEN 54) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

8.2.4 Generador Perkins 2506C (GEN 38)

Según último reporte de campo el motor presenta consumo excesivo de aceite, se procede con la verificación donde se evidencia turbo en mal estado con daño interno el cual permite el paso de aceite al intercooler ocasionando saturación interna del radiador, se procede a desmontar culata, se evidencia alto desgaste de piezas (camisas, balancines, eje de balancines etc.) , se procede a realizar prueba de estanqueidad, las cuales confirman el desgaste excesivo presentado en camisas, anillos, pistones y probablemente en casquetes de bancada y biela, para lograr habilitar este equipo es necesario realizar una reparación mayor (OVH).

Ilustración 14

Componentes GEN 38



Nota: En esta ilustración observamos el estado de los componentes del Generador Perkins 2506C (GEN 38) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

Ilustración 15*Componentes GEN 38*

Nota: En esta ilustración observamos el estado de los componentes del Generador Perkins 2506C (GEN 38) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

8.2.5 Generador Cummins QSL9-G3 (GEN 28)

Durante la verificación se observa falta de componentes en el equipo como la bomba de inyección, ventilador y polea; Según último reporte de campo existe fuga de aceite por empaque de culata, se procede a desmontar culata, se evidencia alto desgaste de piezas (camisas, balancines, eje de balancines etc.) , se procede a realizar prueba de estanqueidad, las cuales confirman el desgaste excesivo presentado en camisas, anillos y pistones, para lograr habilitar este equipo es necesario realizar una reparación mayor (OVH).

Ilustración 16

Componentes GEN 28



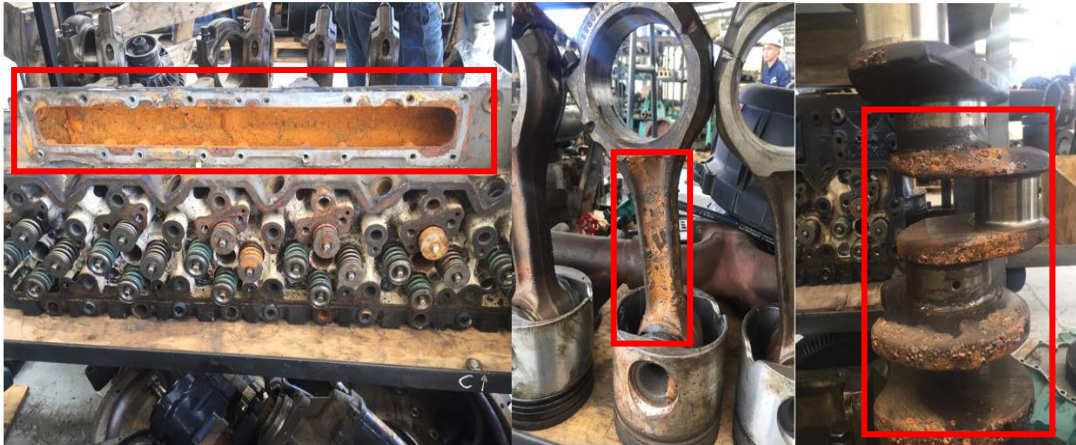
Nota: En esta ilustración observamos el estado de los componentes del Generador Cummins QSL9-G3 (GEN 28) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

8.2.6 Generador Cummins QSL-G3 (GEN 10)

Durante la inspección visual del equipo se encuentra que le hace falta los siguientes componentes, sensor de presión de aceite, tubería de retorno de las líneas de combustible desde la bomba principal al riel de inyección de combustible, el ventilador se encuentra con las aspas rotas y el equipo no cuenta con cableado de control. Se procede a realizar la inspección interna de componentes del motor y se encuentra la culata, inyectores, bielas, pistón y cigüeñal con picaduras del material por alta presencia de oxido debido a mal almacenamiento del equipo. Para habilitar el equipo es necesario realizar una reparación mayor (OVH).

Ilustración 17

Componentes GEN 10



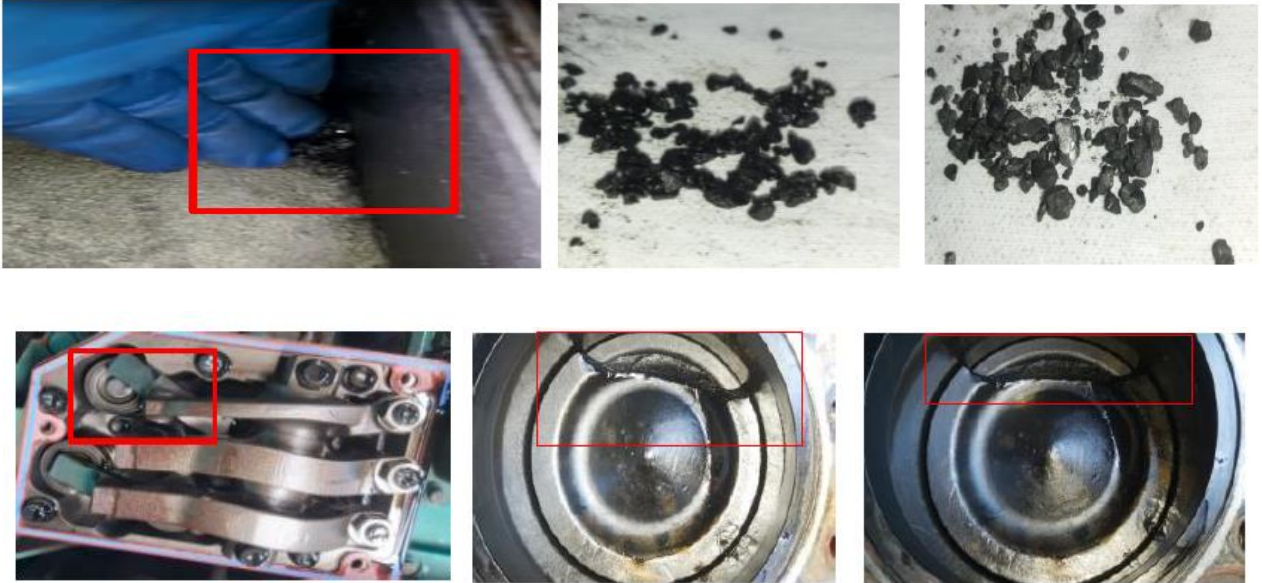
Nota: En esta ilustración observamos el estado de los componentes del Generador Cummins QSL9-G3 (GEN 10) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

8.2.7 Generador Cummins KTA-38 P1200 (GEN 75)

De acuerdo con el último reporte de operación del equipo en campo, el motor empezó a presentar exceso de humo blanco por el escape del banco izquierdo del motor. Según el diagnóstico inicial del personal técnico en campo se encontró presencia de material metálico en las cámaras de admisión de aire del equipo del banco izquierdo, por lo que se procedió a realizar el desensamble de culatas para inspección de componentes internos del motor, se encontró una cruceta de la admisión por fuera del alojamiento, lo que se produjo una mezcla irregular en la cámara de combustión y esto a su vez generó una combustión incompleta y la rotura en el pistón # 3. El equipo queda fuera de servicio. Para habilitar el equipo es necesario realizar una reparación mayor (OVH).

Ilustración 18

Componentes GEN 75



Nota: En esta ilustración observamos el estado de los componentes del Generador Cummins KTA-38 P1200 (GEN 75) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

8.2.8 Generador Perkins 2206A (GEN 15)

No se tiene información previa de reportes de fallas, operación y mantenimiento del equipo, en la revisión realizada por el personal técnico el equipo se encuentra dentro de la cabina con presencia de alta suciedad, el motor no tiene correa de ventilador, presenta fuga de aceite por empaque del Carter, fuga de aceite por empaque tapa válvulas, fuga de aceite por empaque de retenedor trasero del cigüeñal, se evidencia aceite emulsionado, se realiza desmonte de culatas y se encuentra anillos de los pistones dañados, enfriador de aceite

fracturado, retenedor de bomba de agua en mal estado, cabeza de pistón fisurada. Para habilitar el equipo es necesario realizar una reparación mayor (OVH).

Ilustración 19

Componentes GEN 15



Nota: En esta ilustración observamos el estado de los componentes del Generador Perkins 2206A (GEN 15) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

8.2.9 Generador Cummins QSL9 – G3 (GEN 17)

No se tiene información previa de reportes de fallas, operación y mantenimiento del equipo, en la revisión realizada por el personal técnico el equipo se encuentra con una cabeza de pistón desarmada, con alta presencia de oxidación, galerías de lubricación y refrigeración tapadas, cilindros llenos de agua con alta presencia de oxidación, debido a mal almacenamiento del equipo, aceite emulsionado, no ay procedencia de falla ya que el equipo se encuentra desarmado y sus componentes se encuentran en muy malas

condiciones, El equipo en el estado que se encuentra no se considera para reparación mayor (OVH), es necesario dar de baja a el equipo.

