

**Propuesta de optimización del plan de mantenimiento de la línea de pintura de Gim
Ingeniería Eléctrica**

Ing. Fabián Camilo Sáenz Antivar

Ing. Francisco Javier Verastegui Muñoz

Ing. Ingrid Johana Suarez Contenido

Universidad ECCI

Dirección de posgrados

Especialización en gerencia de mantenimiento

Bogotá D.C.

2018

**Propuesta de optimización del plan de mantenimiento de la línea de pintura de Gim
Ingeniería Eléctrica**

Ing. Fabián Camilo Sáenz Antivar

Ing. Francisco Javier Verastegui Muñoz

Ing. Ingrid Johana Suarez Contenido

**Proyecto de investigación para optar al título de Especialistas en Gerencia de
mantenimiento**

Asesor:

ING. MIGUEL ANGEL URIAN

Esp. En Gerencia de Mantenimiento

Universidad ECCI

Dirección de posgrados

Especialización en gerencia de mantenimiento

Bogotá D.C.

2018

Contenido

1	Título de la Investigación.....	7
2	Problema de investigación	8
2.1	Descripción del problema	8
2.2	Planteamiento del problema.....	9
2.3	Sistematización del problema	9
3	Objetivos de la Investigación	10
3.1	Objetivo general.....	10
3.2	Objetivos específicos	10
4	Justificación y delimitación.....	10
4.1	Justificación	10
4.2	Delimitación.....	14
4.3	Limitaciones.....	14
5	Marco conceptual	15
5.1	Estado del arte.....	15
5.1.1	Estado de arte local.....	15
5.1.2	Estado de arte nacional	20
5.1.3	Estado de arte Internacional	25
5.2	Marco teórico.....	30
5.2.1	¿Qué es Mantenimiento?	30
5.2.2	Tipos de mantenimiento	31
5.2.3	Plaforización.....	35
5.2.4	Pintura electrostática.....	35
5.2.5	Criticidad	37
5.2.6	Análisis causa raíz	38
5.2.7	Taxonomía en el mantenimiento	39
5.2.8	Norma ISO 14224.....	40
5.3	Marco normativo y legal.....	41
5.4	Marco histórico	42
6	Marco metodológico	43
6.1	Recolección de la información	43

6.1.1	Tipo de investigación	43
6.1.2	Fuentes de obtención de la investigación	44
6.1.3	Herramientas de la investigación.....	44
6.1.4	Metodología de la investigación.....	45
6.1.5	Información recopilada.....	46
6.2	Análisis de la información	63
6.2.1	Taxonomía.....	63
6.2.2	Análisis de disponibilidad	64
6.2.3	Análisis de criticidad	67
6.2.4	Análisis de modos y efectos de falla AMEF	69
6.3	Propuesta de solución	71
6.3.1	Tarjeta maestra de maquinaria.....	71
6.3.2	Plan de mantenimiento propuesto.....	72
7	Resultados esperados.....	75
8	Análisis de financiero.....	76
8.1	Costos de investigación	76
8.2	Costos de implementación.....	77
8.3	Retorno de la inversión ROI	79
9	Conclusiones y recomendaciones.....	81
9.1	Conclusiones	81
9.2	Recomendaciones	82
10	Bibliografía.....	83

Tabla 1: Marco normativo y legal. Fuente Autores.....	41
Tabla 2: Tipo de Investigación. Fuente Universidad ECCI	43
Tabla 3: Características polipasto. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.	48
Tabla 4: Plan de mantenimiento utilizado por la organización para el tanque de plaforización. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.....	48
Tabla 5: Características cabina de pintura. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.	51
Tabla 6: Características para recuperador de cartuchos. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.	52
Tabla 7: Características filtro cartucho. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.	52
Tabla 8: Plan de mantenimiento utilizado por la organización para la cabina de pintura. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.....	53
Tabla 9: Características equipo de pintura electrostática. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.....	56
Tabla 10: Plan de mantenimiento utilizado por la organización para el equipo de pintura electrostática. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.....	57
Tabla 11: Características horno. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.....	59
Tabla 12: Características quemador. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.	60
Tabla 13: Plan de mantenimiento utilizado por la organización para el horno. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.	61
Tabla 14: Taxonomía de la línea de pintura. Fuente Autores.....	63
Tabla 15; Disponibilidad tanque de plaforización. Fuente Autores.	65
Tabla 16: Disponibilidad cabina de pintura. Fuente Autores.	65
Tabla 17: Disponibilidad equipo de pintura electrostática 1. Fuente Autores.....	65
Tabla 18: Disponibilidad equipo de pintura electrostática 2. Fuente Autores.....	65
Tabla 19: Disponibilidad horno. Fuente Autores.	66
Tabla 20: Criterios para árbol lógico de decisiones. Fuente Autores.	67
Tabla 21: Categorización componentes línea de pintura. Fuente Autores.	68
Tabla 22: Ponderación AMEF según SAE JA 1012. Fuente Norma SAE JA 1012	69
Tabla 23: Ponderación NPR para los sistemas de la línea de pintura. Fuente Autores.....	70
Tabla 24: Actividades propuestas Tanque. Fuente Autores.	73
Tabla 25; Actividades propuestas cabina. Fuente Autores.....	73
Tabla 26: Actividades propuestas para equipo de pintura electrostática. Fuente Autores. ..	74
Tabla 27: Actividades propuestas para el horno. Fuente Autores.	74
Tabla 28: Histórico máximas disponibilidades de activos. Fuente Autores.....	75
Tabla 29: Disponibilidad esperada de los activos con las rutinas propuestas. Fuente Autores.	75
Tabla 30: Costo investigación Fuente Autores.....	77
Tabla 31: Valor hora mano de obra. Fuente Autores.	77
Tabla 32: Costos capacitación. Fuente Autores.....	78
Tabla 33: Costo mano de obra anual del plan de mantenimiento propuesto. Fuente autores	78
Tabla 34: Costo total propuesta de optimización: Fuente Autores.....	78

Ilustración 1: Planos planta metalmecánica.....	46
Ilustración 2: Tanque plaforización.....	47
Ilustración 3: Cabina de pintura.....	50
Ilustración 4: Equipo de pintura electrostática.	55
Ilustración 5: Horno.....	59
Ilustración 6: Grafico de disponibilidad de la línea.....	66
Ilustración 7: Árbol lógico de decisión.	68
Ilustración 8: Tarjeta maestra de maquinaria propuesta.	71

1 Título de la Investigación

Propuesta de optimización del plan de mantenimiento de la línea de pintura de Gim
Ingeniería eléctrica

2 Problema de investigación

2.1 Descripción del problema

GIM Ingeniería Eléctrica Ltda., es una empresa dedicada a la fabricación de gabinetes eléctricos de baja y media tensión, con un reconocimiento nacional por la calidad de sus productos, ofreciendo gabinetes con diferentes grados de protección para interiores y exteriores. Para ello la empresa cuenta con planta de producción eléctrica y mecánica. La planta metalmecánica cuenta con etapas de corte, punzando, plegado, soldadura, línea de lavado y pintura, además de, zonas de ensamble y cableado.

En GIM en el año 2014, se decide implementar una nueva línea de lavado y pintura, la cual está compuesta por un tanque para pretratamiento por inmersión con plaporización, una cabina de pintura en polvo, un equipo para aplicación de pintura manual y un horno para el curado de piezas. Para garantizar la correcta preparación y limpieza de las piezas, ya que la pintura electrostática funciona como un recubrimiento para aumentar la resistencia a la corrosión de los tableros.

En el año 2017 se fabricaron 1792 envoltorios de los cuales el 90% pasaron por el proceso de lavado y pintura de la organización, utilizando para dicha operación 6 toneladas de pintura electrostática. El porcentaje restante corresponde a gabinetes realizados en acero inoxidable, tomados de stock o manufacturados fuera de la empresa.

En el mes de Febrero del año 2018 el tanque de plaporización falló, a causa de un desgarro causado por mala operación, dejando como consecuencias el derrame de 650 galones de químico de limpieza (Torán 3P). Ocasionando una parada de 12 horas de producción.

No hay indicadores claros que puedan medir el desempeño ni el departamento de mantenimiento

2.2 Planteamiento del problema

Teniendo en cuenta la descripción presentada en el numeral anterior se propone la pregunta de investigación:

¿Qué herramientas aplicar para la optimización del plan de mantenimiento preventivo realizado en la línea de lavado y pintura de Gim Ingeniería Eléctrica?

2.3 Sistematización del problema

¿Cuál es la metodología más adecuada para identificar el estado actual del plan de mantenimiento de los equipos?

¿Qué técnicas de mantenimiento se pueden aplicar para identificar y analizar las fallas existentes en la línea de pintura?

¿Cuáles son las mejoras a implementar en el plan de mantenimiento?

3 Objetivos de la Investigación

3.1 Objetivo general

Optimizar el plan de mantenimiento existente para la línea de pintura en GIM ingeniería eléctrica

3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual de las actividades de mantenimiento para los equipos de la línea de pintura
- Proponer un análisis de modos y efectos de fallas para los equipos analizados
- Establecer la propuesta de mejora para el plan de mantenimiento que optimice los resultados de las línea de producción

4 Justificación y delimitación

4.1 Justificación

Según las políticas de programa de transformación productiva (PTP) el incrementar la disponibilidad de la maquinaria utilizada para los procesos ayudará a aumentar la productividad y rentabilidad de las empresas; si se mejoran estos puntos de la organización amplía la posibilidad de generar más empleos. Este trabajo está orientado a generar una optimización del plan de mantenimiento de la línea de pintura, de una empresa del sector metalmecánico a partir de la aplicación de herramientas de mantenimiento orientadas a la mejora de los resultados en los indicadores de gestión.

De igual forma para cumplir con tal fin, se deben considerar las políticas empresariales establecidas que reglamentan la actividad productiva, en la organización actualmente no se ve el mantenimiento como parte importante en los procedimientos y mapas de procesos, sin

embargo, este genera soporte para la sostenibilidad del negocio mediante la conservación de estos activos.

Sistema de gestión de calidad.

En la actualidad las empresas están avanzando cada vez más en sus procedimientos, dando una gran importancia al Sistema de Gestión de Calidad, esta ayuda a las organizaciones a tener una orientación con sus colaboradores estando motivados y preparados para desempeñar una actividad, unos procedimientos claros para producción y prestación del servicio. Finalmente Analizar las necesidades de sus clientes. Las organizaciones todos los días se enfrentan a demandas con calidad, estabilidad, tecnología entre otros que contribuyen a un desarrollo sostenible. Si se desarrolla un sistema eficaz ayudara a convertir esas presiones diarias en una ventaja competitiva que le ayudara a ser reconocida en el mercado, dando también un cumplimiento a la política y objetivos trazados.

Gim Ingeniería Eléctrica no es diferente a la mayoría de organizaciones que están realizando una gestión para certificarse en la norma de ISO 9001, para cumplir con estos requerimientos se debe tener en cuenta los siguientes numerales de la norma que influyen directamente a la realización del proyecto.

- 5.3: La alta dirección debe asegurarse de que las responsabilidades y autoridades para los roles pertinentes quedan asignadas, se comuniquen y se entiendan en toda la organización
 - B) asegurarse de que los procesos están generando las salidas previstas.
 - C) informar, en particular a la alta dirección sobre el desempeño del sistema de gestión de la calidad sobre las oportunidades de mejor.

- E) asegurarse de que la integridad del sistema de gestión de la calidad se implemente cuando se planifican e implementan cambio en el mismo.
- 6.1 Acciones para abordar los riesgos y las oportunidades
- 6.2 Objetivos de la calidad y planificación.
 - 6.2.1. ser medibles, Ser acertados para la conformidad de los productos y servicios y para el aumento de la satisfacción del cliente, ser objeto de seguimiento, ser comunicados, actualizarse según convenga.
 - 6.2.2. Qué se va a hacer, que recursos se necesitaran, quien será el responsable, la forma en la que se evaluaran los resultados.
- 6.3 Planificación y control de cambios.
 - A) El propósito de los cambios y sus potenciales consecuencias.
 - C) Disponibilidad de recursos.
 - D) La asignación o reasignación de responsabilidades y autoridades.
- 7.2: Competencia: Establecer la competencia de las personas que llevan a cabo un trabajo que puede afectar al desempeño y la eficiencia del sistema de gestión de calidad. Asegurar que las personas sean competentes
- 7.5 Información documentada: información documentada por la ISO 9001, la información documentada que la empresa determina como necesaria para obtener la eficiencia del sistema de Gestión de Calidad, Formato y los medios de soporte.

Programa de Transformación Productiva (PTP)

El programa de transformación productiva fue creado en conjunto por los ministerios de turismo, industria y comercio, enfocado en el crecimiento sostenible de la economía empresarial. Su principal dirección el dinamismo productivo en las organizaciones, descentralizándose de solo un punto de producción. Se debe de entender que el mercado cambia constantemente y que las organizaciones deben de estar actualizadas y generando ofertas de acuerdo a lo que demanda el mercado. La economía colombiana debe de transformar su orientación productiva.

- El reto de este programa es aumentar los estándares de crecimiento y desarrollar la creación de empleo, para lograr este objetivo, todas las compañías deben de encaminarse sobre dos ejes fundamentales:
- Estimular los desarrollos de secciones nuevos y emergentes de clase mundial: estos sectores poseen alto potencial de desarrollo, una progresiva demanda en mercados globales y son intensivos en tecnología y conocimiento.
- Estimular la fabricación de más y mejor de lo bueno, bajo patrones de clase mundial: radica en una evolución dentro de los sectores ya fundados, agregando valor e innovación.

Este secundario eje del Programa de Transformación Productiva que fundamenta en volcar el aparato productor hacia productos con mayor valor agregado y creación, duplicar velozmente la productividad de la mano de obra colombiana.

Colombia se debe mover a un mundo más complejo y estratégico, en cuyo entorno debe influir para beneficiarlos.

Para el desarrollo de este eje se determinará la posición competitiva del sector, se desarrollará una agenda estratégica y un plan de acción para el mismo, generando un círculo virtuoso, el cual se traducirá en mayor empleo, mayor poder adquisitivo para los colombianos, mayor demanda, mayor oferta y por lo tanto mayor crecimiento de la economía.

