

Propuesta para la implementación de estrategias de mantenimiento a equipos y
herramientas de los centros de servicio y servicios in-house de la empresa Automundial
S.A.

Germán Alberto González González

Sergio Arturo Fajardo Arévalo

Román Bayardo Rincón Bello

Universidad ECCI

Dirección de Posgrados

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá, 2018

Propuesta para la implementación de estrategias de mantenimiento a equipos y
herramientas de los centros de servicio y servicios in-house de la empresa Automundial
S.A.

Trabajo de investigación presentado como opción de grado para optar al título de
Especialistas en Gerencia de Mantenimiento

Germán Alberto González González

Sergio Arturo Fajardo Arévalo

Román Bayardo Rincón Bello

Asesor

Ing. Miguel Ángel Urián Tinoco

Esp. en gerencia de mantenimiento

Universidad ECCI

Dirección de posgrados

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá, 2018

Nota de aceptación

Ing.

Ing.

Ing.

Bogotá, abril 10 de 2021

Dedicatoria

Con gran admiración cariño y respeto, este trabajo de grado para optar al título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento lo hemos dedicado a nuestros padres, madres, esposas y familiares; quienes nos acompañan e impulsan día tras día a cumplir con nuestros objetivos y sueños, porque son ellos el motor, por quienes luchamos y salimos adelante.

Agradecimientos

En primer lugar, deseamos expresar nuestros agradecimientos al ingeniero y tutor de nuestro proyecto Miguel Ángel Urián, quien fue nuestro guía durante todo el proceso de elaboración del proyecto, agradecemos el tiempo que dedicó acompañándonos y corrigiendo este proyecto.

Del mismo modo agradecemos a nuestras familias en especial a nuestros padres y madres, quienes nos acompañaron en todo el proceso de nuestro Posgrado “Especialización”, por su solidaridad, paciencia y comprensión con este proyecto, se perdieron tiempos familiares pero el fruto de ese tiempo dedicado se plasma aquí en nuestro proyecto, por eso este trabajo también es de ellos, sin el apoyo de cada uno este proyecto nunca se había logrado.

A cada uno de nuestros compañeros de tesis, ya que sin el trabajo en equipo y compromiso de cada uno este proyecto no se culminaría, y pese a que cada uno con nuestras múltiples obligaciones laborales y familiares, nos encaminamos en un solo rumbo a la culminación del Proyecto.

Introducción

El presente documento emerge como una idea estratégica en el marco del desarrollo de conocimiento de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI. La propuesta de mantenimiento plantea a la Empresa Automundial S.A., optimizar los procesos y generar alternativas que conduzcan al mejoramiento del plan de mantenimiento actual, la prolongación de la vida útil de los equipos, herramientas y una reducción de los costos del mantenimiento.

La calidad de los procesos en el área industrial se beneficia con la intervención de profesionales en Gerencia de Mantenimiento, por ello es oportuno plantear para este trabajo de grado una metodología con técnicas de TPM y RCM a implementar en la Empresa Automundial S.A.

Se aborda el referente conceptual y metodológico para la construcción de la estrategia de mantenimiento, favoreciendo siempre a la compañía en términos de soluciones y optimización de los recursos financieros a invertir en los planes de mantenimiento, así como los resultados que permiten conocer las bondades del presente documento.

También, esta propuesta se hace bajo la premisa de que las estrategias de Gerencia de Mantenimiento se encuentran en constante innovación y evolución; lo que aquí se construye y diseña, puede ser considerado objeto de nuevas revisiones para el mejoramiento de los procesos de mantenimiento de la Empresa Automundial S.A.

Resumen

El objetivo de este proyecto es realizar una propuesta para la implementación de estrategias de mantenimiento dirigidas a los equipos y herramientas que se utilizan para prestar los servicios de mantenimiento preventivo y correctivo de llantas ubicadas e instaladas en los centros de servicios y carro talleres de la empresa Automundial S.A.

Para desarrollar este proyecto se requirió de la información actual de mantenimiento con la que cuenta la empresa (historial de mantenimiento), de igual forma con el listado de sedes y cantidad de equipos que permitan evaluar las estrategias de mantenimiento utilizadas, caracterización y criticidad de los equipos o activos, el plan de mantenimiento ejecutado a la fecha y de este modo proponer la mejor estrategia de mantenimiento para los equipos y activos.

Después de realizada la recopilación de la información y de realizar su diagnóstico actual se establece la mejor estrategia a utilizar por el área de mantenimiento teniendo en cuenta la cantidad de los equipos y la importancia que representa cada uno para la operación diaria, todo con el fin de que la estrategia a utilizar garantice la conservación de los equipos, extienda su vida útil y brinde la disponibilidad requerida para su operación.

Palabras claves: Mantenimiento, TPM, RCM, Análisis de criticidad, Estrategias de mantenimiento, Equipos y herramientas, Centros de Servicio.

Abstract

The objective of this project is to make a proposal for the implementation of maintenance strategies aimed at the equipment and tools used to provide preventive and corrective maintenance services for tires located and installed in the company's service centers and car workshops Automundial SA.

To develop this project, the current maintenance information that the company has (maintenance history) was required, in the same way with the list of locations and number of equipment that allow evaluating the maintenance strategies used, characterization and criticality of the equipment or assets, maintenance plan executed to date in this way to be able to propose the best maintenance strategy for the equipment or assets.