Ilustración 20

Componentes GEN 17



Nota: En esta ilustración observamos el estado de los componentes del Generador Cummins QSL9 G3 (GEN 17) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

8.2.10 Generador Perkins 2506C (GEN 20)

No se tiene información previa de reportes de fallas, operación y mantenimiento del equipo, en la revisión realizada por el personal técnico se encuentra el equipo con el flexible roto, fuga de aceite por empaque del turbocompresor, correa del ventilador en mal estado, fuga de aceite por empaque de tapa válvulas, fuga de aceite por retenedor delantero del cigüeñal, fuga de aceite empaque del Carter, fuga de aceite y agua por empaque cabeza de pistón, fuga de aceite empaque bomba de combustible, nivel de aceite en el Carter por

encima de lo recomendado, la bitácora del equipo indica que sufrió fallas por alta temperatura y vibraciones anormales. Para habilitar el equipo es necesario realizar una reparación mayor (OVH).

Ilustración 21

Componentes GEN 20



Nota: En esta ilustración observamos el estado de los componentes del Generador Perkins 1306C (GEN 20) según diagnóstico realizado, Fuente: Empresa GEP SAS.

8.3 Análisis Económico

Después de tener la información actualizada de los equipos que se encuentran fuera de servicio, se procedió a realizar un análisis económico para determinar la viabilidad de reparación mayor (OVH).

De acuerdo con políticas de la compañía, solo se considerará viable una reparación mayor si el costo total incluyendo mano de obra no supera el 50% del valor del equipo nuevo, ya que sería más rentable para la compañía su adquisición y no incurriría en costos adicionales como la mano de obra, reducirían los tiempos de intervención, se tendría un

soporte adicional como es la garantía del equipo directamente de fábrica y su vida útil sería mayor comparándola con una reparación mayor.

El análisis económico se realizó para los 10 equipos que se encuentran fuera de servicio, los valores para el análisis se tomaron en dólares, debido a que los repuestos para la intervención mayor son adquiridos fuera del país, ya que son importados y el precio del dólar afecta directamente su valor, adicional se hizo la comparación del valor de reparación versus el valor del equipo nuevo, fue necesario realizarlo en dólares ya que los equipos nuevos se adquieren fuera del país por lo que son importados y su valor se comercializa en dólares.

Para sacar el costo total de la reparación mayor se tuvieron en cuenta 4 ítems principales para el análisis económico:

- Costos repuestos reparación mayor
- Mano de obra externa
- Reparación, calibración inyectores y bomba de combustible
- Mano de obra personal de la compañía

A continuación, se muestra en la ilustración 22 los costos individuales por ítem y el valor del costo total de la reparación mayor de uno de los equipos.

Ilustración 22

Costos reparación


| ID | Ensamblador | MODELO MOTOR | POTENCIA STANDBY | Horómetro | COSTO REPUESTOS TIPO OVH INCLUIDO IVA | MANO DE OBRA RECTIFICADORA | REPARACION / CALIBRACION INYECTORES, BOMBA DE COMBUSTIBLE | MANO DE OBRA GEP | TOTAL REPARACIÓN INCLUIDO IVA |
|----|-----------------------|--------------|------------------|-----------|---------------------------------------|----------------------------|---|------------------|-------------------------------|
| 10 | CNY - 250 OTTOMOTORES | QSL9 G3 | 313 KVA 250 KW | 19785 | USD 10.121,94 | USD 1.061,56 | USD 1.857,14 | USD 2.394,08 | USD 15.434,73 |

Nota: Análisis económico por ítem, costos reparación mayor equipo (GEN 10). Fuente: elaboración propia.

Después de la obtención del valor total de la reparación mayor del equipo, se procede a realizar la comparación del valor total de reparación mayor contra el valor total de adquisición de un equipo nuevo y se determina si es viable de acuerdo con la política de la compañía, la cual tiene como objetivo establecer un porcentaje de comparación, para determinar si es viable o no es económicamente viable su reparación en las instalaciones de la compañía, o por el contrario es mejor la adquisición de un equipo nuevo, para esto se tiene que si el valor total de la reparación del equipos incluyendo la mano de obra, no supera el 50% del valor de adquisición de un equipo nuevo, incluyendo los costos de importación y nacionalización del mismo; Se considera que la reparación es viable, pero si este supera el 50% del valor del equipo nuevo, no se considera viable y la gerencia tomara la decisión de la adquisición del equipo.

Ilustración 23

Cuadro comparativo de costos

|  ANALISIS DE REPARACIÓN TIPO OVH MOTORES QSL9 | | | | |
|---|-------------------------------|--------------------------------|------------------|------------|
| ID | TOTAL REPARACIÓN INCLUIDO IVA | Costo nuevo MOTOR INCLUIDO IVA | % de OVH a Nuevo | VIABILIDAD |
| 10 | USD 15.434,73 | USD 24.570,93 | 63% | NO VIABLE |


Nota: Comparación de costos y determinación de viabilidad de reparación mayor (GEN 10)

En la ilustración 23 se observa el valor total de la reparación del equipo, el valor de adquisición del equipo nuevo, el porcentaje de la relación entre el costo de la reparación y el valor a nuevo y la determinación de la viabilidad definidas por políticas de la compañía.

De acuerdo con los valores obtenidos se pudo determinar que la intervención no es viable debido a que el valor total de la reparación mayor supera en un 13% el valor mínimo aceptado de acuerdo con la compañía. Por lo que se recomienda realizar la adquisición de equipos nuevos. A continuación, se muestra el análisis que se realizó para los demás equipos que se encontraban para reparación mayor.

Ilustración 24

Análisis reparación mayor OVH

|  ANALISIS DE REPARACIÓN TIPO OVH MOTORES | | | | |
|--|-------------------------------|--------------------------------|------------------|------------|
| ID | TOTAL REPARACIÓN INCLUIDO IVA | Costo nuevo MOTOR INCLUIDO IVA | % de OVH a Nuevo | VIABILIDAD |
| 10 | USD 15.434,73 | USD 24.570,93 | 63% | NO VIABLE |
| 15 | USD 34.553,21 | USD 63.028,75 | 55% | NO VIABLE |
| 17 | USD 15.434,73 | USD 24.570,93 | 63% | NO VIABLE |
| 20 | USD 34.553,21 | USD 63.028,75 | 55% | NO VIABLE |
| 21 | USD 34.553,21 | USD 63.028,75 | 55% | NO VIABLE |
| 28 | USD 15.434,73 | USD 24.570,93 | 63% | NO VIABLE |
| 38 | USD 34.553,21 | USD 63.028,75 | 55% | NO VIABLE |
| 54 | USD 15.434,73 | USD 24.570,93 | 63% | NO VIABLE |
| 55 | USD 15.434,73 | USD 24.570,93 | 63% | NO VIABLE |
| 75 | USD 81.420,52 | USD 139.944,40 | 58% | NO VIABLE |

Nota: Comparación de costos y determinación de viabilidad de reparación mayor equipos fuera de servicio

En la ilustración 24 se puede observar el análisis y la determinación de la viabilidad de reparación realizada todos los equipos que se encuentran fuera de servicio.

Con el análisis anterior, se pudo observar que no fue viable económicamente la reparación mayor de ninguno de los equipos, por lo que queda a potestad de la Gerencia general tomar la dedición de compra de nuevos equipos y la disposición final de estos equipos fuera de servicio. Para ver más información del análisis de costo de la reparación mayor de los equipos ver Anexo # 1, 2 y 3.

8.4 Caracterización de mantenimiento en la empresa GEP SAS

La empresa GEP S.A.S cuenta con unas instalaciones ubicadas en Cajicá, la cual consta de ciertas áreas donde se almacenan y se realizan los mantenimientos a los equipos de generación, uno de los principales problemas es el deterioro ocasionado a raíz de sus largos periodos inoperativos donde no se realiza ningún tipo de mantenimiento de conservación.

Actualmente, la empresa GEP S.A.S tiene como objetivo principal asegurar la conformidad del producto terminado o servicio prestado, para la obtención de un producto de calidad a través de distintos procesos y actividades que aseguren un producto óptimo. Para el aseguramiento de la calidad de operación de los equipos, se manejan unos indicadores de gestión para la medición del desempeño de cada uno de los equipos, los indicadores que se manejan son los de Confiabilidad y Disponibilidad. La mayoría de los equipos operativos en campo se encuentran por debajo de la meta de cada uno de los indicadores como se muestra a continuación.