4.2 Delimitación

El estudio de optimización de plan de mantenimiento se llevara a cabo entre los meses de febrero a octubre del año 2018, en las instalaciones de Gim Ingeniería Eléctrica ubicada en la carrera 73ª # 68B-28 en la ciudad de Bogotá.

4.3 Limitaciones

Para el desarrollo de la optimización del plan de mantenimiento de la línea de pintura, se presentan las siguientes limitaciones:

- **Tiempo:** Disponibilidad de los estudiantes para realizar visitas continuas a GIM Ingeniería Eléctrica.
- **Dinero:** El tiempo utilizado para el desarrollo de esta propuesta y los recursos económicos serán asumidos en su totalidad por los participantes de este proyecto.
- **Información:** La maquinaria en estudio no cuenta con las hojas de vida debidamente diligenciadas.

5 Marco conceptual

5.1 Estado del arte

5.1.1 Estado de arte local

Los ingenieros William Andrés Delgado Sandaña, Andrés David Sánchez Álvarez y Jhon Eugenio Pineda Pira presentaron a la universidad ECCI, la monografía titulada Optimización del plan de mantenimiento a vehículos Renault Duster 4X4, en el 2018. El cual se desarrolla para mejorar el plan de mantenimiento de los vehículos Renault duster 4X4 y cumplir la nueva normativa del plan estratégico de seguridad vial resolución 1565. La compañía donde se realiza este proyecto es prestadora de servicio especial y de carga pero el 98% de sus vehículos son contratados con terceros. Con este proyecto los ingenieros buscan dar mayor importancia al mantenimiento controlado y programado que prestan los terceros, ellos sugieren realizar metodologías convencionales para la recolección de información, metodologías de mantenimiento y diagnóstico, todo esto basado en lo que dice la norma del plan estratégico de seguridad vial y con el apoyo del manual del fabricante. Finalmente crean una base de datos con los mantenimientos realizados a los vehículos, donde se identifican los mantenimientos más frecuentes, críticos y los que generan mayor costo. La Monografía de los ingenieros da un lineamiento para el proyecto en cuanto a las hojas de vida de los equipos que se deben levantar junto con la periodicidad de los mantenimientos realizados, para tener un control y evitar correctivos por falta de un plan de mantenimiento de la línea de pintura. (Delgado Saldaña & Sánchez Alvarez, 2018)

En la ciudad de Bogotá, como monografía para la universidad ECCI, en el año 2017, los ingenieros José Efraín León Forero y Carlos Leonardo Marengo Lindo, presentaron el trabajo titulado Implementación del RCMII para el mejoramiento del plan de mantenimiento de la máquina H5010, con el objetivo de generar una propuesta que incrementara la confiabilidad de la máquina teniendo en cuenta la información recopilada y los indicadores negativos que presenta en la operación. La eficiencia de la máquina se encontraba en el 52% aproximadamente en el año 2015 y al revisar la data, se encuentra que la mayoría de actividades realizadas a la máquina fueron correctivas provocando una baja disponibilidad de la misma. Los ingenieros realizaron un análisis de esta información y el tipo de mantenimiento que estaban realizando en su momento, esto los llevo a la generación de mejoras como; diseño de formatos, diagramas de decisión, cinco S'es, pilar del mantenimiento autónomo, implementaron una estructuración y optimización del plan de mantenimiento de la máquina aumentando así la eficiencia en tres puntos porcentuales. Su propuesta fue el desarrollo de herramientas de Taxonomía, AMEF y el análisis de Pareto de fallas de mantenimiento, en el cual lograron con esta implementación a septiembre de 2017 una reducción de costos del 43% al 12%. Esta monografía permite fortalecer la investigación, debido que se realizará una propuesta de optimización del plan de mantenimiento, usando herramientas que los ingenieros utilizaron y a su vez lograr una confiabilidad mayor a la línea de pintura, disminuyendo tiempos de parada y sobrecostos. (León Forero & Marengo Lindo, 2017)

Los ingenieros Jhonatan Ladino Reina y Cristian Camilo López presentaron a la universidad ECCI, la monografía titulada Propuesta de optimización plan de mantenimiento de una flota de buses, en el 2018. En el cual se realiza una búsqueda de información, donde la data fue escasa por la limitación de los contratos laborales de los ingenieros en la empresa donde ejecutarían el proyecto. Al recopilar la información se puede evidenciar un alto número de mantenimientos correctivos en los buses, los cuales también se encuentran en un grado de deterioro. Se observan varias carencias y errores del mantenimiento preventivo y correctivo que la empresa estaba ejecutando, dando como resultado un 90% del tiempo dedicado a mantenimientos correctivos y un 10% a mantenimientos preventivos, esto se debe en gran parte por el personal que ejecuta los mantenimientos preventivos, al no realizar las actividades descritas en la orden de trabajo si no las que consideraban “esenciales” afectando confiabilidad y disponibilidad, esto sin contar el gran déficit de recursos económicos de la empresa que los obliga a utilizar repuestos de segunda y de baja calidad. Su propuesta fue realizar un análisis de causa raíz de las fallas que ameritaban, ensayos destructivos, dureza, tenacidad, granulometría, entre otras. Generaron un seguimiento de diferentes sistemas como correas de alternador, llantas, rodamientos y demás elementos que tuvieran un tiempo de vida útil, adicionalmente la implementación en el turno nocturno donde se revisarían niveles, graduación de frenos, revisión eléctrica (luces) y revisiones intermedias en el área del cárcamo para revisar sistemas de carrocería, mecánica y electricidad para disminuir tiempos de paradas y realizar correcciones que no superan la 1 hora de intervención, generando diariamente 6 vehículos en un horario de 11:00 pm a 3:00 am. Este estudio realizado por los ingenieros ayuda el desarrollo del proyecto para generar una buena documentación, ya que al comienzo ellos tenían una gran limitación para llevar a cabo su monografía, donde al final lograron tener unas mejoras e

implementaciones al plan de mantenimiento de los buses. Con la información documentada se podrá diseñar una propuesta de optimización del plan de mantenimiento con un seguimiento a las actividades a ejecutar y validar que las que se deben realizar sean acorde a lo que necesita la línea de pintura. (Ladino Reina & Lopez, 2018)

En la ciudad de Bogotá, como monografía para la universidad ECCI, en el año 2018, los ingenieros Erika Sánchez Sandoval y Daniel Augusto Correa, presentaron el trabajo titulado Consultoría de la gestión de mantenimiento para la empresa Gilpa Impresores S.A, con el objetivo de realizar una optimización de mantenimiento que permita mejorar los procesos, alargar la vida útil de los equipos, minimizar las fallas, disminuir los tiempos de reparación y reducción de costos. Con esta consultoría se permite evaluar la efectividad del plan de mantenimiento que está ejecutando la empresa actualmente y se evidencia que el área operativa de la empresa no tiene establecida la criticidad de sus equipos. Las actividades de correctivos son en un 70% y el 30% corresponden a las actividades preventivas programadas por los técnicos, tienen indicadores de gestión no funcionales los cuales no generan credibilidad, no tienen un control de eficiencia de los equipos, uno de los más importantes problemas que tiene la compañía es que desconocen los costos de pérdida de producción de las fallas de la maquinaria y no se tiene un presupuesto anual proyectado. Los ingenieros proponen realizar diagnósticos, planeación de funciones, análisis y síntesis, examen detallado, elaborar soluciones, propuesta al cliente, evaluación, establecer compromisos, plan de seguimiento y finalización. Al terminar el proyecto se tiene como resultado la duración de cada proceso, perdidas por parada no programada en función del tiempo que dure la falla, control de cumplimiento de las ordenes de trabajo, cronograma

actualizado de intervenciones programadas y actualización de los trabajos realizados. Este trabajo permite visualizar más detalladamente los costos de pérdida por parada de la línea de pintura con el fin de realizar un análisis, plan de seguimiento y elaboración de soluciones que ameriten su intervención. (Sánchez & Correa , 2018)

En la ciudad de Bogotá, como monografía para la universidad ECCI, en el año 2011, los ingenieros Welmar Gutiérrez y Javier Zúñiga, presentaron el trabajo titulado Investigación de estándares para las labores de mantenimiento, con el objetivo de realizar una estandarización en el desarrollo de tareas ejecutadas en el área de mantenimiento desde el inicio hasta el final realizando actividades como: visitas, revisiones, limpieza, lubricación, creación hoja de registro, historial de reparación, hoja de inspección, orden de trabajo, registro de solicitudes, clasificación de trabajo, presupuestos, costos y talento humano. Con esto mejoran los resultados en los distintos indicadores de gestión y actividades, teniendo una mejor calidad de su producto final. Esta monografía realizada por los ingenieros permite ampliar el panorama de todas las actividades que se deben contemplar al momento de generar una labor de mantenimiento, mostrando una serie de factores importantes que inicialmente no se habían contemplado en el proyecto. (Gutiérrez & Zúñiga, 2011)

5.1.2 Estado de arte nacional

En el año 2015 los ingenieros Luis Enrique Bejarano y Andrés Camilo Fernández plantearon un modelo de optimización para el mantenimiento proactivo de los equipos para la producción de leche u.h.t de la cooperativa Colanta s. ha basado en RCM. Como proyecto de grado en la universidad libre de Colombia, los ingenieros quieren mejorar la confiabilidad en los equipos por la mala programación del plan de mantenimiento, las paradas no programadas en producción debido a las constantes fallas de los equipos, falta de confiabilidad, estrategias de mantenimiento poco efectivas, no hay aplicación de filosofías de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Luego de analizar se recopila información suficiente para la aplicación de conceptos de RCM y herramientas de confiabilidad operacional RCFA y FMECA, logrando un plan piloto de mantenimiento proactivo. Con la implementación del plan propuesto se podría lograr que la confiabilidad y mantenibilidad se encontrara por sobre un 70 %, ya que las mejoras se verán reflejadas en los tipos de fallas no recurrentes, además se plantea una inversión de 47% más de reinversión para el stock de repuestos, para así llegar a la meta propuesta de mejora para la organización. Una vez analizada la monografía, se concluye, que los problemas que plantea inicialmente los ingenieros son similares a los que presenta la organización donde se va a proceder a ejecutar el proyecto, por lo cual esto orienta a realizar un trabajo basados en la confiabilidad, sus métodos ayudan a aplicarlos en el proyecto a ejecutar y analizar los resultados, si se ejecuta un buen análisis se podrá lograr una confiabilidad mayor para la organización, así como ellos pudieron aplicarlo. (Bejarano Calvijo & Fernandez Bueno, 2015)

En la ciudad de Bogotá, como monografía para la universidad distrital Francisco José De Caldas, en el año 2017, los ingenieros Johan Lisandro Rincón Grass y Jhon Alexander Sánchez cabezas presentaron el trabajo titulado Implementación de RCM para los activos críticos de materias primas de una fábrica de vidrio, con el objetivo de implementar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para los equipos críticos de la compañía, con esto se buscó minimizar algunos aspectos tales como; costos elevados de mantenimiento correctivo, pérdida de producción, mano de obra innecesaria entre otros. Inicialmente se toma en cuenta las recomendaciones del fabricante para cada equipo, también cuenta la experiencia en los mantenimientos realizados en activos similares, con esta información se procedió a planificar mantenimientos programados, predictivos y ocasionales, también se apoyaron con el programa de computo SAP, este sistema tiene una programación de mantenimientos preventivos y correctivos para cada equipo que ayudaran a dar un mayor control. Finalmente, los ingenieros plantean un modelo piloto en los equipos, generando lo siguiente; análisis de criticidad, seguimiento de fallas más comunes en los equipos, se determinó frecuencias de fallas y sus posibles causas, como resultado de la investigación se realizó capacitación de trabajadores sobre formatos, ejecución y cierre técnico, además de incorporación de indicadores para evidenciar a la planta los resultados y eficiencia en mantenimiento preventivo. Este proyecto ayuda a contemplar sistemas de cómputo como SAP para tener un mejor control del plan de mantenimiento, es una herramienta que se puede proponer en la organización con el fin de mostrar sus bondades y su gran ayuda para controlar la ejecución y programación de mantenimientos correctivos y preventivos.

(Rincon Grass & Sanchez Cabezas, 2017)

La ingeniera Paola Juliana Uscátegui Cristancho, presentó a la universidad industrial de Santander, la monografía titulada: Propuesta de mejoramiento de gestión de mantenimiento para el departamento de confiabilidad y proyectos en la empresa Petrosantander Colombia (INC), en el año 2014. En el que se elaboró un inventario de equipos, recopilando la información necesaria para estructurar 52 hojas de vida, se presentó el diagnóstico del departamento con el fin de determinar el estado de la gestión de mantenimiento identificando oportunidades de mejora en cuanto a documentación, planeación, y control de actividades, sistemas de información temas de personal y técnicos. Se establecieron indicadores de mantenimiento como respuesta a la carencia de mediciones y controles enfocados a la gestión del departamento. Además de realizar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos compresores IR como preámbulo a la realización de los planes para todos los equipos de la empresa. También se adquirió un sistema de información, M9, el cual permitió la retroalimentación permanente de los equipos, todo esto tomando como guía la norma ISO 14211 para lograr la mejora de la documentación de la información manejada por el departamento, enfocando el mantenimiento a la mejora de confiabilidad y por ende en una mayor productividad. En la organización donde se está realizando el proyecto no se tiene un control del historial de mantenimiento de los equipos, por lo cual el proyecto de la ingeniera, puede ayudar a tener una mejora en cuanto a documentación, mantenimiento, planeación y control de actividades de este proyecto en curso. (Uscátegui Cristancho , 2014)

En la facultad de ingeniería mecánica de la universidad santo tomas, en el año 2017 se presentó la Propuesta de mejora del plan de mantenimiento de los motores AX-901 Y AX901D en la planta Apiay de Ecopetrol, por el ingeniero Juan David Monroy Higuera. En su monografía informa que la actividad planificada de mantenimiento para estos equipos no ha sido posible, los motores presentan malos actores provocando paradas frecuentes afectando la operación por un tiempo considerable, estas paradas largas no se tienen planeadas, la principal causa de estas fallas es el alto contenido de agua, partículas sólidas, entre otros contaminantes que se lograron observar en el análisis de aceite. Para el desarrollo de esta investigación se identificó el estado de funcionamiento actual de los motores mediante el análisis de hojas de vida, rutinas de mantenimiento y análisis de aceite, aplicando la metodología de análisis de causa raíz para encontrar las causas del mal funcionamiento y la contaminación excesiva del aceite para posteriormente realizar una evaluación financiera del proyecto, con esta investigación se identificó que para el motor AX-901B la disponibilidad es de 84,5% y el rendimiento total efectivo es de 76,6%, la vida promedio del aceite es de 1.916 horas y los indicadores financieros; Valor presente neto y relación beneficio/ costo fueron de \$74'008.781 y 2.57 respectivamente. Para el motor AX-901D la disponibilidad es de 64,3% y rendimiento efectivo de 59.2%, la vida útil promedio del aceite es de 1.934 horas y los indicadores financieros; valor presente y relación beneficio/costo fueron \$34'751.632 y 2.15 respectivamente, evidenciando que el proyecto de mejora del plan tendría impactos altamente favorables para la organización. Con el análisis realizado por el ingeniero se puede dar una mayor importancia a la metodología de análisis de causa raíz para encontrar las fallas que se asocian con el proyecto ejecutado, generando un buen análisis se puede encontrar resultados altamente favorables para la organización. (Monroy Higuera, 2017)

Julio Cesar Ramírez y Hugo Fernando Moreno presentaron a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en el año 2017, la monografía titulada: Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-Treme del parque mundo aventura, tomando como referencia las normas SAE JA1011 y SAE JA1012. En este proyecto los ingenieros manifiestan en su planteamiento del problema una falta de análisis de criticidad y disponibilidad adecuada de los componentes que conforman la atracción X-Treme del parque mundo aventura, es una atracción que tiene una probabilidad alta de ocurrencia de falla, por lo cual debería ser una de las atracciones con mayor control de mantenimiento preventivo y correctivo contando también que esta atracción es una de las que más demanda tiene por parte de los usuarios. Los ingenieros investigaron los componentes funcionales de la máquina mediante hojas de vida y manuales de fábrica apoyándose en las herramientas de análisis de disponibilidad, revisan componentes y partes críticas de la atracción. Se realizó una calificación taxonómica de los componentes y partes de la atracción tomando como referencia la norma ISO 14224, se efectuó el análisis de criticidad para los componentes mecánicos y eléctricos de la atracción, tomando como referencia la norma SAE JA1011 y SAE JA 1012 y por ultimo un análisis de disponibilidad de la atracción. Obteniendo como resultado de su investigación que la atracción x-treme presenta un déficit de disponibilidad en los meses de octubre y noviembre por actividades de mantenimiento de alto impacto por lo que se recomienda plantear una estrategia semestral y no anual, además de optimizar el stock de repuestos ya que muchas demoras son ocasionadas por falta de estos, y se debe proponer un nuevo diseño de frenos y posicionamiento de góndola en el embarque , ya que es este el que presenta mayor cantidad

de fallos. El proyecto realizado por los ingenieros, genera una orientación con el fin de tener en cuenta la importancia de tener disponibilidad de componentes que necesita una máquina con el fin de no afectar la operación si falla y más si los componentes de la máquina deben ser exportados. (Ramirez & Moreno, 2017)

5.1.3 Estado de arte Internacional

En el año 2016 el estudiante Juan Carlos Villegas Arenas de la ciudad de Arequipa – Perú presento a la Universidad Católica San Pablo su tesis de grado titulada: Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa “Manfer S.R.L. contratistas generales”; El estudiante manifiesta en el planteamiento del problema la necesidad de optimizar los procesos y generar un beneficio económico para la organización, se presentan varias paradas por fallas generando sobrecostos ya que deben asumir aparte de la reparación del equipo el costo de la mano de obra calificada para no incurrir en penalidades, también debe realizar un cambio de cultura y pensamiento de los técnicos ya que en la organización tienen un concepto errado de mantenimiento donde lo confunden con reparación. Luego de recopilar la información necesaria para ejecutar este trabajo y mejorar los problemas planteados anteriormente el estudiante ejecuta una auditoria, diagrama de Pareto, indicadores, estos le arrojaron una serie de análisis donde determinó que en el área de mantenimiento de la empresa MANFER S.R.L. no contaba con una adecuada capacitación del personal para el manejo de los equipos y tenía una disponibilidad del 64.9% de la maquinaria, haciendo que los costos de alquiler al año sean de S/. 319,975.80 (\$290 millones aprox.) Con la implementación adecuada del plan de mantenimiento de RCM, capacitaciones al personal, implementación de formato poka yoke, diagrama flujo de procesos con implementación de orden de trabajo,

entre otros se optimiza la disponibilidad de las máquinas en un 78.5%, generando una utilidad anual por ahorro de alquiler de S/. 124,877.80 (\$114 millones aprox.) Se formalizó un examen de costo beneficio de la licitación en la que se estableció inicialmente que el costo total es de S/. 73,700. Este trabajo da una orientación en la ejecución del proyecto y validar si los colaboradores se encuentran capacitados para manejar los equipos de la organización, de igual forma poder verificar si es viable planificar una auditoria interna de los procesos del área de mantenimiento para constatar que se estén cumpliendo los cambios propuestos si llegan hacer autorizados por la compañía. (Villegas Arenas, 2016)

Para el año 2007 el estudiante Álvaro Eduardo Pesantez Huerta presentó una tesis de grado que consistía en elaborar un plan de mantenimiento correctivo y predictivo en función a la criticidad de los equipos del proceso productivo de una empresa empacadora de camarón, proyecto presentado para la Escuela Politécnica del Litoral en Guayaquil – Ecuador; el problema que se plantea en este trabajo es la falta de plan de mantenimiento preventivo para los diversos equipos donde se ve afectada la operación con paradas no programadas, se determina que el mantenimiento que se realiza es muy básico y no tiene un cronograma o histórico de los mantenimientos que se han hecho o se deben hacer a los equipos de la compañía, como parte del análisis se levantó información de la condición actual de los equipos principales, manera de operación y equipos de mantenimiento. El estudiante se apoya en el análisis de criticidad y plantea iniciar por conocer el proceso productivo de la empresa, indicar la etapa de mayor importancia y establecer que equipos ingresan en este proceso y tienen mayor criticidad, se resalta que la empresa está realizando solo mantenimientos correctivos y espera a las paradas inesperadas teniendo unos sobrecostos

del 25.6% sobre su producción final. Se espera que después de haber implementado este plan de mejora en los mantenimientos preventivos y predictivos, la empresa baje un 11% el uso de esta herramienta y no presente retrasos en la producción. El planteamiento del problema de este proyecto, ayuda a tomar las buenas prácticas y no solo realizar un plan de mantenimiento básico que a futuro pueda resultar siendo un procedimiento que arroje cifras negativas en la parte financiera y realiza una orientación a tener un plan de mantenimiento robusto que se acople a la necesidad de la organización. (Pesántez Huerta, 2007)

En el año 2009 se presentó la tesis titulada optimización centrada en mantenimiento en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Ticoman de México, este trabajo fue presentado por el estudiante José Arturo Correa Arrendo propone un proceso de optimización de mantenimientos correctivos y preventivos del módulo de potencia del túnel de viento A-X/8M, , luego de recopilar toda la información, el estudiante propone realizar un rediseño que se acople a las funciones donde se validan lo siguiente: tipos de soldadura, puntos de apoyo, estructuras, plataformas aisladoras de vibración, en estas modificaciones se sostiene la mantenibilidad y ergonomía, implementando estos trabajos permite que el túnel de viento vuelva a su operación, también se plantean elevadores con carretilla para un mejor desplazamiento del equipo. Se plantea un manual con la información suministrada y la indagada donde se adaptaron ideas para subsanar la carencia y mejorar la metodología tradicional de ejecución de mantenimiento con la venían trabajando. Este Se concluye que muchas veces ejercer un plan de mantenimiento correctivo desde el diseño del equipo puede tener muchos beneficios en virtud de alargar la vida útil del equipo y su mantenibilidad en los mantenimientos. Después de analizar este trabajo se puede ver que si

es viable implementar los mantenimiento correctivos programados con el fin de tenerlos mapeados y evitar fallas y/o paradas no programadas que afecten la operación, teniendo en cuenta que en el proyecto a ejecutar no cuenta con un plan de mantenimiento claro para cada equipo. (Correa Arredondo, 2009)

En el año 2015 el ingeniero Carlos Moisés Jara Rodríguez, presento su trabajo de tesis sobre manual de mantenimiento preventivo para la optimización de funcionamiento de equipos de línea blanca grande en Guayaquil – Ecuador; su objetivo fue el dar a conocer la importancia de la implementación del mantenimiento preventivo a los equipos de lavado y secado de las prendas de vestir, se basó en el método demostrativo y mediante graficas secuenciales del procedimiento de mantenimiento de las piezas más sensibles donde se presenta lodo, polvo y pelusas. La necesidad de conservar los equipos y que funcionen durante su vida útil permitirá al usuario reducir pérdidas de tiempo y ahorro de dinero. Este proyecto generar un panorama más específico con el fin de ejecutar todas las actividades y/o herramientas necesarias para realizar una optimización del funcionamiento de un equipo, si este planteamiento está fundamentado correctamente desde el inicio permitirá reducir perdidas de dinero y tiempo a la organización. (Jara Rodriguez, 2015)

En el año 2016, el estudiante Fabian E. Bravo H., presento a la Universidad central de Venezuela su tesis de grado titulada: Elaboración de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, el estudiante manifiesta en el planteamiento del problema que se deben reducir costos de mantenimiento ya que la organización no cuenta con el capital suficiente

para ejecutarlos o para renovar los equipos. Tiene 6 líneas de producción donde la línea seis tiene problemas de disponibilidad por que la línea está enfocada a realizar mantenimiento correctivos generando numerosas paradas no programadas que a su vez afecta la disponibilidad, la producción en la línea seis disminuyo casi a la mitad entre junio del 2013 a junio del 2014. El Estudiante realizo un diagnóstico de la situación actual del extrusor de la línea seis validando históricos de fallas, genera un análisis de criticidad con el fin de determinar cuál de los componentes son más susceptibles a presentar fallas durante su funcionamiento, genera también un análisis de modo y efectos de falla que permitió identificar de una forma más detallada cuáles son las fallas. Finalmente, su principal punto de trabajo se fijó en disminuir las horas de parada no programadas en la línea seis de Pepsico Alimentos S.C.A. evitando que la línea se fuera a correctivo, generando estrategias que logran realizar mantenimiento preventivo sin afectar la operación. El resultado del análisis de criticidad arrojo que el husillo y el motor son los componentes más críticos por lo cual su plan de mantenimiento estará enfocado a estos elementos, se encontraron también 8 modos de fallas donde también genero estrategias y tareas para controlarlos. Con este trabajo se puede plantear más estrategias al momento de los resultados del análisis de fallas y análisis de modo y efecto que se realizaran con el fin de corroborar los elementos que más estén presentando falla, también orienta a realizar actividades efectivas para cumplir con una buena propuesta de mantenimiento. (Bravo H, 2016)

5.2 Marco teórico

5.2.1 ¿Qué es Mantenimiento?

Siempre se ha definido el mantenimiento como un conjunto de metodologías que se implementan en el día a día para mantener los equipos, estructuras y servicios de nuestra organización operando de manera adecuada durante un largo tiempo de disponibilidad y con el mejor rendimiento.

Desde el proceso industrial del siglo XIX hacia estos tiempos, el mantenimiento ha sufrido varios cambios y etapas de mejora. Anteriormente cuando se estaba en la revolución industrial, no existía la dirección de mantenimiento y eran los propios operarios de estas máquinas quienes se encargaban de realizar las actividades de mantenimiento de los equipos; pero, entre más pasaba el tiempo estos equipos se hacían más grandes y complejos en sus componentes se hacía que el tiempo que se dedicaba a reparar aumentara, así fue como iniciaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento. La única actividad que se implementaba durante esta época era el de mantenimiento correctivo, dedicándose a solucionar las fallas que se generaban en los equipos.

Actualmente, el mantenimiento se fija en mantener un objetivo valor en la disponibilidad, fiabilidad, gestionar y asegurar una larga vida útil dentro de un presupuesto óptimo para realizar esta operación. (García, 2006)

5.2.2 Tipos de mantenimiento

5.2.2.1 Mantenimiento correctivo

Esta actividad se entiende por la corrección de las fallas o averías que se presentan en los equipos, cuando estas se generan. Es frecuente la reparación de la estructura o equipo cuando se ve obligado a detener la actividad que se está realizando por la falla. Es la forma más básica de realizar mantenimiento, ya que cuando el equipo se detiene por la falla se interviene y ya.

Actualmente algunas empresas sostienen que es más rentable dejar que los equipos se vayan a falla, ya que algunos componentes no requieren de gran intervención; nunca se podrá planificar esta clase de mantenimiento, sus costos son inciertos ya que no tienen un análisis de repuestos. (García, 2006)

5.2.2.2 Mantenimiento preventivo

Es el presupuestado a la preservación de máquinas o estructuras por medio de revisiones e intervenciones que y reparación que certifican un adecuado funcionamiento y fiabilidad. El mantenimiento preventivo se ejecuta en equipos que aún se encuentran en funcionamiento.

El objetivo principal del mantenimiento es evadir o mitigar cualquier consecuencia producida por fallos en el equipo, logrando minimizar los incidentes antes de que estas se materialicen. Las labores de mantenimiento preventivo pueden contener trabajos como cambio de piezas, cambios de fluidos o hasta la reposición total del equipo, etc.

El mantenimiento preventivo compone una labor o serie de actividades necesarias, para ampliar la vida útil y evitar interrupciones de las actividades diarias de la empresa por

contratiempos. Un mantenimiento proyectado incrementa la productividad hasta en 25 %, minimiza los gastos de mantenimiento y extiende la vida útil de la maquinaria. (Garcia, 2006)

5.2.2.3 *Mantenimiento conductivo*

Se denomina esta clase de mantenimiento a una serie de trabajos de mantenimiento que ejecuta el personal que opera la máquina o estructura a intervenir.