Ilustración 25

Indicadores de gestión equipo GEN 53

| UBICACIÓN | TAG | ESTADO | CONFIABILIDAD EQUIPOS JULIO 2021 PLAN MANTENIMIENTO ACTUAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|-------------|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | TOTAL |
| CAMPO | GEN 53 (1000 Kw) | OPERATIVAS | 21 | 22 | 24 | 24 | 24 | 24 | 22 | 24 | 16 | 24 | 24 | 19 | 24 | 17 | 20 | 20 | 24 | 24 | 24 | 24 | 22 | 22 | 24 | 24 | 22 | 24 | 23 | 24 | 21 | 24 | 699 | |
| | | STAND BY | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 19 |
| | | PREVENTIVAS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| | | CORRECTIVAS | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 22 |
| | | # FALLAS | MES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | CONFIABILIDAD | | | | | | | | | | | | | | | DISPONIBILIDAD | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 8 | 97,04% | | | | | | | | | | | | | | | 96,51% | | | | | | | | | | | | | | | | |

Nota: Indicadores de gestión operación equipos (GEN 53) Julio 2021

En la ilustración 25 se puede observar los datos de operación del equipo (GEN 53) para el mes de julio del año 2021, adicional se observa los valores de confiabilidad, disponibilidad y numero de fallas calculados de acuerdo con los datos operativos en el transcurso del mes.

Para el cálculo de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos se utilizan las horas operativas, horas Stand By, horas de mantenimiento preventivo, y horas de mantenimiento correctivo, de la operación del equipo en un tiempo determinado, para nuestro caso se realiza mensualmente. Los valores mínimos aceptadas por políticas de la compañía para la confiabilidad es del 98% y de disponibilidad del 97%. Como se muestra en la ilustración 25, se puede evidenciar que la confiabilidad y disponibilidad del equipo GEN 53 no cumplen con los valores mínimos establecidos por la compañía, lo que ocasiona que se presenten problemas operativos, multas y daño de la imagen de la compañía frente al cliente donde se encuentra el equipo rentado.

Dentro de las instalaciones, GEP S.A.S realiza a sus equipos varios procesos de mantenimiento según el estado o condiciones en los que estos se encuentren. Normalmente los equipos que ingresan a las instalaciones en Cajicá se encuentran en alto grado de deterioro por fallas durante la operación y la falta de un adecuado plan de mantenimiento, los técnicos encargados realizan un diagnóstico del equipo, y determinar las actividades a desarrollar para su puesta a punto.

Las actividades que se realizan dentro de las instalaciones dependen del estado en que los equipos se encuentren y sus horas de operación. Dentro de las actividades más comunes se tienen:

Para los motores se realizan las siguientes actividades:

- Revisión de niveles de aceite lubricante y refrigerante
- Revisión de fugas en los sistemas de inyección, lubricación y refrigeración.
- Revisión saturación de filtros.
- Revisión del estado de las mangueras, correas, baterías, conexiones, tornillería, devanados y empaques.
- Calibración de válvulas e inyectores.
- Limpieza: Se realiza en motores después de ser reparados, utilizando un desengrasante.

Para los alternadores se realizan las siguientes actividades:

- Revisión de devanados del rotor y el estator del alternador
- Revisión cableada de potencia del bastidor del alternador
- Revisión de tarjetas y cableado de control del alternador

Para las cabinas se realizan las siguientes actividades

- Ajustes de tornillerías de soportes del motor, radiador y alternador
- Ajuste de paneles de las cabinas
- Ajuste de tuberías del sistema de escape del motor
- Ajuste de latonería y pintura

8.4.1 Recurso humano.

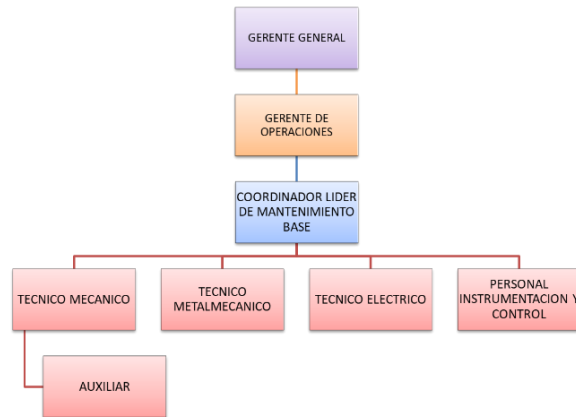
Para la asignación de actividades, el líder de mantenimiento es la persona responsable de comunicar a cada subproceso el alcance de la ejecución de las actividades y de dar las directrices necesarias que permitan el desarrollo normal del proceso, como: tipo de actividad, locación, asignación de tiempos y recursos.

Una vez los trabajos ya están direccionados se solicita la aprobación del coordinador líder de operaciones y la gerencia de operaciones para dar inicio con los trabajos planeados.

A continuación, se muestra la conformación del departamento de operaciones y su distribución en la compañía, solo se hizo énfasis en este departamento ya que es el encargado de realizar los trabajos de mantenimiento y operación dentro de la empresa.

Ilustración 26

Organigrama área de operaciones



Nota: En la ilustración observamos la distribución del personal que compone el área de operaciones dentro de la empresa GEP SAS. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Listado de Personal

| Departamento | Cantidad |
|---|----------|
| Gerente General | 1 |
| Gerente de Operaciones | 1 |
| Coordinador líder de mantenimiento base | 1 |
| Técnico Mecánico | 1 |
| Técnico Eléctrico | 1 |
| Personal instrumentación y control | 1 |
| Personal metalmecánico | 1 |
| Auxiliares | 2 |

Nota: En esta tabla observamos la descripción y personal encargado de la gestión de mantenimiento actualmente en la empresa GEP SAS, Fuente: Elaboración propia.

La jornada laboral está formada por ocho horas diarias de lunes a viernes, tomando una hora de descanso y quince minutos de refrigerio a las 9am, hora de ingreso a las 8:00

a.m. y salida a las 5:15 p.m. Los sábados se trabaja cuatro horas saliendo a las 12:30 p.m. Dentro del área operativa es común encontrar pagos adicionales por horas extras laboradas según la urgencia o necesidades del trabajo.

8.4.2 Manejo y registro de la información

La documentación como manuales y registros de los equipos es muy escasa, aunque actualmente cuenta con algunos manuales, muy pocos equipos tienen toda su documentación al día lo que dificulta para tener una información actualizada. Sin embargo, la empresa lleva un formato de orden de trabajo, ver ilustración 27. donde se registra las actividades a realizar, de acuerdo con el planeamiento realizado por los coordinadores, estos se dirigirán a su equipo de trabajo para asignar material, herramienta y personal necesario para el cumplimiento de las actividades asignadas y ejecución de manera organizada.

Estos formatos de orden de trabajo se diligencian a mano y son archivados por los técnicos sin una revisión previa. Cada equipo lleva una carpeta donde se archivan las actividades, uno de los inconvenientes que se tiene al llevar esta base de datos es la pérdida de estos, ya que no existe control adicional para su archivo y conservación, lo que genera inconsistencias al no contar con una base de datos fiable. Actualmente la empresa adquirió un software de mantenimiento (MP9) para evitar todos los inconvenientes de pérdida de la información.

Ilustración 27

Formato Orden de Trabajo Actual



GLOBAL ENERGY & PRODUCTION COMPANY
GENERACION

(clave ISO)
(revisión ISO)

Orden de Trabajo

Folio:

000506
del 7-sep.-2021 al 11-sep.-2021

Responsable: HILDEBRANDO FONSECA LONDOÑO

Generó: William Triana

Revisó:

Autorizó:

Duración aproximada: 5 h 00 m

Fecha y hora de recepción de la OT:

Fecha y hora de devolución de la OT:

N° Permiso de Trabajo

N° AST

[GEN58] GENERADOR 1000KW ANTONIO SPATH 2014 119

Localización: \ CAMPO JACANA


Equipo padre:

Prioridad: **Alta**

Clasificación 1: CAPACIDAD 1000KW

Clasificación 2: QTS30-G4

Centro de costo: GN119 GENERADOR 58





Registro de lecturas (HRS):

| | | | |
|----------------|--------------|----------------|--------------|
| Lectura: _____ | Fecha: _____ | Lectura: _____ | Fecha: _____ |
| Lectura: _____ | Fecha: _____ | Lectura: _____ | Fecha: _____ |
| Lectura: _____ | Fecha: _____ | Lectura: _____ | Fecha: _____ |

Actividades rutinarias

1.CAMBIO DE ACEITE Y FILTROS: \ 1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO 400HRS

Frecuencia: 400 HRS

Duración aproximada: 4 h 00 m

Requiere paro: **No**

Prioridad: **Alta**

Clasificación 1: **MECANICO**

Clasificación 2: **PREVENTIVO**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

Comentarios: _____

Nota: En la ilustración se muestra una orden de mantenimiento actual.

En la ilustración 27 se puede observar el formato de orden de trabajo donde se llevan el registro de actividades realizadas a los equipos actualmente.

8.5 Plan de mantenimiento propuesto

Para la realización de la propuesta del plan de mantenimiento se tomó como referencia los diferentes manuales de los equipos, historial de fallas y requerimientos de la

gerencia, se dividió en 5 tipos de mantenimientos los cuales tienen una frecuencia determinada como se observa en la tabla 3.