Una forma de mantenibilidad fundamentada en condición proyecta la idea de que el trabajo para analizar los equipos, no necesariamente debe realizarse exclusivamente por el personal encargado de mantenimiento sino; además, por personal que tenga relación. Existe un número de tareas en concreto de alistamiento o de mantenimiento que deben de ser realizadas por los mismos usuarios, algunas de estas tienen que ver con la observación de la nave, determinando si no existe algún funcionamiento inadecuado, cambio o ajuste de algunos consumibles. (Gonzalez Garcia, 2016)

5.2.2.4 *Mantenimiento preventivo*

El mantenimiento predictivo es una actividad para prever el punto de una falla futura de algún componente, equipo o estructura y evitar las paradas de este; con la idea de que se reemplace con tiempo adecuado. Con esto se alcanzan dos objetivos primordiales del mantenimiento, minimizar las paradas en tiempo y alargar la vida útil de los componentes.

El uso de este mantenimiento radica en construir, una visión histórica entre el desgaste por el trabajo y la vida útil del mecanismo establecida por el fabricante, las tomas deben de ser periódicas hasta la falla del componente. (Mosquera Castellanos, 2009)

5.2.2.5 *Mantenimiento cero horas*

Son una serie de tareas, con el único objetivo de analizar los equipos a periodos proyectados antes de materializar ningún fallo, esto se realiza cuando la fiabilidad de la máquina o estructura disminuye notoriamente haciendo que sea imprudente realizar otra clase de mantenimientos sobre su capacidad de carga para la labor. Este mantenimiento trata en dejar la máquina a cero horas de trabajo, como si el equipo fuera nuevo. Siempre se cambian o se reparan todos los accesorios del equipo que tengan algún desgaste por uso. Se quiere certificar con gran credibilidad un tiempo de adecuado funcionamiento de antemano. (Gonzalez Garcia, 2016)

5.2.2.6 *RCM*

El mantenimiento centrado en confiabilidad o Reliability Centred Maintenance, es una actividad donde se elabora un plan de mantenimiento dentro de las instalaciones de una empresa presentando varias ventajas sobre otros tipos de mantenimiento, ya que esta incluye toda la organización. Esta técnica fue creada inicialmente para industria aeronáutica y con posteridad se incluyó al sector militar e industrial.

Su objetivo principal en las organizaciones es el de incrementar la fiabilidad de las instalaciones y equipos; es decir, El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir, reducir los tiempos de paradas por imprevistos que impidan lograr las metas de producción. Igualmente, el RCM incluye aumentar toda la disposición de la planta y minimizar los costos de mantenimiento. Los estudios del fallo en cada uno de los sistemas productivos dan una serie de resultados.

- Capacitación adecuada y mejorada en el funcionamiento de los equipos.
- Estudia cualquier riesgo de fallo en un sistema desarrollando alternativas de cero fallas, no importa si son causadas por el equipo o actos humanos.
- Generan una serie de actividades para mantener alta la disponibilidad de la planta.

Determinar las tareas para evitar los fallos puede ser:

- Establecer las tareas que evitarán o minimizan estas averías.
- Rediseño o acondicionamiento de las instalaciones.
- Serie de trabajos para que los fallos e incidencias sean mínimos en caso de no poder detener la avería.
- Establecer el valor del stock para poder contener cualquier fallo y no elevar costos.
- Planes de capacitación.

RCM se basa en el análisis de todos los causales de fallos posibles y potenciales que se puedan tener en la organización, identificar los causales y determinar varias tareas preventivas de acuerdo a la importancia de cada uno. Para esto en RCM se manejan siete preguntas claves para resolverlas:

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
- ¿Cómo falla cada equipo?
- ¿Cuál es la causa de cada fallo?
- ¿Qué parámetros monitorizan o alertan de un fallo?
- ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
- ¿Cómo puede evitarse cada fallo?
- ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

La aplicación de estas preguntas a cada sistema crítico y de acuerdo a su solución dentro de la organización conducirá a determinar posibles fallos, sus causales y medidas a tomar que se deben de adoptar para evitar su materialización. (Gonzalez Fernandez, 2003)

5.2.3 Plaforización

La plaforización es un pretratamiento para el desengrase y la fosfatación orgánica, la cual se realiza en una etapa a temperatura ambiente con el fin de preparar piezas metálicas para el proceso de pintura

Las características químicas disminuyen la cantidad de pasos para preparar una pieza metálica, evita el uso de agua, así como la eliminación de lodos y residuos que afectan el medio ambiente.

En este proceso, los contaminantes oleosos son primero disueltos por la mezcla de fluidos y luego incorporados en el polímero. Una vez secado el producto, la pieza tratada queda recubierta por una capa continua de un compuesto de polímeros orgánicos, que garantiza la adhesión de la pintura, proporciona protección contra la oxidación, e incrementa el desempeño de las operaciones posteriores de acabado. (Axioma b2b Marketing, 2018)

5.2.4 Pintura electrostática

Es una composición que se da de la mezcla de la pintura con resinas, pigmentos y cargas minerales, en polvos muy finos y el cual es aplicado con una pistola electrostática para polvo mezclándose con aire y es saturada eléctricamente, para ser aplicada en la pieza de trabajo que está interconectada a tierra, los polvos de pintura las cuales continúan adheridas

por carga estática son rápidamente calentadas en un horno en donde se convierten en un revestimiento continuo.

El conjunto de herramientas usadas para la aplicación de esta pintura ordinariamente está compuesto por:

- Pistola de aplicación
- Cabinda de pintura
- Horno de curado

Existen otros tipos de pintura los cuales son:

Híbridos: Los híbridos adoptan las ventajas de las resinas tipo poliéster con las epóxicas.

Existen diferentes compensaciones entre resinas poliéster y epóxicas. Entre las proporciones más comunes se tienen 50/50, 60/40 y 70/30.

Los híbridos son frecuentemente manejados en aplicaciones decorativas e interiores.

Conservan también una elevada resistencia al sobre horneado y cuentan una buena pegadura sobre superficies metálicas.

Las pinturas en polvo híbridas tienen una imperceptible resistencia a los rayos ultravioletas.

Por ello, no se recomienda este tipo de pintura para exteriores ya que alcanzan a sufrir cambios en su coloración y entizamiento.

- Poliésteres: Son pinturas recomendadas para usos interiores y exteriores. Tienen un alto aguante a diferentes escenarios climáticos, a rayos ultravioletas y al sobre horneado. También, cuentan con una excelente adherencia sobre zonas metálicas, condescendiendo el posterior maquinado de la pieza.

Existen igualmente poliésteres de gran duración que están desarrollados concretamente para ambientes exteriores. Este tipo de pinturas no es conveniente para pisos que requieran maquinado posterior debido a sus bajas propiedades mecánicas.

Otra clase de poliésteres se conoce como poliésteres microtexturados los cuales son de usos ordinarios y aptos para uso decorativo en ambientes interiores y exteriores. Poseen suprema resistencia al sobre horneado y permiten el maquinado posterior de la pieza.

- Epóxica: Las pinturas epóxicas son expuestas con resina epóxica, las cuales tienen una alta firmeza contra la corrosión y los agentes químicos. Este tipo de pinturas no se recomiendan para uso exterior o para usos donde el producto esté expuesto a los rayos ultravioleta. Cabe reiterar que las pinturas epóxicas fueron los recubrimientos termoestables que existieron en el mercado por primera vez. (DQ poeder coatings, 2018)

5.2.5 Criticidad

Las mejoras de confiabilidad en una operación o en un sistema, pueden estar asociadas a unos aspectos que en toda compañía se deben tener en cuenta como lo son la confiabilidad humana, del proceso, del diseño y por último la confiabilidad en el mantenimiento. Aunque estos aspectos son los que mayor prioridad debería tener en las organizaciones difícilmente se cuenta con los recursos, normalmente se tiene una deficiencia en lo económico y en el talento humano. La mayoría de las organizaciones se realizan varias preguntas en cuanto a sus procesos, algunos pueden ser ¿Qué criterio se debe utilizar?, ¿Qué decisión es la más conveniente? Entre otras. Para estos casos se puede utilizar un análisis de criticidad este

puede tener la mayoría de respuestas a estas preguntas, lo que hace tan práctico de utilizar este sistema es que la organización puede generar una lista ponderada desde la máquina, Equipo y/o elemento más crítico hasta el menos crítico. Cuando ya se tienen mapeado los equipos, máquinas y/o elementos se puede tener más claridad a los que mayor seguimiento se debe realizar.

Cuando se realiza este análisis se obtienen tener tres parámetros, alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad, con estos las organizaciones pueden diseñar una estrategia para realizar proyectos, estudios o planes de mejora que ayuden a aumentar la confiabilidad operacional. Se debe tener en cuenta para diseñar las estrategias la seguridad, Medio ambiente, Costos de mantenimiento y operación, fallas, tiempo de reparación, poco a poco la organización podrá tener más claro que actividades y/o criterios puede realizar para establecer prioridades y focalizar su trabajo. (Reliabilityweb.com/sp/, 2018)

5.2.6 Análisis causa raíz

Este es un método cualitativo de análisis de falla que se basa en una lógica para identificar cuáles son las causas responsables de estas fallas, este sistema también permite identificar o encontrar la mejor solución para corregir estas fallas. Este método es complejo por lo cual se recomienda a las organizaciones validar si la falla amerita realizar este estudio ya que genera una gran inversión en tiempo teniendo que validar frecuencia de fallas, determinar origen de falla, impacto de falla, circunstancias de la falla, la idea principal es recolectar la mayor información para eliminar por completo la falla una vez tomadas las acciones correctivas para mejorar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del equipo. Para hacer este análisis se recomienda que la organización analice más allá de los componentes físicos y se pueda revisar procedimientos equivocados o falta de capacitación del personal.

Las etapas para aplicar este análisis de causa Raíz son: **Definir el problema;** se debe analizar muy bien cuál es el problema que se quiere solucionar y se decide si aplicar el sistema de análisis causa raíz con el fin de tener una mejora en el funcionamiento del equipo. **Análisis del problema;** se debe recolectar toda la información pertinente de la falla y/o problema presentado, tener un orden de los eventos presentados y finalmente analizar cada dato recolectado para encontrar donde pudo ser la posible falla. **Identificar Soluciones efectivas;** cuando se tengan todos los hallazgos de la falla y sus correspondientes conclusiones del análisis del problema estudiado y teniendo identificadas las causas de fondo se debe proceder a mapear las correcciones y asegurar que estas fallas no se vuelvan a presentar. **Implementar soluciones:** se procede a ejecutar las soluciones planteadas, se recomienda realizar un seguimiento para confirmar que las fallas fueron eliminadas y se encuentra el equipo operando a conformidad. (Vera Muñoz, 2018)

5.2.7 Taxonomía en el mantenimiento

Siempre que se analiza un equipo, se debe entender que este tiene dos características, la primera es su físico que está enfocada a su preservación y la segunda es su función que se debe de mantener por parte del mantenimiento; ambas partes siempre esta sujetas a la atención del personal a cargo.

Se entiende que, para el área de mantenimiento el servicio que presta una máquina siempre debe ser lo primero por la importancia de la máquina en el proceso de producción y por ningún motivo se puede detener el funcionamiento de dicho sistema; para reducir cualquier riesgo de que esto suceda, se debe de considerar los planes de contingencia como tener un equipo de soporte.

Los fundamentos de la taxonomía son la conservación de los recursos y esta se basa en la preservación y mantenimiento industrial, su principal característica es evitar daños en los recursos físicos que tiene la organización; ya que, si el servicio que presta el activo se mantiene eficiente, el activo se preserva en óptimas condiciones. (Carrasco, 2018)

5.2.8 Norma ISO 14224

Esta norma se utiliza como una herramienta que al ser aplicada sirve como registro de los incidentes o prácticas dentro del área de mantenimiento basada en RCM.

Presenta un conjunto de datos para asegurar que la información recolectada de cada sistema se lo más acertada posible y permita aumentar la confiabilidad de los equipos; no solo se compara con los equipos en uso, esta norma también se aplica cuando se encuentra en la fase de montaje o diseño del sistema a analizar.

Los objetivos primordiales que estudia esta norma:

- Detallar la información recolectada para analizar:
 - Diseño y disposición de cada sistema
 - Disponibilidad, seguridad y confiabilidad de cada sistema
 - Estudio del costo de ciclo de vida
 - Planeamiento, mejoras y optimización del mantenimiento
- Registrar la información obtenida en formatos estandarizados:
 - Admitir las observaciones entre las áreas de la organización
 - Certificar que toda la información sea la suficiente para poder realizar los estudios suficientes del sistema

5.3 Marco normativo y legal

Norma	Numeral	Observación
SAE JA 1011	5	Establece la secuencia de 7 preguntas para realizar un mantenimiento basado en RCM
SAE JA 1012	7	Definición de las fallas funcionales como parciales, totales y límites superiores e inferiores
	8	Esta sección discute los cinco conceptos claves siguientes concernientes a los modos de falla a. Identificar los modos de falla. b. Establecer que se entiende por “probable”. c. Niveles de causalidad. d. Fuentes de información. e. Tipos de modos de falla. Esta sección discute los cinco conceptos claves siguientes concernientes a los modos de falla a. Identificar los modos de falla. b. Establecer que se entiende por “probable”. c. Niveles de causalidad. d. Fuentes de información. e. Tipos de modos de falla.
ISO 9001	6.2	Calidad y planificación: Ser medibles, Ser acertados para la conformidad de los productos, Qué se va a hacer, que recursos se necesitaran, quien será el responsable, la forma en la que se evaluarán los resultados.
	6.3	Planificación y control de cambios: El propósito de los cambios y sus potenciales consecuencias Disponibilidad de recursos Y La asignación o reasignación de responsabilidades y autoridades

Tabla 1: Marco normativo y legal. Fuente Autores

5.4 Marco histórico

El 01 de agosto del año 1995 nace la compañía bajo el nombre de Grupo Industrial Metalmecánico en la ciudad de Bogotá con capital netamente nacional, con el objetivo de producir y comercializar construcciones metalmecánicas para aplicaciones eléctricas en sitios industriales. En el año 2005 decide enfocarse en la consecución de proyectos eléctricos aumentando su portafolio de productos y en el 2013 amplía su alcance integrando a sus líneas de negocio el montaje, puesta en marcha y mantenimiento de instalaciones electromecánicas en las diferentes industrias del país, haciendo presencia en el sector eléctrico colombiano y participando en grandes proyectos de distribución eléctrica. Gracias a esto, Grupo Industrial Metalmecánico es reconocido en el año 2012 por la revista Poder al ser parte de una nueva generación de empresas dinámicas en ventas en el país.

Con el fin de continuar su desarrollo como empresa y brindar la mejor calidad para sus clientes, en el año 2014 Grupo Industrial Metalmecánico decide cambiar su razón social, surgiendo así GIM Ingeniería Eléctrica Ltda., siendo este un cambio enfocado al desarrollo de proyectos a gran escala dentro del sector eléctrico nacional e implementación de soluciones tecnológicas en la industria. (GIM Ingeniería, 2018)

6 Marco metodológico

6.1 Recolección de la información

6.1.1 Tipo de investigación

Cuando se realiza una investigación, existen varios métodos investigativos que sirven como herramientas para obtener datos, posibles soluciones, tener un panorama claro del problema o investigación; teniendo estas respuestas se puede llegar a tener un análisis consecuente y práctico para ser aplicado en el campo de estudio.

TIPO DE INVESTIGACIÓN	CARACTERÍSTICAS
• Histórica	Analiza eventos del pasado y busca relacionarlos con otros del presente.
• <i>Documental</i>	Analiza la información escrita sobre el tema objeto de estudio.
• Descriptiva	Reseña rasgos, cualidades o atributos de la población objeto de estudio.
• Correlacional	Mide grado de relación entre variables de la población estudiada.
• Explicativa	Da razones del por que de los fenómenos.
• Estudios de caso	Analiza una unidad específica de un universo poblacional.
• Seccional	Recoge información del objeto de estudio en oportunidad única.
• Longitudinal	Compara datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población con el propósito de evaluar cambios.
• Experimental	Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o mas variables independientes sobre una o varias dependientes.

Tabla 2: Tipo de Investigación. Fuente Universidad ECCI

Fuente: Universidad ECCI, guía para presentación de proyectos de investigación.

Para este proyecto en especial, el método de investigación que se utilizará es documental y estudio de caso.

6.1.2 Fuentes de obtención de la investigación

6.1.2.1 Fuentes primarias

Para el trabajo de investigación, las fuentes primarias utilizadas fueron GIM Ingeniería SAS, manual usuario, bases de datos control de mantenimiento, historial de uso de la línea de pintura, informes de gestión de mantenimiento, informes de los operarios, fichas técnicas de los equipos a estudio.

6.1.2.2 Fuentes secundarias.

Las fuentes consultadas para este punto son tesis de grado universidad ECCI, tesis de grado a nivel nacional, artículos científicos, artículos de internet, tesis de grado a nivel internacional, casos de estudio, libros sobre mantenimiento e informes de otras empresas.

6.1.3 Herramientas de la investigación.

- Registro histórico de mantenimientos
- Instructivo de mantenimiento de equipos
- Norma ISO 14224
- SAE JA 1011
- SAE JA 1012
- Microsoft Excel

6.1.4 Metodología de la investigación

El desarrollo de los objetivos se ha planteado varios procedimientos los cuales se desarrollarán de la siguiente manera

Para desarrollar el objetivo número 1 “Diagnosticar el estado actual de las actividades de mantenimiento para los equipos de la línea de pintura” se aplicará el método documental, ya que tiene como base la documentación adecuada para obtener el estado actual del área de mantenimiento para los equipos utilizados buscando tener una visión correcta del porcentaje de disponibilidad de las máquinas.

En el desarrollo del objetivo número 2 “Proponer un análisis de modos y efectos de falla para los equipos analizados” se aplicarán conocimientos obtenidos durante la especialización de gerencia en mantenimiento, en AMEF buscando las posibles fallas en el sistema de pintura, con esto evaluar y clasificar cada componente que interviene en el proceso.

Por ultimo para desarrollar el objetivo número 3 “Establecer la propuesta de mejora para el plan de mantenimiento” se aplicarán en conjunto los métodos investigativos documental y estudio de caso, al tener la documentación apropiada y conocimiento de procesos similares con su respectiva solución, construir la mejor propuesta donde se eleven la confiabilidad y disminuya gastos de los equipos en la línea de pintura.

6.1.5 Información recopilada

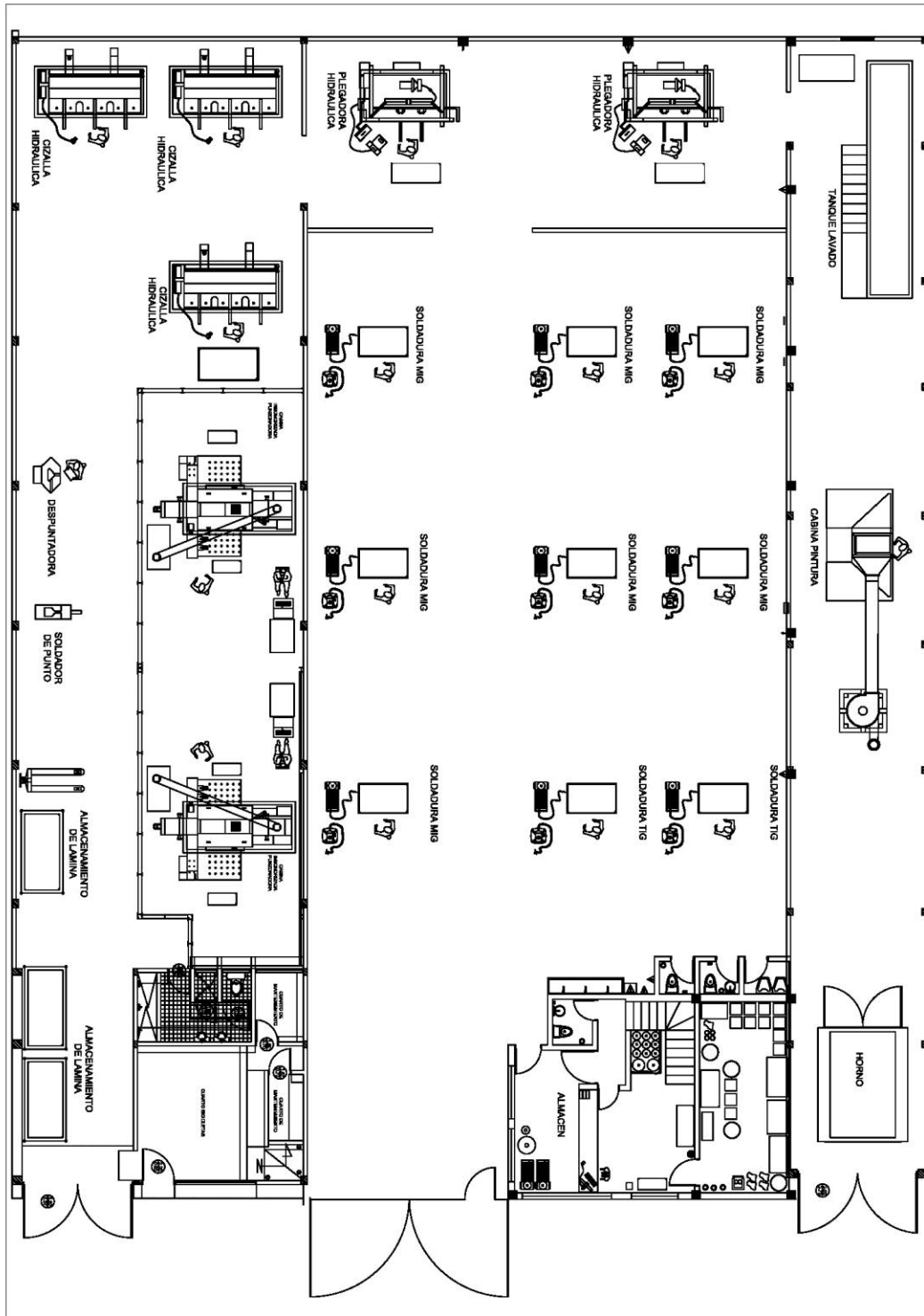


Ilustración 1: Planos planta metalmeccánica.

Al realizar la recolección de los datos encontrados en la empresa GIM ingeniería eléctrica, se encuentra que la empresa cuenta con una serie de formatos, instructivos y hojas de vida de la línea de pintura la cual está compuesta por:

- Tanque de plaforización.
- Cabina de pintura.
- Equipo de pintura electrostática.
- Horno

6.1.5.1 *Tanque plaforización*



Ilustración 2: Tanque plaforización.

El tanque de plaforización está fabricado en lámina de acero inoxidable, contiene un sistema de aspiración, control de nivel, dosificador automático y plataforma de escurrido, las dimensiones son: 2.6 x 1 x 1.5 metros (largo X Ancho X Alto).

6.1.5.2 Polipasto

Capacidad:	1 ton	
Caída de cadena:	1	
Ascensor estándar:	3 m	
Cable pulsador:	2.5 m	
Velocidad de elevación :	50 Hz (4p)	18 m/min
	60 Hz (6p)	15 m/min
Salida del motor:	50/60 Hz	1.8 kW
Potencia del motor del carro:	50/60 Hz	0.4 kW
Cadena de carga:	7.1 x 21mm	
Peso:	105 Kg	
Peso para la elevación adicional de 1m:	1 Kg	

Tabla 3: Características polipasto. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.

Plan de mantenimiento utilizado por la organización.

Descripción	Frecuencia
1. Revisar el freno. 2. Inspección visual de la cadena. 3. Suspensión de la caja de control por el alambre de acero.	Diariamente
1. Limpieza y lubricación de la cadena. 2. Verificar funcionamiento del limitador.	Mensualmente
1. Medición del desgaste en la cadena 2. Medición del desgaste en los ganchos. 3. Apretar los tornillos de los ganchos.	Trimestralmente
1. Ajuste del limitador y freno. 2. Lubricación de los engranajes.	Anualmente

Tabla 4: Plan de mantenimiento utilizado por la organización para el tanque de plaforización. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.

Orden de trabajo utilizado por la organización.

FRECUENCIA		ACTIVIDAD	FECHA / PERIODICIDAD									
			1	2	3	4	5	6	7			
			03-ago-17	05-sep-17	03-oct-17	03-nov-17	05-dic-17					
			M	M/T	M	M	M/T					
M		Revisión general	✓	✓	✓	✓	✓					
M		Revisar presión en los manómetros de los filtros	✓	✓	✓	✓	✓					
T		Tomar muestra del químico del plaforizado					✓					
SU		Limpieza de filtros										
SU		Cambiar filtro										
HORA INICIO:			1:45 pm	04:00 pm	03:15 pm	8:00	10:15					
HORA FINAL:			2:25 pm	05:00 pm	04:15 pm	8:35	11:10					
FIRMA OPERARIO DE MANTENIMIENTO			<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>					
FIRMA OPERARIO RESPONSABLE DEL EQUIPO			<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>					
OBSERVACIONES:												

(GIM ingeniería eléctrica, Instructivo para le mantenimiento preventivo del tanque de plaforización y polipasto, 2014)

6.1.5.3 *Cabina de pintura*

Este sistema está compuesto por tres componentes: cabina, ciclón y recuperador de cartuchos, los cuales hacen que esta cabina permita el máximo aprovechamiento y reutilización de la pintura optimizando así el uso del polvo de pintura.



Ilustración 3: Cabina de pintura.

6.1.5.4 Cabina

Modelo:	CL1 4000/PL
Serie:	
Dimensiones (Largo, ancho, Alto):	4000mm x 1500mm x 2300 mm
Voltaje:	220V
Capacidad depósito:	

Tabla 5: Características cabina de pintura. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.

Recomendaciones

- Verificar en las zonas de aspiración que no se encuentren elementos que puedan dañar o afectar el sistema de recuperación de pintura.
- Verificar que el tablero se encuentre energizado.
- Controlar que la iluminación sea la adecuada, además de tener los bombillos en buen estado.
- Para el buen funcionamiento de la cabina no puede haber corrientes de aire de mayor a 0.3 m/s circuncidantes a la cabina.
- No manipule la unidad de suministro y extracción cuando esté en funcionamiento.

6.1.5.4.1 Ciclón

Recomendaciones de uso

- Utilizar siempre aire limpio, libre de agua y aceite para el sistema de des colmatación automático.
- No retire la bomba de Venturi cuando se encuentre en funcionamiento.
- Controlar que los conos de los ciclones y la bomba Venturi permanezcan completamente cerrados, ya que cualquier filtración de aire por estos dispositivos ocasiona que la

pintura se vaya a los recuperadores, inclusive la apta para reutilizar.

- Realizar los cambios de la bomba Venturi y/o sus respectivas piezas de forma manual, no utilizar hombre-solo, ni llaves de tubo ni ninguna otra herramienta que pueda generar daños o partir algún dispositivo.
- Retirar la pintura del fondo poroso del tamizador con la mano o alguna herramienta plástica, no utilice herramientas metálicas para no romper fondo

6.1.5.4.2 Recuperador de cartuchos

Modelo:	D5	
Serie:	D10-1111-365-19	
Dimensiones (Largo, ancho, alto):	1500mm x 1000mm x 2800 mm	
Potencia total instalada:	7.5 HP	
Voltaje:	220 V	
Electroválvulas:	BFEC	
Motor:	7.5 HP	MARCA: MELCO
Ventilador:	MRL 40 S	MISTRAL

Tabla 6: Características para recuperador de cartuchos. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.

6.1.5.4.3 Filtro cartucho

Modelo:	GW224
Longitud:	1000 mm
Diámetro interno:	325 mm
Diámetro externo:	215 mm
Malla interna:	Tiene
Malla externo:	No tiene
Área de filtrado:	14.5 m ²
Temperatura máxima de trabajo:	100°C
Finura de Filtrado:	5µm

Tabla 7: Características filtro cartucho. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.

Recomendaciones de uso


- Mantener ajustadas y cerradas las puertas del recuperador de cartuchos.
- No cambie los cartuchos cuando la cabina se encuentre encendida.
- Verificar que los filtros de cartuchos y malla-tamiz no se encuentren saturados y en condiciones de uso.