Tabla 3

Tipos de Mantenimientos

| TIPO DE MANTENIMIENTO | DESCRIPCIÓN | FRECUENCIA MANTENIBLE EN [H] |
|-----------------------|---|------------------------------|
| M0 | Inspección semanal para Grupos Electrógenos | Semanal |
| M1 | Mantenimiento preventivo para Grupos Electrógenos | 400 |
| M2 | Mantenimiento preventivo para Grupos Electrógenos | 2000 |
| M3 | Mantenimiento preventivo para Grupos Electrógenos | 6000 |
| OVH | Mantenimiento mayor para Grupos Electrógenos | 18000 |

Nota: En la tabla se observa los tipos de mantenimientos propuestos con las distintas frecuencias. Fuente: Elaboración Propia.

Para la identificación y desarrollo de las diferentes actividades dentro de los tipos de mantenimientos planteados (M0, M1, M2, M3 y M4), se organizó en el plan de mantenimiento (Ver Anexo # 4), los diferentes sistemas que constituyen un grupo electrógeno como son:

- ✓ Lubricación
- ✓ Refrigeración
- ✓ Admisión de Aire
- ✓ Combustible
- ✓ Escape
- ✓ Motor
- ✓ Eléctrico
- ✓ Control
- ✓ Generador
- ✓ Cabina

Para una mayor comprensión de las intervenciones a realizar, se asignó un símbolo a cada una de ellas.

Tabla 4

Asignación de símbolos

| | |
|--------------|---|
| Inspeccionar | * |
| Ajustar | O |
| Limpiar | Δ |
| Cambiar | □ |

Nota: En la tabla se observa los tipos de intervenciones a desarrollar, y en donde se les asigna un símbolo. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera para cada uno de los sistemas mencionados de los grupos electrógenos se incluyeron las actividades a ejecutar (ver Anexo 4), tomando en cuenta los repuestos necesarios para el cambio por condición y/o programado.

Ilustración 28

Sistemas de grupos electrógenos

| PLAN DE MANTENIMIENTO GRUPO ELECTROGENO | | | | | | | | | |
|---|---------------|---|---|--|------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| ITEM | SISTEMA | ACTIVIDAD | REPUESTOS CAMBIO POR CONDICION / DISPONIBLE CAMPO | REPUESTOS CAMBIO PROGRAMADO | M0 SEMANAL | M1 400 HORAS | M2 2000 HORAS | M3 4000 HORAS | M4 6000 HORAS |
| 1 | Lubricación | Inspección General De Fugas De Aceite | | | * | * | * | * | * |
| | | Revisión De Nivel De Aceite. Completar Nivel. | Aceite 15W-40 | | *O | * | * | * | * |
| | | Cambio De Filtro De Aceite Principal | | Filtro De Aceite Principal | | □ | □ | □ | □ |
| | | Cambio De Filtro De Aceite By-Pass | | Filtro De Aceite By-Pass | | □ | □ | □ | □ |
| | | Cambio De Aceite. | | Aceite 15W-40 | | □ | □ | □ | □ |
| | | Cambio De Mangueras De Aceite. | | Kit De Mangueras Aceite | | | | | □ |
| 2 | Refrigeración | Inspección General De Fugas De Refrigerante | | | * | * | * | * | * |
| | | Inspección De Restricciones De Aire En Radiador. | | | * | * | * | * | * |
| | | Inspección De Nivel De Refrigerante. Completar Nivel. | Refrigerante | | *O | *O | *O | *O | *O |
| | | Inspección Visual De Correa Del Ventilador. | | | * | * | * | * | * |
| | | Inspección De Cubo Ventilador. | | | * | * | * | * | * |
| | | Verificar Visualmente Vibración Inusual. | | | | | | | |
| | | Inspección De Bomba De Agua. Cambio Por Condición | Bomba De Agua. | | * | * | * | * | *O |
| | | Lavado De Radiador Por Condición y/o Cada 2 Mantenimientos M1, Es Decir Cada 800 Horas. | | | | Δ | Δ | Δ | Δ |
| | | Verificar Tensión Correa Del Ventilador. Tensionar Si Es Necesario | | | | * | O | O | O |
| | | Engrasar Rodamiento Del Cubo Del Ventilador. | | Grasa | | * | O | O | O |
| | | Cambio De Filtro De Refrigerante cada 2 Mantenimientos M1, Es decir cada 800 Horas | | Filtro Refrigerante | | □ | □ | □ | □ |
| | | Tomar Muestra De Aceite Y Realiza Análisis. | | Vampiro, Tarro Toma muestra. | | * | * | * | * |
| | | Cambio De Mangueras Sistema Refrigeración | | Kit De Mangueras Y Abrazaderas Sist. Refrig. | | | | | □ |
| | | Cambio De Cubo Ventilador. Cambio por condicion | Cubo Ventilador | | | | O | O | O |
| Cambio De Correa Del Ventilador. | | Correa Ventilador | | | | | □ | | |

Nota: En la ilustración se observan 2 de los 10 sistemas en los que se dividió el grupo electrógeno esto para una mayor claridad en el momento de las intervenciones. Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 28 se observa las actividades a desarrollar en 2 de los 10 de los sistemas definidos.

Ilustración 29

Personal asignado a actividades

| FRECUENCIA MANTENIBLE | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 400 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 | 12000 | 14000 | 16000 | 18000 |
| M0 | M0 | M0 | M0 | M0 | M0 | M0 | M0 | M0 | M0 | |
| | M1 | M1 | M1 | M1 | M1 | M1 | M1 | M1 | M1 | |
| | | M2 | M2 | M2 | M2 | M2 | M2 | M2 | M2 | |
| | | | M3 | | M3 | | M3 | | M3 | |
| | | | | M4 | | | M4 | | | |
| | | | | | | | | | | OVH |

| | |
|--|---------------------|
| | Personal campo |
| | Apoyo Personal base |

Nota: En la ilustración se observa los tipos de mantenimiento con las frecuencias definiendo el personal asignado para las intervenciones. Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 29 se observa que, para las intervenciones de mayor complejidad, se brindará apoyo con personal de base debido a su experiencia y capacitación, para los mantenimientos mayores (OVH) se enviará el equipo a base Cajicá.

Para un mayor aseguramiento de las actividades a ejecutar, se realizaron 4 tipos de formatos para los diferentes mantenimientos M1, M2, M3 y M4, tomando en cuenta las intervenciones a desarrollar.

Ilustración 30

Parte Inicial Formato M1

| | | MANTENIMIENTO PREVENTIVO M1 | | Versión | |
|---|----|------------------------------------|------------|---|------------------------|
| | | GEPF-OP-GM-XX | | Fecha | |
| | | | | Páginas | |
| En el presente formato se describen las actividades de mantenimiento preventivo rutinario a realizar en los grupos electrógenos cada 400[h] | | | | | |
| Fecha | | | | | |
| ID Equipo | | | Horómetro | | |
| Ubicación | | | Locación | | |
| Hora Inicial | | | Hora Final | | |
| | | | | OTT | GENXXX - M1 - AA.MM.DD |
| TIPO DE ACTIVIDAD | SI | NO | N/A | DESCRIPCIÓN | |
| Seguridad | | | | Verificar documentación a diligenciar, permisos de trabajo, procedimientos | |
| | | | | Verificar EPP requeridos (Casco dieléctrico, gafas de seguridad, protección auditiva, guantes de nitrilo, botas de seguridad dieléctrica, guantes de carnaza) | |
| | | | | Verificar condiciones ambientales | |
| Elementos a utilizar | | | | Caja de herramienta manual | |
| | | | | Instrumento para la toma de temperaturas | |
| | | | | Insumos de mantenimiento (filtración aire, aceite, combustible y refrigerante, lubricante y refrigerante) | |
| | | | | Recipientes para verter aceite contaminado | |
| Variables Operacionales Iniciales | | | | Repuestos/Insumos para cierre de pendientes | |
| | | | | Verificar variables eléctricas y mecánicas del generador: | |
| | | | | Voltaje batería [Vdc] _____ Voltaje Alternador [Vd.] _____ Voltaje L-L [Vac] _____ | |
| | | | | RPM _____ Frecuencia [Hz] _____ Temp. combustible [C] _____ | |
| | | | | Presión de aceite [Psi] _____ Temp. de refrigerante [C] _____ Presión aire turbo [Psi] _____ | |
| | | | | Corriente L1 [A] _____ Corriente L2 [A] _____ Corriente L3 [A] _____ | |
| | | | | KW _____ KVA _____ KVAr _____ Factor Potencia _____ | |
| Bloqueo y Etiquetado | | | | Apagar el equipo | |
| | | | | Verificar ausencia de tensión en el barraje | |
| | | | | Abrir master y desconectar el negativo de la batería | |
| | | | | Accionar Paros de Emergencia | |
| | | | | Ejecutar procedimiento de bloqueo y etiquetado. | |

Nota: En la ilustración se observa 4 tipos de actividad que se deben tener en cuenta antes de iniciar con la intervención. Fuente: elaboración propia.

En la ilustración 30 se observa que para los 3 formatos se tomó en cuenta la parte de seguridad, Elementos necesarios (caja de herramienta, insumos etc.), Variables de operación iniciales y aseguramiento en la parte eléctrica como es el bloqueo y etiquetado.