Plan de mantenimiento utilizado por la organización

Descripción	Frecuencia	Equipo
Revisar el estado del extractor (rotor y motor)	Cada 500 horas	Recuperador de cartuchos
Cambiar los cartuchos filtrantes	Cada 1000 horas	Recuperador de cartuchos
Revisar y limpiar la bomba de Venturi que se encuentran en los ciclones para eliminar los residuos de pintura que se hayan incrustado en este.	Cada 8 horas	Ciclón
Revisar la bomba de Venturi y en caso de marcado desgaste reemplazarla.	Cada 500 horas	Ciclón
Drenar el agua que se almacena en el descolmatador.	Semanalmente	Ciclón

Tabla 8: Plan de mantenimiento utilizado por la organización para la cabina de pintura. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.

Orden de trabajo utilizada en la organización

		REGISTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MÁQUINAS Y/O EQUIPOS					Código: F - PR - 51 Revisión: A 28/12/15	
EQUIPO:		CABINA FILTRO SECO (2 CICLONES Y 2 RECUPERADORES DE CARTUCHOS)			No EQUIPO:		GIMCFS001P	
SERIE:		CL1-1002-473-02			MODELO:		2014	
RESPONSABLE DEL EQUIPO:					UBICACIÓN:		PINTURA	
FRECUENCIA	ACTIVIDAD	FECHA /PERIODICIDAD						
		1	2	3	4	5	6	7
		05-jun-17 SE	06-dic-17 SE					
SE	REVISION GENERAL	/	✓					
SE	REVISAR EL ESTADO DEL EXTRACTOR (ROTOR Y MOTOR)(RECUPERADOR DE CARTUCHOS).	/	✓					
SE	REVISAR LA BOMBA DE VENTURÍ Y EN CASO DE MARCADO DESGASTE REEMPLAZARLA. (CICLÓN)	/	✓					
SE	CAMBIAR LOS CARTUCHOS FILTRANTES (RECUPERADOR DE CARTUCHOS)	—	✓					
HORA INICIO:		12:30 pm	2:00					
HORA FINAL:		3:30 pm	5:00					
FIRMA OPERARIO DE MANTENIMIENTO		<i>[Firma]</i>	<i>[Firma]</i>					
FIRMA OPERARIO RESPONSABLE DEL EQUIPO		<i>[Firma]</i>	<i>[Firma]</i>					
OBSERVACIONES:								

(GIM ingeniería eléctrica, Instructivo para el mantenimineto preventivo de la cabina de pintura, ciclón y recuperador de cartuchos, 2014)

6.1.5.5 Equipo de pintura electrostática



Ilustración 4: Equipo de pintura electrostática.

Pistola Mach Jet 3	
Temperatura de uso	0° a 40°C
Tensión máxima de salida	80kV (+ 5kV;-9kV)
Corriente máxima de salida	110µa (+0-10µA)
Presión de alimentación	7 bares +/- 1bar
Caudal máximo de polvo	24 kg/h
Módulo de mando CRN 457	
Tensión de alimentación	90 a 270 Vca
Frecuencia	50-60 Hz
Potencia máxima	60VA
Tensión máxima de salida	40V eficaces (rms)
Corriente máxima de salida	400mA eficaces (rms)
Caudal máximo del aire (inyección y dilución)	6 m ³ /h
Caudal máximo del aire (salida neumática (anexo))	12 m ³ /h

Tabla 9: Características equipo de pintura electrostática. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.

Plan de mantenimiento usado por la organización

Actividad	Frecuencia	Responsable
Desconectar la alimentación de la red del "CRN 457", desmontar y limpiar la boquilla y el electrodo con aire comprimido.	Diariamente	Operario de pintura
Limpiar los conductos de paso de polvo soplando con aire comprimido por el extremo de polvo bajo la culata sin desmontarla.	Diariamente	Operario de pintura
Limpiar el deflector de chorro redondo dejándolo remojar varias horas en metilo isobutilo de cetona (MIBK). Nota: El solvente MIBK es tóxico e inflamable.	Semanalmente	Operario de pintura
Limpiar los ganchos utilizando Novastrip.	Semanalmente	Operario de pintura

Tabla 10: Plan de mantenimiento utilizado por la organización para el equipo de pintura electrostática. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.

Orden de trabajo utilizada en la organización

FRECUENCIA		ACTIVIDAD	FECHA / PERIODICIDAD								
			1	2	3	4	5	6	7		
			05-ene-17	05-may-17	06-sep-17						
			C	C	C						
C		SOPLAR MANGUERAS DE AIRE	✓	✓	✓						
C		LIMPIEZA GENERAL DE LA PISTOLA	✓	✓	✓						
C		LIMPIEZA GENERAL DEL EQUIPO	✓	✓	✓						
C		REVISIÓN DEL CABLE DE PUESTA A TIERRA	✓	✓	✓						
C		REVISIÓN DE CONEXIONES ELÉCTRICAS	✓	✓	✓						
HORA INICIO:			1:45 pm	7:20 am	3:00						
HORA FINAL:			2:10 pm	7:40 pm	5:00						
FIRMA OPERARIO DE MANTENIMIENTO			<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>						
FIRMA OPERARIO RESPONSABLE DEL EQUIPO			<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>						
OBSERVACIONES:											

(GIM ingeniería eléctrica, Instructivo para el mantenimiento preventivo del equipo de pintura electrostática, 2014)

6.1.5.6 Horno



Ilustración 5: Horno.

Modelo:	HPB 1206 Especial	
Serie:		
Dimensiones (Largo, ancho, alto):	2.040 x 2.500 x 3.100	
Potencia total instalada:	7 KW	
Voltaje:	220 V	
Motor:	3 HP X 2	Marca: WEG
Quemador:	400.000 BTU	Marca: BALTUR BTG 11
Ventilador:	B30	Marca: MISTRAL
Consumo de gas máximo:	11 m ³	

Tabla 11: Características horno. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.

Recomendaciones

- Antes de empezar con la limpieza, se debe bajar el breaker principal para desenergizar el equipo.
- Se debe usar brocha pequeña con cerdas suaves, aspiradora o pistola de aire comprimido a baja presión (≤ 20 psi), evitando que en la limpieza se enreden los cables con el dispositivo de limpieza o se llegue a desconectar algún cable.
- Mantener el espacio libre de polvo, pues, este perjudica su funcionamiento.
- Para la lubricación del equipo se recomienda utilizar grasas de alta temperatura

6.1.5.6.1 Quemador

			BTG 3,6	BTG 3,6	BTG 11
Potencia térmica	MIN	kW	16,3	30,6	48,8
	MAX	kW	41,9	56,3	99,0
Tensión			1N - 50 / 60 Hz - 230V		
Motor	KW / rpm		0,11 / 2800		
Transformador de encendido			15kW - 25 mA		
<i>Metano</i>					
Caudal	MIN	m ³ n/h	1,6	3,1	4,9
	MAX	m ³ n/h	4,2	5,7	10
Presión	MIN	mbar	12		
<i>G.P.L</i>					
Caudal	MIN	m ³ n/h	0,64	1,2	1,9
	MAX	m ³ n/h	1,63	2,2	3,87
Presión	MIN	mbar	30		

Tabla 12: Características quemador. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.

Recomendaciones

- Antes de realizar cualquier limpieza o mantenimiento se debe desconectar el aparato de la red de alimentación eléctrica.
- En caso de eventuales daños en los equipos se deben utilizar equipos originales.
- Cuando el quemador del horno sea obsoleto, se debe asegurar:

- Desconectar la alimentación eléctrica quitando el cable de alimentación del interruptor general.
- Cerrar la alimentación del combustible por medio de la válvula de corte y quitar los mandos de su alojamiento.
- Hacer que sean inocuas las partes que podrían ser potenciales fuentes de peligro.


Plan de mantenimiento utilizado por la organización

Descripción	Frecuencia
Limpiar el rotor y la voluta con el fin de no producir desbalanceo en los	Cada 10 días
Realizar limpieza general al equipo tanto externa como internamente	Semanalmente
Revisar el estado de las correas y la tensión de las mismas	Semanalmente
Lubricar las chumaceras con grasa de alta temperatura.	Cada 250 horas

Tabla 13: Plan de mantenimiento utilizado por la organización para el horno. Fuente GIM Ingeniería Eléctrica Ltda.

Orden de trabajo utilizado por la organización

89



REGISTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MÁQUINAS Y/O EQUIPOS		Código: F - PR - 51 Revisión: A 28/12/15
EQUIPO:	HORNO POLIMERIZADO	No EQUIPO: GIMHOR001P
SERIE:	HPB -1002-473-01	MODELO: 2014
RESPONSABLE DEL EQUIPO:		UBICACIÓN: PINTURA

FRECUENCIA	ACTIVIDAD	FECHA / PERIODICIDAD						
		1	2	3	4	5	6	7
		04-ago-17 M/B	07-sep-17 M	06- oct -17 M/B	07-nov-17 M	07-dic-17 M/B		
M	REALIZAR LIMPIEZA AL QUEMADOR. (QUEMADOR)	✓	✓	✓	✓	✓		
M	LIJAR ELECTRODOS	✓			✓	✓		
M	AJUSTAR CONEXIONES ELÉCTRICAS	✓	✓	✓	✓	✓		
M	REVISAR ELECTRO VALVULAS	✓	✓	✓	✓	✓		
M	VERIFICAR LA PRESIÓN DEL GAS (COLOCAR MÍNIMO 33 mbar)	✓			✓	✓	✓	
B	LUBRICAR LAS CHUMACERAS CON GRASA DE ALTA TEMPERATURA (HORNO)	✓	✓	✓		✓	✓	
A	REVISIÓN POR PARTE DEL PROVEEDOR							
HORA INICIO:		1:45pm	2:00	4:00	8:30	10:20		
HORA FINAL:		2:55pm	3:00	5:00	9:45	11:53		
FIRMA OPERARIO DE MANTENIMIENTO		[Signature]	[Signature]	[Signature]	[Signature]	[Signature]		
FIRMA OPERARIO RESPONSABLE DEL EQUIPO		[Signature]	[Signature]	[Signature]	[Signature]	[Signature]		
OBSERVACIONES:								

6.2 Análisis de la información

6.2.1 Taxonomía

Para realizar el análisis taxonómico se toma como unidad la línea de pintura el cual parte desde el nivel 4, y se desglosa hasta el nivel 8 el cual son los componentes del subsistema, con el fin de identificar, y facilitar el análisis de cada uno de las partes, para realizar tareas en búsqueda de incrementar la disponibilidad de la línea.

NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	NIVEL 7
Unidad	Sistema	Equipo	Subsistema
LÍNEA DE PINTURA	Tanque	Estructural	Tanque
		Eléctrico	Polipasto
			Tablero de control
		Hidráulico	Tubería
	Bomba		
	Cabina	Estructural	Cabina
		Filtrado	Ciclones
			Bomba
	Equipo de pintura electrostática	Aspersión	Boquillas
		Eléctrico	Bomba
			Tablero control
	Horno	Estructural	Cabina
		Eléctrico	Tablero control
			Quemador
Térmico		Extractores	

Tabla 14: Taxonomía de la línea de pintura. Fuente Autores

6.2.2 Análisis de disponibilidad

Debido a políticas organizacionales las tareas de mantenimiento dentro de la organización son netamente preventivas para ello se cuenta con un programa para cada uno de los elementos que conforman la línea de pintura además de órdenes de trabajo donde se relaciona el trabajo realizado y el tiempo utilizado en ellas.

Aunque estas tareas presentan diferencias entre las tareas propuestas en los instructivos y las programadas en las ordenes de trabajo, y como agravante en el año 2018 no se ha registrado ninguna actividad, se procede a analizar los horas gastadas en trabajos de mantenimiento para los activos entre los años 2015 y 2017.

El horario de trabajo en GIM ingeniería eléctrica es de 7am a 5 pm y sábados de 8:30 am a 12:30pm. Con descanso de 15 minutos a las 10:00 am y 75 minutos de almuerzo. De esta manera se puede calcular las horas de operación programadas, mediante los registros históricos, el tiempo gastado en mantenimientos correctivos y preventivos, y así calcular la disponibilidad de los activos usando la siguiente ecuación.

$$Disponibilidad = \frac{Ht - Hmc - Hmp}{Ht}$$

Donde:

- *Ht*: horas de operación programadas
- *Hmc*: horas de mantenimiento correctivo
- *Hmp*: horas de mantenimiento programado.

Tanque de plaforización.

Año	Ht	Hmc	Hmp	% DISPONIBILIDAD
2015	1913	0	6,1	99,68112912
2016	1937	0	12,1	99,37532266
2017	1921	2,5	10,2	99,338886

Tabla 15: Disponibilidad tanque de plaforización. Fuente Autores.

Cabina de pintura.

Año	Ht	Hmc	Hmp	% DISPONIBILIDAD
2015	1913	0	31	98,37950863
2016	1937	0	14,8	99,23593185
2017	1921	0	6	99,68766268

Tabla 16: Disponibilidad cabina de pintura. Fuente Autores.

Equipo de pintura electrostática.

Año	Ht	Hmc	Hmp	% DISPONIBILIDAD
2015	1913	0	3,25	99,83010978
2016	1937	0	4,8	99,75219411
2017	1921	0	3,16	99,83550234

Tabla 17: Disponibilidad equipo de pintura electrostática 1. Fuente Autores.

Año	Ht	Hmc	Hmp	% DISPONIBILIDAD
2015	1913	0	4,25	99,77783586
2016	1937	0	5,52	99,71502323
2017	1921	0	2,75	99,85684539

Tabla 18: Disponibilidad equipo de pintura electrostática 2. Fuente Autores.

Horno

Año	Ht	Hmc	Hmp	% DISPONIBILIDAD
2015	1913	3	28,9	98,3324621
2016	1937	3,6	20,6	98,75064533
2017	1921	0	12	99,37376366

Tabla 19: Disponibilidad horno. Fuente Autores.