Ilustración 31

Sistemas grupo electrógeno

| | | | | | |
|------------------|--|--|--|---|--|
| Lubricación | | | | Inspección General de fugas de aceite y Estado De Mangueras. | |
| | | | | Revisión De Nivel De Aceite, Completar Nivel: Adicionado _____ [Gal] | |
| | | | | Cambio De Filtro De Aceite Principal. Ref. _____ Cant _____ | |
| | | | | Cambio De Filtro De Aceite By-Pass. Ref. _____ Cant _____ | |
| | | | | Cambio De Aceite: Drenado _____ [Gal] Adicionado _____ [Gal] | |
| Refrigeración | | | | Toma muestra de aceite drenado Si _____ No _____ | |
| | | | | Inspección General De Fugas De Refrigerante y Estado De Mangueras. | |
| | | | | Inspección De Restricciones De Aire En Radiador. | |
| | | | | Inspección De Estado Tapa Del Radiador. | |
| | | | | Inspección De Nivel De Refrigerante, Completar Nivel: Adicionado _____ [Gal] | |
| | | | | Inspección Visual De Correa Del Ventilador, Cambio Por Condición: Si _____ Ref. _____ No _____ | |
| | | | | Inspección De Cubo Ventilador, Verificar Visualmente Vibración Inusual, Cambio Por Condición: Si _____ No _____ | |
| | | | | Lavado De Bomba De Agua, Cambio Por Condición: Si _____ No _____ | |
| Admisión de aire | | | | Lavado De Radiador Por Condición Y/O Cada 2 Mantenimientos M1, Es Decir Cada 800 Horas. | |
| | | | | Verificar Tensión Manualmente Correa Del Ventilador, Tensionar Si Es Necesario. | |
| | | | | Engrasar Rodamiento Del Cubo Del Ventilador. | |
| | | | | Cambiar Filtro De Refrigerante cada 2 Mantenimientos M1, Es decir cada 800 Hras. Ref. _____ Cant _____ | |
| | | | | Inspección De Fugas O Restricciones En Mangueras, Carcaza De Filtro De Aire Y Sistema De Admisión De Aire. | |
| | | | | Inspección Y Cambio De Filtro De Aire Por Condición, Y/O Cada 2 Mantenimientos M1, Es Decir Cada 800 Horas. Ref. _____ Cant _____ | |

Nota: en la ilustración se observa 3 de los 10 sistemas en que se dividió los grupos electrógenos. Fuente: elaboración propia.

En la ilustración 31, se observa que de igual manera se especificó los sistemas ya mencionados (lubricación, refrigeración, admisión de aire, combustible, escape, motor, eléctrico, control, generador y cabina) esto para tener claridad en sitio para las intervenciones a ejecutar. (Ver Anexo 5)

Ilustración 32

Parte final formato M1

| | | |
|-----------------------------|--|--|
| Sistema de Puesta a Tierra | | ¿Qué tipo de sistema de puesta a tierra tiene la instalación del cliente? Malla de Tierra _____ Electrodo _____ Ninguno _____ |
| | | ¿La cola del sistema de puesta a tierra esta conectada a la barra de referencia del grupo electrógeno? |
| | | ¿Existe cable de la barra de tierra a carcasa del generador? |
| | | ¿Existe cable de la barra de tierra a la cabina o contenedor? |
| | | ¿Existe cable de la barra de tierra a patín petrolero? |
| Revisión Y Prueba Final | | ¿Esta equipotencializado el sistema de puesta a tierra con el neutro del equipo? |
| | | De arranque al equipo manualmente y realice un chequeo general de la vibración del equipo |
| | | Revise que no se presenten fugas en radiador, empaques y retenedores del motor, turbo y sistema de inyección |
| | | Revise estado de gases de escape y desfoque del motor |
| | | Verificar variables eléctricas y mecánicas del generador Voltaje batería [Vdc] _____ Voltaje Alternador [Vdc] _____ Voltaje L-L [Vac] _____ RPM _____ Frecuencia [Hz] _____ Temp. combustible [C] _____ Presión de aceite [Psi] _____ Temp. de refrigerante [C] _____ Presión aire turbo [Psi] _____ Corriente L1 [A] _____ Corriente L2 [A] _____ Corriente L3 [A] _____ KW _____ KVAr _____ Factor Potencia _____ |
| Trabajos Adicionales | | |
| Pendientes | | |
| FIRMAS | | |
| EJECUTANTES | | SUPERVISOR ENCARGADO |
| | | |
| Fecha | | Fecha |

Nota: en la ilustración se observa dos puntos finales que se deben tener en cuenta en la finalización de la intervención. Fuente: Elaboración propia

En ilustración 32, se observa que en la parte final del formato se contempla el sistema de puesta a tierra, ya que es importante su verificación, debido a que es común las tormentas eléctricas en los diferentes campos donde operan estos equipos, por último, se encuentra la revisión y prueba final, donde se verifican los parámetros de funcionamiento del grupo electrógeno, quedando un registro de los datos obtenidos.

Ilustración 33

Formato M3 datos para calibración de válvulas

| | |
|---|--|
| Revisión de válvulas | Esta intervención debe realizarse con el motor a temperatura ambiente. Al estar realizando el procedimiento se encuentra que no es posible realizar el ajuste de holgura correcto, se debe reportar de forma inmediata al supervisor encargado para el cambio de culata o el retro de operación del equipo, en caso contrario continuar con el procedimiento |
| | Revisión del armés de inyección Calibración Y Ajuste De Válvulas De Admisión Y Escape. Limpieza Y Calibración De Inyectores En Sitio. |
| | Cilindro #1 |
| | Holgura en válvula de admisión [in] Inicial _____ Final _____ |
| | Holgura en válvula de escape [in] Inicial _____ Final _____ |
| | Ajuste inyector OBC Torque del inyector (Si aplica) [Lb-in] _____ |
| | Ajuste inyector IBC Recorrido del inyector (Si aplica) [mm] _____ |
| | Ajuste inyector en grados (Si aplica) [°] _____ |
| | Cilindro #3 |
| | Holgura en válvula de admisión [in] Inicial _____ Final _____ |
| | Holgura en válvula de escape [in] Inicial _____ Final _____ |
| | Ajuste inyector OBC Torque del inyector (Si aplica) [Lb-in] _____ |
| Ajuste inyector IBC Recorrido del inyector (Si aplica) [mm] _____ | |
| Ajuste inyector en grados (Si aplica) [°] _____ | |
| Cilindro #5 | |
| Holgura en válvula de admisión [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Holgura en válvula de escape [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Ajuste inyector OBC Torque del inyector (Si aplica) [Lb-in] _____ | |
| Ajuste inyector IBC Recorrido del inyector (Si aplica) [mm] _____ | |
| Ajuste inyector en grados (Si aplica) [°] _____ | |
| Cilindro #7 | |
| Holgura en válvula de admisión [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Holgura en válvula de escape [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Ajuste inyector OBC Torque del inyector (Si aplica) [Lb-in] _____ | |
| Ajuste inyector IBC Recorrido del inyector (Si aplica) [mm] _____ | |
| Ajuste inyector en grados (Si aplica) [°] _____ | |
| Cilindro #9 | |
| Holgura en válvula de admisión [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Holgura en válvula de escape [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Ajuste inyector OBC Torque del inyector (Si aplica) [Lb-in] _____ | |
| Ajuste inyector IBC Recorrido del inyector (Si aplica) [mm] _____ | |
| Ajuste inyector en grados (Si aplica) [°] _____ | |
| Cilindro #11 | |
| Holgura en válvula de admisión [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Holgura en válvula de escape [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Ajuste inyector OBC Torque del inyector (Si aplica) [Lb-in] _____ | |
| Ajuste inyector IBC Recorrido del inyector (Si aplica) [mm] _____ | |
| Ajuste inyector en grados (Si aplica) [°] _____ | |
| Cilindro #2 | |
| Holgura en válvula de admisión [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Holgura en válvula de escape [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Ajuste inyector OBC Torque del inyector (Si aplica) [Lb-in] _____ | |
| Ajuste inyector IBC Recorrido del inyector (Si aplica) [mm] _____ | |
| Ajuste inyector en grados (Si aplica) [°] _____ | |
| Cilindro #4 | |
| Holgura en válvula de admisión [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Holgura en válvula de escape [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Ajuste inyector OBC Torque del inyector (Si aplica) [Lb-in] _____ | |
| Ajuste inyector IBC Recorrido del inyector (Si aplica) [mm] _____ | |
| Ajuste inyector en grados (Si aplica) [°] _____ | |
| Cilindro #6 | |
| Holgura en válvula de admisión [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Holgura en válvula de escape [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Ajuste inyector OBC Torque del inyector (Si aplica) [Lb-in] _____ | |
| Ajuste inyector IBC Recorrido del inyector (Si aplica) [mm] _____ | |
| Ajuste inyector en grados (Si aplica) [°] _____ | |
| Cilindro #8 | |
| Holgura en válvula de admisión [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Holgura en válvula de escape [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Ajuste inyector OBC Torque del inyector (Si aplica) [Lb-in] _____ | |
| Ajuste inyector IBC Recorrido del inyector (Si aplica) [mm] _____ | |
| Ajuste inyector en grados (Si aplica) [°] _____ | |
| Cilindro #10 | |
| Holgura en válvula de admisión [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Holgura en válvula de escape [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Ajuste inyector OBC Torque del inyector (Si aplica) [Lb-in] _____ | |
| Ajuste inyector IBC Recorrido del inyector (Si aplica) [mm] _____ | |
| Ajuste inyector en grados (Si aplica) [°] _____ | |
| Cilindro #12 | |
| Holgura en válvula de admisión [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Holgura en válvula de escape [in] Inicial _____ Final _____ | |
| Ajuste inyector OBC Torque del inyector (Si aplica) [Lb-in] _____ | |
| Ajuste inyector IBC Recorrido del inyector (Si aplica) [mm] _____ | |
| Ajuste inyector en grados (Si aplica) [°] _____ | |

Nota: En la ilustración se observa una actividad de suma importancia como es la calibración de válvulas e inyectores donde se debe especificar al detalle los resultados.

En la Ilustración 33, se observa la inclusión de una de las actividad alta relevancia como es la calibración de válvulas e inyectores , se decide incluir al detalle la toma de resultados, debido a que durante el proceso de verificación de las hojas de vida y ordenes de trabajo, se identificó una carencia significativa de información, por esta razón se incluyó dentro de los formatos los ítems necesarios para lograr obtener una valiosa información para el departamento de mantenimiento; de igual manera se incluyó actividades en la parte eléctrica y de control que son de gran importancia. (Ver Anexo 6, 7 y 8).

8.5.1 Confiabilidad y Disponibilidad

Con la implementación del plan de mantenimiento propuesto se pretende incrementar la confiabilidad por encima de un 98 % y disponibilidad por encima de un 97%, y de esta manera superando la meta establecida por la empresa.

Ilustración 34

Confiabilidad y disponibilidad proyectada

| ESTADO | CONFIABILIDAD PROYECTADA EQUIPOS 2021 PLAN MANTENIMIENTO NUEVO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | TOTAL |
|-------------|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | |
| OPERATIVAS | 21 | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 16 | 24 | 24 | 19 | 24 | 17 | 18 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 22 | 22 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 23 | 24 | 21 | 24 | 706 |
| STAND BY | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 19 |
| PREVENTIVAS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | |
| CORRECTIVAS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 13 | |

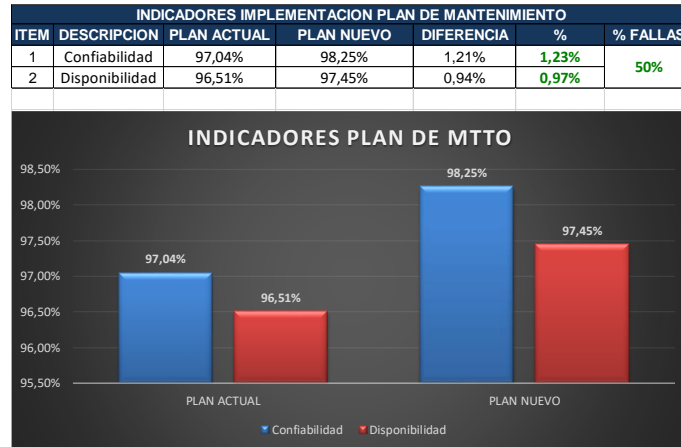
| # FALLAS | MES | |
|----------|---------------|----------------|
| | CONFIABILIDAD | DISPONIBILIDAD |
| 4 | 98,25% | 97,45% |

Nota: en la ilustración se observa los resultados esperados para confiabilidad y disponibilidad. Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 34, se observa los resultados esperados para confiabilidad y disponibilidad con la aplicación del plan de mantenimiento propuesto, si realizamos una comparación con el actual plan de mantenimiento (Ver Ilustración 25) se incrementará la confiabilidad aproximadamente en un 1,21 % y la disponibilidad en un 0.94 %, disminuyendo las fallas en un 50% (Ver ilustración 35)

Ilustración 35

Comparación de planes con respecto a confiabilidad y disponibilidad



Nota: En la ilustración se observa la comparación del plan actual con el plan propuesto.

8.6 Análisis de costos de mantenimiento

Se realizó un análisis de costos del nuevo plan de mantenimiento propuesto y la comparación con el plan de mantenimiento actual, con esta información se pretende que la gerencia determine su implementación a la vez su viabilidad económica.

Se tomó como base los costos de operación de un equipo de generación, el cual estuvo rentado y operó durante el año 2020, se incluyeron los costos de mantenimiento preventivo y correctivo que se presentaron durante el año 2020, no se incluye la mano de obra de las intervenciones para el análisis, debido que esto depende del proyecto donde está rentado el equipo.

Los valores de los mantenimientos preventivos y correctivos del plan de mantenimiento actual se muestran a continuación

Ilustración 36*Costos plan de mantenimiento actual*

| ITEM | DESCRIPCION | PLAN ACTUAL |
|------|--------------------------|---------------|
| 1 | Mantenimiento preventivo | \$ 49.769.314 |
| 2 | Mantenimiento correctivo | \$ 29.861.589 |

Nota: Costos totales mantenimiento preventivo y correctivo del actual plan de mantenimiento

En la ilustración 36 se puede observar el valor de los mantenimientos preventivos y correctivos que se tiene para el plan de mantenimiento que se ejecuta actualmente en la compañía, el valor del mantenimiento preventivo se calculó con base en las actividades que se realizan actualmente como se muestra en la ilustración 37 y se multiplican por el número de intervenciones que se realizan en el año, de acuerdo con la frecuencia mantenible establecida.

Ilustración 37*Costos de actividades plan de mantenimiento actual*

| ACTIVIDADES PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL | | | | | | | |
|--|----------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| ITEM | DESCRIPCION | FRECUENCIA MANTENIBLE | CANTIDAD X INTERVENCION | COSTO UNITARIO | COSTO REPUESTOS | CANTIDAD X AÑO | TOTAL |
| 1 | Filtro de aceite principal | 400 | 1 | \$ 165.000 | \$ 165.000 | 22 | \$ 3.613.500 |
| 2 | Filtro de aceite by-pass | 400 | 1 | \$ 67.500 | \$ 67.500 | 22 | \$ 1.478.250 |
| 3 | Aceite Lubricante | 400 | 25 | \$ 55.000 | \$ 1.375.000 | 22 | \$ 30.112.500 |
| 4 | Filtros de combustible | 400 | 2 | \$ 132.500 | \$ 265.000 | 22 | \$ 5.803.500,00 |
| 5 | Filtro refrigerante | 800 | 1 | \$ 37.000 | \$ 37.000 | 11 | \$ 405.150,00 |
| 6 | Filtro de aire | 800 | 1 | \$ 195.000 | \$ 195.000 | 11 | \$ 2.135.250,00 |

| | |
|--------------|----------------------|
| TOTAL | \$ 49.769.314 |
|--------------|----------------------|

Nota: Costos totales por actividad plan de mantenimiento preventivo actual.

En cuanto al valor de las actividades de mantenimiento correctivo mostradas en la ilustración 36, se obtuvieron de un consolidado de fallas y reparaciones que se tenían de la operación del equipo durante el año 2020.

Para la implementación del plan de mantenimiento nuevo, se estableció un cronograma de intervenciones de acuerdo a los mantenimientos preventivos programados los cuales se establecieron por manual del fabricante, historial de falla y requerimiento de gerencia, se establecieron unas frecuencias para cambio de componentes de acuerdo al historial de falla y experiencias que se tenían con la operación de los equipos, con esto lo que queremos es reducir al máximo las intervenciones por paradas no programadas debido al cambio de componentes de un valor relativamente bajo (filtros racor combustible, correas y mangueras), lo que afectaría nuestros indicadores de gestión y la operación del equipo.

Ilustración 38

Cronograma frecuencia mantenible

| CAMBIO DE COMPONENTES POR HOROMETRO | | | FRECUENCIA MANTENIBLE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ITEM | DESCRIPCION | FRECUENCIA MANTENIBLE | 0 | 400 | 800 | 1200 | 1600 | 2000 | 2400 | 2800 | 3200 | 3600 | 4000 | 4400 | 4800 | 5200 | 5600 | 6000 | 6400 | 6800 | 7200 | 7600 | 8000 | 8400 | 8800 |
| 1 | Filtro de aceite principal | 400 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Filtro de aceite by-pass | 400 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Aceite Lubricante | 400 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Filtros de combustible | 400 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Filtro racor de combustible | 400 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Filtro refrigerante | 800 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Filtro de aire | 800 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Correa ventilador | 4000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Correa alternador | 4000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Rodamiento generador | 4000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Empaque tapa valvulas culata | 4000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Manguera sist refrigeración | 6000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | Manguera siste admón. aire | 6000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | Manguera siste combustible | 6000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Termostatos | 6000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Nota: Cronograma de actividades establecidas en el plan de mantenimiento nuevo

En la ilustración 38 se muestran el cronograma de actividades propuestas en el nuevo plan de mantenimiento de acuerdo con la frecuencia mantenible establecida. Al establecer un tiempo para cambio de repuestos, se debe incurrir en costos adicionales para la adquisición de repuestos y los tiempos de intervención de los mantenimientos preventivos incrementaran (Ver Anexo 10).