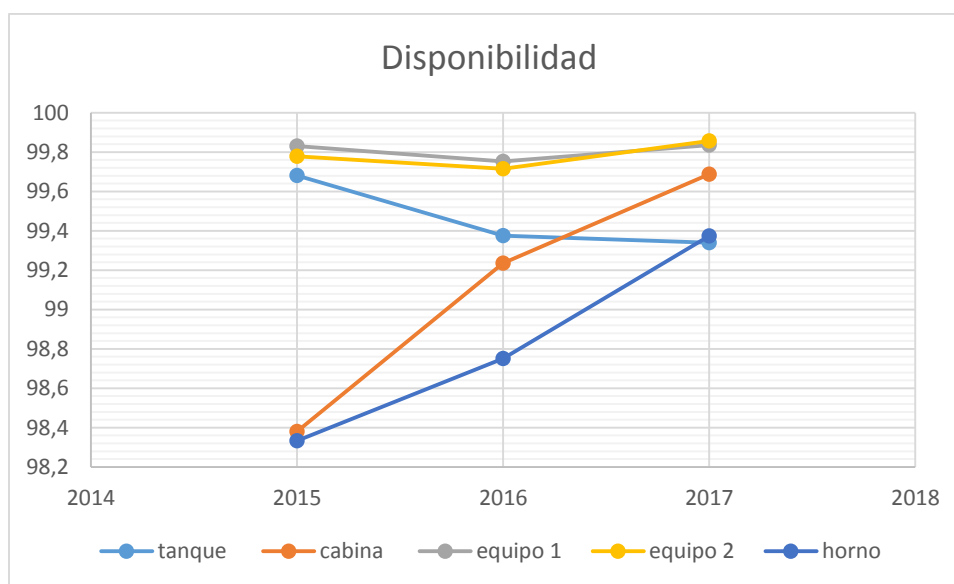


Ilustración 6: Gráfico de disponibilidad de la línea.

Según la gráfica se evidencia que la disponibilidad ha ido incrementando a lo largo del tiempo, esto se debe a que los activos son jóvenes y por planeación de la organización se realizaron muchas paradas por mantenimiento preventivo, esta curva ha ido mejorando debido a la optimización del plan y la reducción de intervenciones a los activos

6.2.3 Análisis de criticidad

Para efectuar el análisis de criticidad de la línea de pintura se usara un modelo cualitativo en el que se establece una serie de parámetros de seguridad, calidad, disponibilidad entre otros, dichos criterios serán adaptados para la organización y permitirán la clasificación en tipos A, B y C, en los que a los activos tipo A y B serán a los que se les debe tener especial cuidado y planear rutinas de mantenimiento preventivo.

Con el fin de priorizar los componentes que se analizaran, se tomara como un todo la línea de pintura y sus subsistemas serán tanque de plaforización, cabina, equipo de pintura electrostática y horno.

Los criterios se presentan a continuación.

		CLASE		
		O	X	+
S	Riesgo potencial de accidente debido a un equipo en falla	Riesgo alto de accidente	Riesgo bajo de accidente	Riesgo de accidente despreciable, reclamaciones o re trabajos
Q	Incumplimiento en los estándar	Devoluciones de producto	Reproceso en el producto	Potencial despreciable en reclamos
W	Tiempo del equipo disponible para trabajar	8 horas	3-5 horas	1 hora
D	Impacto causado en la línea de operación debido a una avería	El fallo del equipo provoca parada de producción	El fallo interrumpe el siguiente grupo operativo	se pueden realizar procesos alternos para dar avance a la producción
F	frecuencia de falla del equipo	semanal	mensual	anual
M	tiempo de repara	8 horas	3-5/horas	1 hora

Tabla 20: Criterios para árbol lógico de decisiones. Fuente Autores.

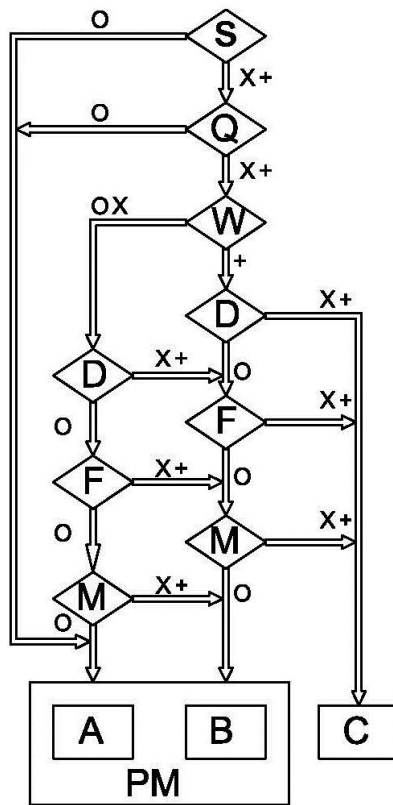


Ilustración 7: Árbol lógico de decisión.

	Tanque	Cabina	Equipo de pintura electrostática	Horno
S	X	+	+	X
Q	X	+	X	O
W	O	X	X	-
D	O	O	O	-
F	+	+	+	-
M	O	+	X	-
CATEGORIA	B	C	B	A

Tabla 21: Categorización componentes línea de pintura. Fuente Autores.

6.2.4 Análisis de modos y efectos de falla AMEF

Basados en la clasificación taxonómica realizada para la línea de pintura, se procede a realizar un análisis de modos y efectos de falla (AMEF) de los diferentes equipos.

Inicialmente se procede a realizar el cálculo general del número de prioridad de riesgo (NPR) para cada uno de los componentes de los sistemas en estudio, para determinar a cuál de ellos se debe tener un mayor análisis y priorización en la asignación de tareas, el NPR se obtiene con la siguiente fórmula.

$$NPR = Severidad \times Probabilidad \text{ de Ocurrencia} \times Detección$$

Los valores para cada una de estas variables están dadas por la norma SAE JA 1012 presentada a continuación:

S	S: severidad o impacto (EFECTO)
1	Mínima. No lo nota el usuario
2-3	Escasa. Se nota ligera molestia por el cliente
4-5	Baja. Se nota la falla, enojo del cliente
6-7	Moderada. Insatisfacción del cliente
8-9	Muy elevada. Impacto en la seguridad
O	O: probabilidad de ocurrencia (CAUSA)
1	Muy escasa ocurrencia, Fallos inexistentes
2-3	Escasa ocurrencia, muy pocos fallos
4-5	Ocurrencia moderada, fallos ocasionalmente
6-7	Ocurrencia frecuente, Fallos frecuentemente
8-9	Ocurrencia elevada, Muy frecuentemente
10	Ocurrencia muy elevada, Fallo frecuente
D	D: detección (CONTROL)
1	Muy escaso, defecto obvio
2-3	Escaso, defecto detectado con facilidad
4-5	Moderado, Inspección detallada fácil detección
6-7	Frecuente, Defectos de difícil detección
8-9	Elevada, Detección casi improbable con métodos de inspección
10	Muy elevada, Defecto con dificultad elevada de detección

Tabla 22: Ponderación AMEF según SAE JA 1012. Fuente Norma SAE JA 1012

Sistema	Subsistema	S	O	D	NPR
Tanque	Tanque	6	4	5	120
	Polipasto	3	3	3	27
	Tablero de control	3	5	4	60
	Tubería	6	2	6	72
	Bomba	5	6	5	150
Cabina	Cabina	3	1	1	3
	Ciclones	3	5	6	90
	Bomba	3	6	5	90
Equipo de pintura electrostática	Boquillas	5	5	2	50
	Bomba	5	6	5	150
	Tablero control	3	5	4	60
Horno	Cabina	8	2	2	32
	Tablero control	3	5	4	60
	Quemador	8	4	3	96
	Extractores	5	4	3	60

Tabla 23: Ponderación NPR para los sistemas de la línea de pintura. Fuente Autores.

Una vez hecho este procedimiento se elabora un listado de las funciones mediante la hoja de información en donde se darán respuesta a las 4 primeras preguntas del RCM II

- ¿Cuáles son las funciones y estándares de rendimiento asociados al activo en su actual contexto operativo?
- ¿De qué maneras puede fallar?
- ¿Cuál es la causa para que deje de cumplir su función?
- ¿Qué sucede cuando ocurre una falla?

Una vez analizados los modos y efectos de falla de los equipos (Anexo 1), además de priorizar mediante la descripción taxonómica. Y demás información recopilada, es posible presentar un plan de mantenimiento optimizado a la organización.

6.3 Propuesta de solución

6.3.1 Tarjeta maestra de maquinaria

Con el fin de tener una presentación de los activos de la línea de pintura de GIM, se propone la creación de una tarjeta en la cual se muestre las principales funciones, componentes y características de despeño de la máquina, Esta tarjeta deberá ser lo más clara y resumida posible.

Logo de la organización	Tarjeta maestra de Maquinaria	código de documento interno
Nombre del equipo	_____	
Código interno	_____	
fotografía del activo		
Características y funciones de la maquina		
Datos generales		
Marca:	_____	
Referencia :	_____	
Modelo:	_____	
serial:	_____	
Proveedor	_____	
fecha de adquisición:	_____	
observaciones:	_____	

Ilustración 8: Tarjeta maestra de maquinaria propuesta.

En el Anexo 2 se encuentra la tarjeta maestra de cada una de las máquinas que conforma la línea de pintura, esta información fue recopilada de conversaciones con el técnico de mantenimiento, operador y catálogos.

El realizar el proceso de levantamiento las tarjetas no incurre en gastos organizacionales ya que se cuenta la información dentro de la empresa y no es necesaria la contratación de un agente externo.

6.3.2 Plan de mantenimiento propuesto

Como respuesta a la necesidad de optimización del plan de mantenimiento, realizando el análisis correspondiente de las actividades planteadas por el instructivo de mantenimiento de la empresa y el registro de mantenimiento de máquinas y equipos para cada componente, una vez identificadas las inconsistencias entre ellos, apoyados en los análisis de criticidad, AMEF y opinión de operario y técnico de mantenimiento, se proponen actividades deberán ser realizadas. Esto con el fin de reducir tiempos de mantenimiento mejorando la disponibilidad de los equipos en estudio.

6.3.2.1 Tanque

SUBSISTEMA	ACTIVIDAD	ENCARGADO	PERIODICIDAD
Tanque	Muestra de químico	Servicio externo	Trimestral
	Inspección visual	Operario	Diaria
	Limpieza de imán	Operario	Diaria
	Limpieza con pasta pulidora	Operario	Trimestral
Polipasto	Engrase de cadena	Técnico	Mensual
	Revisión nivel de aceite	Técnico	Trimestral
Tablero de control	Inspección visual	Operario	Diaria
	Soplado	Operario	Diaria
	Retorqueo de conexiones	Técnico	Semestral
Tubería	Inspección visual	Operario	Diaria
	Limpieza de extractores	Técnico	Anual
	Limpieza de filtros	Técnico	Semestral
	Reajuste de conexiones	Técnico	Semestral
Bomba	Reajuste de conexiones	Técnico	Semestral
	Revisión de cartuchos filtrantes	Técnico	Semestral
	Inspección empaques de bomba	Técnico	Trimestral

Tabla 24: Actividades propuestas Tanque. Fuente Autores.

6.3.2.2 Cabina

SUBSISTEMA	ACTIVIDAD	ENCARGADO	PERIODICIDAD
Cabina	Inspección visual	Operario	Diaria
	Limpieza cabina	Operario	Diaria
	Revisión succión	Operario	Diaria
Ciclones	Limpieza mangas	Técnico	Trimestral
	Vaciado de tanque	Operario	Semanal
	Inspección visual del extractor	Operario	Diaria
Bomba	Reajuste de conexiones	Técnico	Semestral
	Revisión de cartuchos filtrantes	Técnico	Trimestral
	Inspección empaques de bomba	Técnico	Trimestral

Tabla 25: Actividades propuestas cabina. Fuente Autores.

6.3.2.3 Equipo de pintura electrostática

SUBSISTEMA	ACTIVIDAD	ENCARGADO	PERIODICIDAD
Boquillas	Limpieza general pistola	Operario	Diaria
	Limpieza sistema de inyección	Técnico	Mensual
	Cambio de boquillas	Técnico	Según uso
Bomba	Reajuste de conexiones	Técnico	Semestral
	Inspección empaques de bomba	Técnico	Trimestral
	Soplar mangueras	Operario	Diaria
Tablero de control	Revisar conexión puesta a tierra	Operario	Diaria
	Inspección visual	Operario	Diaria
	Soplado	Operario	Diaria
	Retorqueo de conexiones	Técnico	Semestral

Tabla 26: Actividades propuestas para equipo de pintura electrostática. Fuente Autores.

6.3.2.4 Horno

SUBSISTEMA	ACTIVIDAD	ENCARGADO	PERIODICIDAD
Cabina	Lubricación chumaceras	Técnico	Mensual
	Inspección visual	Operario	Diaria
	Limpieza	Operario	Diaria
	Lubricar puertas	Operario	Semanal
Tablero de control	Inspección visual	Operario	Diaria
	Soplado	Operario	Diaria
	Retorqueo de conexiones	Técnico	Semestral
Quemador	Limpieza de quemador	Técnico	Bimensual
	Lijar electrodos	Técnico	Bimensual
Extractor	Limpieza	Operario	Diaria
	Inspección visual	Operario	Diaria
	Soplado	Operario	Diaria

Tabla 27: Actividades propuestas para el horno. Fuente Autores.

7 Resultados esperados

Una vez planteadas las nuevas actividades que optimizarán el plan de mantenimiento actual para la línea de pintura, en conjunto con el técnico y el operario de cada sistema se estimaron tiempos de realización de las tareas, esto con el fin de hacer una evaluación del impacto que tendrá en la disponibilidad de la línea para posteriormente contrastarlo con el valor histórico más alto presentado entre los años 2015 y 2017, para cada activo estudiado.

	Año	Ht	Hmc	Hmp	% DISPONIBILIDAD
tanque	2015	1913	0	6,1	99,68112912
cabina	2017	1921	0	6	99,68766268
equipo	2015	1913	0	3,25	99,83010978
horno	2017	1921	0	12,03	99,37376366

Tabla 28: Histórico máximas disponibilidades de activos. Fuente Autores.

	Ht	Hmc	Hmp	% DISPONIBILIDAD
tanque	1937	0	10	99,48373774
cabina	1937	0	22	98,86422303
equipo	1937	0	5	99,74186887
horno	1937	0	37,5	98,06401652

Tabla 29: Disponibilidad esperada de los activos con las rutinas propuestas. Fuente Autores.