Los valores de mantenimiento preventivo y correctivo para el nuevo plan de mantenimiento se muestran en la ilustración 30 que se presenta a continuación.

Ilustración 39

Costos plan de mantenimiento nuevo

| ITEM | DESCRIPCION | PLAN NUEVO |
|------|--------------------------|---------------|
| 1 | Mantenimiento preventivo | \$ 56.952.804 |
| 2 | Mantenimiento correctivo | \$ 14.238.201 |

Nota: Costos totales mantenimiento preventivo y correctivo proyectados del nuevo plan de mantenimiento

En la ilustración 39 se puede observar el valor de los mantenimientos preventivos y correctivos que se tiene para el plan el nuevo plan de mantenimiento que se ejecuta actualmente en la compañía, el valor del mantenimiento preventivo se calculó con base en las actividades que se proyectaron a realizar como se muestra en la ilustración 32 y se multiplican por el número de intervenciones que se realizan en el año, de acuerdo con la frecuencia mantenible establecida.

Ilustración 40*Costos de actividades plan de mantenimiento nuevo*

| ACTIVIDADES PLAN DE MANTENIMIENTO NUEVO | | | | | | | |
|---|------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| ITEM | DESCRIPCION | FRECUENCIA MANTENIBLE | CANTIDAD X INTERVENCION | COSTO UNITARIO | COSTO REPUESTOS | CANTIDAD X AÑO | TOTAL |
| 1 | Filtro de aceite principal | 400 | 1 | \$ 165.000 | \$ 165.000 | 22 | \$ 3.613.500 |
| 2 | Filtro de aceite by-pass | 400 | 1 | \$ 67.500 | \$ 67.500 | 22 | \$ 1.478.250 |
| 3 | Aceite Lubricante | 400 | 25 | \$ 55.000 | \$ 1.375.000 | 22 | \$ 30.112.500 |
| 4 | Filtros de combustible | 400 | 2 | \$ 132.500 | \$ 265.000 | 22 | \$ 5.803.500,00 |
| 5 | Filtro racor de combustible | 400 | 6 | \$ 25.000 | \$ 150.000 | 22 | \$ 3.285.000,00 |
| 6 | Filtro refrigerante | 800 | 1 | \$ 37.000 | \$ 37.000 | 11 | \$ 405.150,00 |
| 7 | Filtro de aire | 800 | 1 | \$ 195.000 | \$ 195.000 | 11 | \$ 2.135.250,00 |
| 8 | Correa ventilador | 4000 | 1 | \$ 1.056.467 | \$ 1.056.467 | 2 | \$ 2.313.661,96 |
| 9 | Correa alternador | 4000 | 1 | \$ 206.947 | \$ 206.947 | 2 | \$ 453.213,51 |
| 10 | Rodamiento generador | 4000 | 1 | \$ 804.100 | \$ 804.100 | 2 | \$ 1.760.979,00 |
| 11 | Empaque tapa valvulas culata | 4000 | 12 | \$ 125.000 | \$ 1.500.000 | 2 | \$ 3.285.000,00 |
| 12 | Manguera sist refrigeración | 6000 | 1 | \$ 400.000 | \$ 400.000 | 1 | \$ 584.000,00 |
| 13 | Manguera siste admón. aire | 6000 | 1 | \$ 400.000 | \$ 400.000 | 1 | \$ 584.000,00 |
| 14 | Manguera siste combustible | 6000 | 1 | \$ 600.000 | \$ 600.000 | 1 | \$ 876.000 |
| 15 | Termostatos | 6000 | 1 | \$ 180.000 | \$ 180.000 | 1 | \$ 262.800,00 |

| | |
|--------------|----------------------|
| TOTAL | \$ 56.952.804 |
|--------------|----------------------|

Nota: Costos totales por actividad plan de mantenimiento preventivo nuevo.

En cuanto al valor de las actividades de mantenimiento correctivo mostradas en la ilustración 40 se obtuvieron de una proyección de acuerdo con la eliminación de actividades correctivas, las cuales se remplazarán por actividades preventivas programadas de acuerdo con el nuevo plan de mantenimiento propuesto.

Para el análisis de los costos del plan de mantenimiento actual y de la implementación del nuevo plan de mantenimiento se tiene lo siguiente

Ilustración 41

Análisis de costos

| COSTOS IMPLEMENTACION PLAN MTTO | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|------|
| ITEM | DESCRIPCION | PLAN ACTUAL | PLAN NUEVO | DIFERENCIA | % |
| 1 | Mantenimiento preventivo | \$ 49.769.314 | \$ 56.952.804 | -\$ 7.183.490 | -13% |
| 2 | Mantenimiento correctivo | \$ 29.861.589 | \$ 14.238.201 | \$ 15.623.387 | 52% |
| | | \$ 79.630.903 | \$ 71.191.006 | \$ 8.439.897 | 11% |



Nota: Análisis de costos de implementación de plan de mantenimiento nuevo frente al plan de mantenimiento actual.

En la ilustración 41 se pueden ver los valores de los mantenimientos preventivos y correctivos comparados de acuerdo con el plan de mantenimiento que se ejecuta actualmente y la implementación del nuevo plan de mantenimiento.

El valor del mantenimiento preventivo actual en comparación con la implementación del nuevo plan de mantenimiento preventivo se incrementó el valor en un 13% anual, en cuanto al valor del mantenimiento correctivo actual en comparación con el cálculo de mantenimientos correctivos disminuyó el valor en un 53%, para los

mantenimiento correctivos se hizo una proyección de disminución del 50%, con lo cual se llegara a la meta del 98% de confiabilidad y 97% de disponibilidad establecidos en la empresa.

Si se analiza los valores generales del mantenimiento anual para el plan de mantenimiento actual en comparación con el nuevo plan de mantenimiento se disminuirá los costos en un 11%, con lo que por parte del área de mantenimiento se consideraría económicamente viable.

8.7 Gestión de mantenimiento

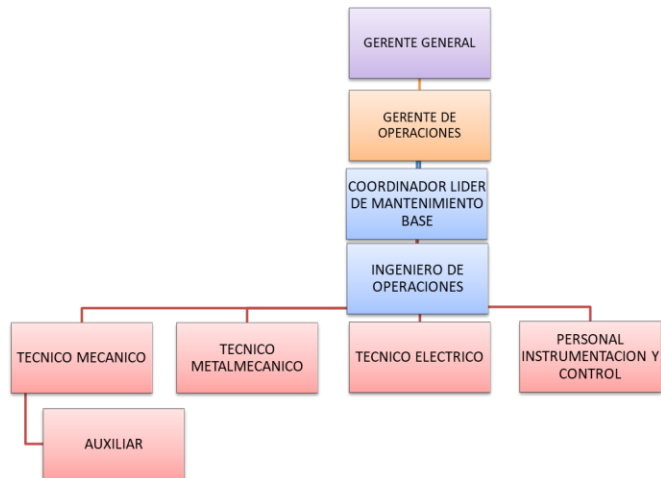
Para lograr generar una mejora en la gestión de mantenimiento de la empresa se llevó a cabo los siguientes pasos:

- ✓ Actualización del Inventario de grupos electrógenos
- ✓ Diagnóstico y actualización hojas de vida
- ✓ Propuesta de plan de mantenimiento tomando en cuenta variables como manuales, histórico de falla y requerimientos de gerencia.
- ✓ Para lograr contar con un seguimiento adecuado, se generó diferentes formatos por tipo de mantenimiento, de esta manera se obtendrá información de calidad, para ser incluida en el software adquirido por la empresa.
- ✓ Es importante definir los indicadores necesarios para lograr medir el desempeño y la evolución, y de esta manera avanzar en el camino a una mejora continua, por esta razón definimos llevar los indicadores de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y planeado vs ejecutado.

- ✓ Inclusión dentro del equipo de trabajo un Ingeniero de operaciones que tenga conocimientos en programación y confiabilidad, el cual dentro de sus funciones se encuentra generar una programación semanal, verificar la información e incluir en el software, dándole seguimiento a los indicadores para ser analizados con el líder de mantenimiento.

Ilustración 42

Organigrama propuesto Operaciones



Nota: En la ilustración se muestra el organigrama propuesto.