Al comparar los resultados del histórico de disponibilidad de los equipos y la disponibilidad utilizando las rutinas propuestas se observa una disminución, esto se debe a falta de precisión en la recolección de la información, esto puede ser consecuencia de que los registros históricos están mal diligenciados o incompletos.

Por lo tanto la disponibilidad del sistema no es criterio de evaluación para la efectividad del nuevo plan; Sin embargo la aplicación de este se verá reflejada en el aumento de la vida útil del equipo estimada en un año, en el cual según el promedio de los años de uso de la línea se pintarán 1467 envoltentes.

Así mismo el control y diligenciamiento de los formatos se verá beneficiado, para brindar información confiable acerca del estado de los sistemas. Ya que se implementan rutinas de inspección y limpieza antes de iniciar labores operacionales.

8 Análisis de financiero

Para realizar el análisis económico de la propuesta y determinar la viabilidad de esta, se hace necesario conocer los costos de implementación, capacitación e investigación entre otros, para posteriormente contrastarlos con los beneficios que traerán para la organización las nuevas actividades de mantenimiento propuestas en el presente documento.

8.1 Costos de investigación

Para el desarrollo de la presente investigación si bien se utilizaron recursos propios con fines académicos, se debe considerar el tiempo utilizado para el desarrollo de la presente propuesta, además de los recursos brindados por la compañía, los cuales se ven reflejado en el tiempo dispuesto por el técnico de mantenimiento, operarios de línea, y auxiliares de archivo para facilitar la información requerida.

DESCRIPCIÓN	CONCEPTO
Investigadores	\$ 5.000.000
Personal GIM	\$ 500.000
Total	\$ 5.500.000

Tabla 30: Costo investigación Fuente Autores.

8.2 Costos de implementación

Para determinar el costo de la implementación del plan optimizado de manteniendo para la línea de pintura se deben tener en cuenta factores como, mano de obra del personal, el tiempo estimado que se usará en las actividades propuestas, además de las capacitaciones necesarias a los operarios para que realicen las nuevas tareas asignadas de manera correcta.

El tiempo de análisis de mano de obra será de un año y se tendrá como valor de referencias los sueldos correspondientes al año en curso, para efectos de cálculo se aplicara un factor prestacional del 53%, el tiempo de operación de la línea será de 1937 horas debido a que en los históricos este ha sido el tiempo de mayor operación anual.

	salario mensual	factor prestacional	valor hora
operario	\$ 1.100.000	\$ 583.000	\$ 10.426
técnico de mtto	\$ 1.300.000	\$ 689.000	\$ 12.322

Tabla 31: Valor hora mano de obra. Fuente Autores.

Una vez hallado el valor del costo por hora del operario y del técnico, se hace necesario analizar los conocimientos que deben ser transferidos entre áreas y el valor de estos, aunque la mayoría de capacitaciones serán dadas por el técnico de mantenimiento hacia los operarios, esto acarrea la utilización de tiempo de trabajo lo cual tiene un costo. Además que para el mantenimiento del horno se necesita la capacitación por parte del fabricante el cual cobrará un valor de 350.000 pesos.

capacitación	Responsable	Asistente	Tiempo en horas	Valor
Tanque	técnico mtto	operario	2	\$ 45.497
Cabina	técnico mtto	operario	2	\$ 45.497
Equipo	técnico mtto	operario	1	\$ 22.749
Horno	proveedor	técnico-operario	3	\$ 418.246
			total	\$ 531.989

Tabla 32: Costos capacitación. Fuente Autores.

Otro factor de vital importancia para determinar el costo total de implementación del plan es el tiempo utilizado para las labores de mantenimiento por parte del operario y técnico, dicho tiempo se presentara de forma anual.

	horas totales	hora técnico	hora operario	valor técnico	valor operario	total
tanque	10	6	4	\$ 73.932	\$ 41.704	\$ 115.636
cabina	22	7	15	\$ 86.254	\$ 156.390	\$ 242.644
equipo	5	2	3	\$ 24.644	\$ 31.278	\$ 55.922
horno	37,5	22,5	15	\$ 277.245	\$ 156.390	\$ 433.635
					total	\$ 847.837

Tabla 33: Costo mano de obra anual del plan de mantenimiento propuesto. Fuente autores

Después de realizar el cálculo de todos los factores que causan impacto en la implementación y desarrollo del plan optimizado se procede a ponderar estos resultados y de esta forma presentar el calor total.

Costo	Valor
investigación	\$5.500.000
capacitación	\$531.989
mano de obra	\$847.837
total	\$6.879.826

Tabla 34: Costo total propuesta de optimización: Fuente Autores

8.3 Retorno de la inversión ROI

El retorno de la inversión es un indicador altamente usado para evaluar si el proyecto o inversión realmente si va a ser beneficiosos para la organización y de esta manera poder tomar decisiones acerca de la viabilidad, para conocer el ROI se debe aplicar la siguiente formula:

$$ROI = \frac{Ganancias - inversion}{inverison}$$

Anteriormente se presentaron los costos que acarrea la implementación de las nuevas actividades de mantenimiento además de los resultados esperados en cuanto al aumento estimado de un año de vida para la línea de pintura, para en este caso esa será el benéfico que tendrá la organización, para dar un valor monetario la organización brindo él información en la cual se presenta la diferencia del costo de pintura interno y el costo de pintura con un proveedor externo, con un aproximado de 100.000 pesos de sobre costo, si este proceso es realizado por un tercero.

Dado este valor, con la proyección de vida útil en el que se pintarán 1467 envoltentes en la organización se tendrá un ahorro de 146'700.000. Sin embargo este es un valor proyectado a 13 años debido a que la línea de pintura tiene una proyección de vida útil de 15 años de los cuales lleva funcionando 4 años, por lo tanto para realizar la evaluación del ROI es necesario conocer el Valor Presente de estas ganancias, aplicando la siguiente formula:

$$Valor\ presente = \frac{valor\ futuro}{(1 + i)^n}$$

Donde:

- Valor futuro= 146'700.000.
- i= interés será el promedio de inflación en los últimos 5 años 4.34
- n= 13 años

Una vez aplicada la formula se obtiene el valor presente del ahorro que la organización tendrá al aplicar el nuevo plan de mantenimiento siendo esta de \$84.408.332,76.

Ya identificados los valores de ahorro e inversión se aplica la ecuación:

$$ROI = \frac{84'408.332.76 - 6.879.826}{6.879.826}$$

$$ROI = 11.268$$

La inversión al capacitar el personal e implementar las nuevas actividades de mantenimiento generarán un beneficio para la organización de 11.2 a 1.

9 Conclusiones y recomendaciones

9.1 Conclusiones

- El estado actual de las actividades de mantenimiento para los equipos de la línea de pintura presentan una serie de diferencias entre las actividades planteadas en el manual de mantenimiento y las hojas de trabajo, se evidencia mal diligenciamiento y documentación en los formatos existentes, lo que trae como consecuencia información errónea de la disponibilidad de la línea y del estado real de la maquinaria.
- Realizar un análisis de modos y efectos de fallas para los equipos que conforman la línea de pintura, permite conocer al detalle la funcionalidad de los componentes, de esta manera establecer las fallas funcionales, modos de falla y como se evidencian estas lo cual brinda la columna vertebral para la optimización y proposición de las actividades para mantener los activos.
- Se establece una propuesta de mejora para el plan de mantenimiento, donde se sugiere la creación de tarjetas maestras para cada una de las máquinas que componen la línea de pintura, además de actividades conjuntas entre los operarios y el técnico de mantenimiento, con el fin de optimizar el tiempo, aumentar las inspecciones y la detección temprana de fallas.

Se espera que la implementación del plan que tiene un costo de 6.879.826 de pesos, extienda la vida útil de los activos en un año en el que se ahorrará un monto cuyo valor presente es 84'408.332.76 a razón de ahorro en servicio externo de pintura.

Al realizar el análisis económico correspondiente se evidencia un retorno de inversión de 11.2 a 1 lo cual brinda beneficios no solo económicos a la organización, sino que también impacta la competitividad, los tiempos de entrega y la calidad de sus productos.

9.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar una revisión a las actividades propuestas en el manual de mantenimiento sean las mismas estipuladas en las órdenes de trabajo, en toda la maquinaria de la empresa para evitar inconsistencias en la información.
- Debido a que el programa de mantenimiento de la organización es basado en horas, se deben implementar medidas de control en la funcionalidad de los equipos, ya que no cuentan con cronómetros que muestren cuanto tiempo de uso tiene cada elemento.
- La empresa genera altos niveles de retal en el área de corte los cuales se desechan al área de chatarra, se evidenció que muchos de estos son de tamaño considerable y apto para reutilización en piezas de menor tamaño, se recomienda hacer seguimiento de estos desechos con formatos e implementación de un indicador de reutilización.

10 Bibliografía

- Axioma b2b Marketing*. (12 de 09 de 2018). Obtenido de <http://www.metalmecanica.com/temas/Plaforizacion,-reduccion-de-pasos-en-el-pretratamiento-de-metales+109911>
- Bejarano Calvijo, L. E., & Fernandez Bueno, A. C. (2015). *Modelo de optimización para el plan de mantenimiento proactivo de los equipos para la producción de leche U.T.H de la cooperitava colanta s.a basado en rcm*. bogotá: universidad libre de colombia.
- Bravo H, F. E. (2016). *Eaboración de un plan centrado en confiabilidad*. Cararcas: Universidad Central de venezuela.
- Carrasco, F. J. (02 de 10 de 2018). <http://www.omniascience.com>. Obtenido de <http://www.omniascience.com/monographs/index.php/monograficos/article/viewFile/198/76>
- Correa Arredondo, J. A. (2009). *Oprimización centrada en mantenimiento*. Mexico: Escuela superior de Ingeniería mecánica y Eléctrica unidad ticoman.
- Delgado Saldaña , W. A., & Sánchez Alvarez, J. E. (2018). *Optimización del plan de mantenimiento a vehiculos renault Duster 4 x 4*. bogotá: Escuela colombiana de carreras industriales.
- DQ poeder coatings*. (12 de 09 de 2018). Obtenido de <http://www.dqpolvo.com/tipos-pintura-electrostatica-caracteristicas/>
- Garcia, G. S. (2006). *Ingenieria de Mantenimiento*. Madrid: Renovetec.
- GIM Ingenieria*. (09 de Septiembre de 2018). Obtenido de <https://www.gim.com.co/>
- GIM ingeniería eléctrica. (2014). *Instructivo para el mantenimiento preventivo del equipo de pintura electrostática*. Bogotá.
- GIM ingeniería eléctrica. (2014). *Instructivo para el mantenimiento preventivo del horno*. Bogotá.
- GIM ingeniería eléctrica. (2014). *Instructivo para el mantenimineto preventivo de la cabina de pintura, ciclón y recuperador de cartuchos*. Bogotá.
- GIM ingeniería eléctrica. (2014). *Instructivo para le mantenimiento preventivo del tanque de plaforización y polipasto*. bogotá.
- Gonzalez Fernandez, F. J. (2003). *Teoria y Practica del Mantenimiento Industrial Avanzado*. Madrid: FC Editorial.
- Gonzalez Garcia, R. H. (2016). *Mantenimiento Industrial*. Madrid: Alsina.

- Gutiérrez, W., & Zúñiga, J. (2011). *Investigación de estándares para las labores de mantenimiento*. Bogotá: Escuela colombiana de carreras industriales.
- Jara Rodriguez, C. M. (2015). *Manual de mantenimiento preventivo para la optimización de funcionamiento de equipos de línea blanca grande*. Mexico: Universidad Politecnica salesiana.
- Ladino Reina, J., & Lopez, C. C. (2018). *Propuesta de optimización plan de mantenimiento flota de buses*. Bogotá: Escuela colombiana de carreras industriales.
- León Forero, J. E., & Marengo Lindo, C. L. (2017). *Implementación de RCM II para el mejoramiento del plan de mantenimiento de la máquina H-5010*. bogotá: Escuela colombiana de carreras industriales.
- Monroy Higuera, J. D. (2017). *Propuesta de mejora del plan de Mantenimiento de los Motores AX901B y AX901D en la planta Apiay de Ecopetrol*. Bogotá: universidad santo Tomas.
- Mosquera Castellanos, L. G. (2009). *Apoyo Logistico para la Administracion del Mantenimiento Industrial*. Venezuela: Universidad Central.
- Pesántez Huerta, A. E. (2007). *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo en funcion de la criticidad de los equipos del proceso productivo de una empresa empacadora de camarón*. Guayaquil: Escuela superior politécnica de litoral.
- Ramirez , J. C., & Moreno, H. F. (2017). *Elaboracion de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-Treme del parque mundo aventura, tomando como referencia las normas, SAE JA1011 y SAE JA1012*. bogotá: Universidad distrital Francisco Jose de Caldas.
- Reliabilityweb.com/sp/. (18 de Septiembre de 2018). *Reliabilityweb.com*. Obtenido de Reliabilityweb.com: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>
- Rincon Grass, J. L., & Sanchez Cabezas, J. A. (2017). *Implementación de RCM para los activos críticos de materias primas de una fabrica de vidrio*. bogotá: Universidad distrital francisco José de Caldas.
- Rojas, N. D. (2011). *Apuntes de clase de mantenimiento*. Bogotá: ECCI.
- Sánchez, E., & Correa , D. (2018). *Consultoría de la gestión de mantenimiento para la empresa Gilpa impresores S.A*. Bogotá: Escuela colombiana de carreas industriales.
- Uscátegui Cristancho , P. J. (2014). *Propuesta de mejoramiento de gestión de mantenimiento para el departamento de confiabilidad y proyectos en la empresa Petro santander colombia (INC)*. Bucaramanga: universidad industrial de santander.
- Vera Muñoz, H. (18 de Septiembre de 2018). *tangara.uis.edu.co*. Obtenido de tangara.uis.edu.co: tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/138036.pdf

Villegas Arenas, J. C. (2016). *Propuesta de mejora en las gestión del área de mantemanimiento, para la optimización del desempeño de la empresa Manfer S.R.L contratista generales*. 2016: Universidad San Pablo.