9 Recomendaciones

- Durante el desarrollo del proyecto se evidencia la necesidad de contar con un software de mantenimiento o en su defecto una base de datos confiable, en estos momentos la empresa adquirió el software MP9, pero es indispensable manejar información de calidad para dar seguimiento y ver la evolución del plan de mantenimiento propuesto por medio de los indicadores.
- Para el desarrollo, ejecución y puesta en marcha de un plan de mantenimiento es necesario contar con equipo interdisciplinario que sea acorde con el área de mantenimiento, contar con la información fiable y de calidad necesaria para el desarrollo del plan de mantenimiento y contar con un presupuesto para la adquisición de repuestos, consumibles, materiales, personal técnico y administrativo; con esto se garantizara que el plan de mantenimiento genere resultados esperados.
- Es importante lograr manejar un buen análisis de costos y control de los recursos invertidos en mantenimientos preventivos y correctivos, esto permitirá tener una gestión de mantenimiento más eficiente.
- Es necesario definir indicadores y objetivos alcanzables, para lograr tener una visión clara de las metas que se quiere lograr y el seguimiento que se debe llevar.

10 Conclusiones

- Se realizó en conjunto con el área de operaciones la revisión del plan de mantenimiento actual, ejecutado en la empresa para grupos electrógenos, se evidencia que es un plan de mantenimiento básico; lo que genera gran cantidad de intervenciones correctivas y a su vez afectación en la operación, indicadores, facturación e imagen de la empresa frente a los clientes.
- En conjunto con el personal técnico de la empresa se realizó el diagnóstico de los grupos electrógenos fuera de servicio, con lo cual se evidencia un alto grado de desgaste en sus componentes tanto internos como externos, esto debido a la falta de ejecución de un adecuado plan de mantenimiento, lo que conlleva a que los equipos requieran de una reparación mayor (OVH) para su puesta a punto.
- Con el análisis económico para la reparación mayor (OVH) y puesta a punto de los equipos se pudo determinar que ninguno fue viable, debido a las políticas establecidas en la compañía, ya que es más económico y rentable para la compañía realizar la compra de equipos nuevos que invertir en una reparación mayor (OVH) de esta magnitud.
- Por medio del plan de mantenimiento propuesto para grupos electrógenos, se pretende realizar una reducción de fallas en un 50 %, incrementando confiabilidad por encima del 98% y disponibilidad por encima del 97%; de esta manera logrando la meta establecida por la empresa y generando una mayor satisfacción en el cliente, lo que conlleva a posibles nuevos proyectos.

- Para una adecuada gestión de la ejecución del plan de mantenimiento propuesto, es necesario incluir una serie de actividades que se deben cumplir de forma rutinaria, definiendo los indicadores de gestión para el seguimiento y control del plan de mantenimiento propuesto.

11 Bibliografía

- Alter Evo Ltda. (Lunes de Enero de 2013). *alterevoingenieros*. Obtenido de <http://alterevoingenieros.blogspot.com/2013/07/mantenimiento-basado-en-riesgo-las.html>
- Benítez Hernández, L. E. (2007). *Mantenimiento industrial y sus conceptos*. Perú Lima : Personal Ipeman.
- Campuzano Martínez, I. (2016). Diagnostico de generadores electricos de potencia con tecnicas de monitoreo en linea y fuera de linea. *Informacion Tecnologica* , 11-19.
- Colmenares Giraldo, O., & Villalobos, D. E. (2014). Prospectiva metodológica para el mantenimiento preventivo. *Ingenium*, 23-27.
- Edith, M. D., Jesús, C. G., & Alicia, A. C. (2019). Diagnostico del servicio de mantenimiento de grupos electrogenos de emergencia . *Ingenieria Mecanica* , 92-99.
- ESReDa. (2001). *Handook on Maintenance management*. Noruega: Det Norske Veritas ESReDa.
- Fajardo Cuadro, J. G., Navas, O., & Diaz, A. (2015). Analisis del desempeño de un motogenerador al usar biodiesel como combustible . *Ingenieria de recursos naturales y del ambiente*, 4-8.
- Fernandez Morales, F., & Duarte , J. E. (2015). Automatismo para el monitoreo y control de un grupo electrogeno con arranque electrico. *Entramado*, 262-271.
- FG wilson. (2017). *Manual de instruccion de utilizacion y mantenimiento del grupo electrogeno FG wilson*. Reino unido: FG wilson.

Francisco, R. S. (1996). *Hacia la excelencia en mantenimiento*. Madrid: Tgp Hoshin, S. L.

Garcia Garrido, S. (2017). <http://santiagogarciagarrido.com/>. Obtenido de

[http://www.santiagogarciagarrido.com/index.php/89-que-es-](http://www.santiagogarciagarrido.com/index.php/89-que-es-rcm#:~:text=RCM%20o%20Reliability%20Centred%20Maintenance,ventajas%20importantes%20sobre%20otras%20t%C3%A9cnicas)

[rcm#:~:text=RCM%20o%20Reliability%20Centred%20Maintenance,ventajas%20i](http://www.santiagogarciagarrido.com/index.php/89-que-es-rcm#:~:text=RCM%20o%20Reliability%20Centred%20Maintenance,ventajas%20importantes%20sobre%20otras%20t%C3%A9cnicas)

[mportantes%20sobre%20otras%20t%C3%A9cnicas](http://www.santiagogarciagarrido.com/index.php/89-que-es-rcm#:~:text=RCM%20o%20Reliability%20Centred%20Maintenance,ventajas%20importantes%20sobre%20otras%20t%C3%A9cnicas).

Garcia Garrido, S. (2017). *MantenimientoPetroquimica*. Obtenido de

<http://www.mantenimientopetroquimica.com/tpm.html>

Garcia Palencia, O. (2017). El Sistema PMO: Optimización Real del Mantenimiento

Planeado. *Conferencia Latinoamericana de Gestión de Mantenimiento y*

Confiabilidad Operacional.

González Fernández, F. J. (2004). *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión*.

Madrid España: Artegraf S.A.

Herrera Galán, M., & Martínez Delgado, E. (2016). Metodología e implementación de un

programa de gestión de mantenimiento. *Ingeniería Industrial*, 2-13.

Israel, B. R., Jaime, G. B., & Rubén, H. G. (2018). Implantación de un sistema de

mantenimiento preventivo para el aumento de la eficiencia de la maquinaria en una

plnata de fundicion. *Ciencia Administrativa*, 588-603.

Kelly, A., & Harris, M. J. (1998). *Gestión del mantenimiento industrial*. Madrid: Fundación

Repsol Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar.

Knezevic, J. (1996). *Mantenibilidad*. Madrid: Editorial Isdefe.

- L., H. P., Oca, C. M., García, J. M., Fernández, L., & J, S. (2008). Optimización del mantenimiento preventivo utilizándolas técnicas de diagnóstico integral. *Fundam. Ingeniería Energética*, 14-25.
- Mendoza , R. H. (2000). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. *Ingeniería Mecánica*, 13-19.
- Monroy Higuera, J. D. (2017). *Propuesta de mejora del plan de mantenimiento de los motores AX-901B y AX-901D en la planta Apiay de Ecopetrol*. Bogota: Facultad de Ingeniería Mecánica Universidad Santo Tomas .
- Mora Gutiérrez , L. A. (2009). *Mantenimiento planeacion, ejecucion y control* . Mexico: Alfaomega Grupo Editor.
- Mora Gutiérrez, A. (2007a). *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios*. Envigado: AMG. Segunda edición.
- Navarro Elola, L., Pastor, A. C., & Mugaburu Lacabrera, J. M. (1997). *Gestión Integral de Mantenimiento*. Barcelona: Marcombo Boixareu.
- Patton, J. D. (1996). *Preventive Maintenance*. U.S.A: The International Society for Measurement.
- Quintana Tamayo, J. F., Martínez Pérez, F., Vázquez Jorge, Y. G., & Ramírez Arzuaga, J. (2014). Estudio de factibilidad para optimizar frecuencia de remplazo del lubricante, en grupos electrogenos. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*, 60-68.
- Rodriguez Florian, J. L. (2019). *DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD Y ANALISIS RAM, PARA PLANTAS ELECTRICAS DE*

EMERGENCIA ATENDIDAS POR LA EMPRESA WES IMPORTACIONES.

BOGOTA: Universidad Libre.

Serna Ramirez, J. J. (2016). *Implementacion plan de mantenimiento electrico para destileria Riopaila y Riopaila energia*. Obtenido de Implementacion plan de mantenimiento electrico para destileria Riopaila y Riopaila energia:
<https://core.ac.uk/download/pdf/71399395.pdf>

Soler Rodriguez, L., & Romero Guarin, A. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica*. Obtenido de Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica:
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14689/1/DISE%C3%91O%20DE%20UN%20PLAN%20DE%20MANTENIMIENTO%20PREDICTIVO%20PARA%20LOS%20GENERADORES%20EL%C3%89CTRICOS%20DE%20UNA%20CENTRAL%20HIDR.pdf>

Yaima, A. P., Elena, G. T., Armando, D. C., J., R. P., Bárbara, H. C., & Grenda, C. P. (2017). Analisis de criticidad en los sistemas mecanicos de los grupos electrogenos. *Revista de Ingenieria Energetica*, 224-230.