After compiling the information and carrying out its current diagnosis, the best strategy to be used by the maintenance area is established, taking into account the amount of equipment and the importance that each one represents for daily operation, all with the aim that the strategy to be used guarantees the conservation of the equipment, lengthens its useful life and provides the required availability for its operation.

Keywords: Maintenance, TPM, RCM, Criticality Analysis, Maintenance Strategies, Equipment and Tools, Service Centers.

Contenido

1	Título de la Investigación	14
2	Problema de investigación.....	14
2.1	Descripción del problema.	14
2.2	Planteamiento del problema.....	16
2.3	Sistematización del problema	16
3	Objetivos.....	16
3.1	Objetivo general.....	16
3.2	Objetivos específicos	17
4	Justificación y delimitación	17
4.1	Justificación	17
4.2	Delimitación.....	19
4.3	Limitaciones.....	19
5	Marco conceptual	20
5.1	Estado del arte.....	20
5.1.1	Estado del Arte Internacional	21
5.1.2	Estado del Arte Nacional	31
5.1.3	Estado del Arte Local	46
5.2	Marco teórico.....	52
5.2.1	Mantenimiento Correctivo.....	52
5.2.2	Mantenimiento Preventivo	53
5.2.3	Mantenimiento Predictivo	55
5.2.4	Indicadores de Gestión	57
5.3	Marco Normativo.....	60
5.4	Marco Histórico	60
6	Marco Metodológico	63
6.1	Recopilación de la Información.....	63
6.1.1	Tipo de Investigación	63
6.1.2	Fuentes de obtención de la información.....	65
6.1.3	Herramientas de la investigación.....	66

6.1.4	Metodología de la investigación.....	66
6.1.5	Información recopilada	67
6.2	Análisis de la información	70
6.2.1	Análisis de Criticidad	70
6.3	Propuesta de solución	71
6.3.1	Plan de Mantenimiento.....	72
6.3.2	Capacitación de personal	74
6.3.3	Contratación de Personal Calificado	76
6.3.4	Indicadores de gestión	78
7	Resultados esperados	78
8	Análisis de Costos	81
8.1	Costos del cronograma de capacitación en mantenimiento	81
8.2	Costos de contratación de personal.....	82
8.3	Viabilidad y retorno de la inversión	84
9	Conclusiones y recomendaciones.....	86
9.1	Conclusiones.....	86
9.2	Recomendaciones	86
10	Bibliografía.....	88

Índice de imágenes

Figura 1. Maquinaria para elaboración de bloque y proceso de secado.	30
Figura 2. Central de ciclo combinado.....	36
Figura 3. Válvula de bypass de baja presión.	36
Figura 4. Maquinaria CNC de la compañía.	46
Figura 5. Pasos del proceso de diseño, desarrollo y evaluación de indicadores.	59
Figura 6. Cobertura Automundial.....	62

Índice de tablas

Tabla 1. Disponibilidad actual de equipos en Manfer S.R.L.	22
Tabla 2. Cronograma de mantenimiento de amasadora.	31
Tabla 3. Normativa aplicada en la gestión del mantenimiento	60
Tabla 4. Tipos de investigación.....	64
Tabla 5. Sección de documento Anexo 1 hoja 1.	67
Tabla 6. Cuadro de criterios de criticidad.	71
Tabla 7. Cronograma de mantenimiento.	72
Tabla 8. Cronograma de capacitación	76
Tabla 9. Indicadores de gestión.....	78
Tabla 10. Costos de implementación	84
Tabla 11. Comparativo de costos de personal contratado	85

Índice de gráficos

Gráfico 1. Gráfico de criticidad.....	49
Gráfico 2. Costos de mantenimiento por servicio	68
Gráfico 3. Costos de mantenimiento evaluados	79
Gráfico 4. Costos de mantenimiento evaluados vs proyectados	80

1 Título de la Investigación

Propuesta para la implementación de estrategias de mantenimiento a equipos y herramientas de los Centros de Servicio CDS, Carro talleres y Servicios In-House de la empresa Automundial S.A.

2 Problema de investigación

2.1 Descripción del problema.

Partiendo de las políticas de la compañía del sector de fabricación y venta de llantas remanufacturadas para transporte terrestre, con cubrimiento a nivel nacional, las cuales muestran como parte fundamental el bienestar de sus clientes, Automundial S.A. es

“...una organización enfocada a superar positivamente las expectativas y necesidades de los clientes, ofreciéndoles soluciones integrales en llantas, accesorios y servicios, que les permitan tener ahorro, disponibilidad oportuna de sus vehículos y a contribuir a tener un medio ambiente cada vez más limpio y sustentable” (Automundial, 2018).

Automundial S.A., brinda servicio al cliente en sus Centros de Servicio CDS, Carro talleres y servicios In-House, estos últimos prestados dentro de las instalaciones de cualquier compañía cliente que requiera servicio relacionado con mantenimiento preventivo y

correctivo de llantas, contando con equipos, herramientas, vehículos y personal para ello. En la actualidad tiene su sede principal en la ciudad de Bogotá desde donde se direccionan, controlan e imparten los procedimientos para cada operación, contando con 7 Centros de servicios y más de 20 puntos de servicios In-House en todo el territorio colombiano.

La operación de Mantenimiento preventivo y correctivo de llantas requiere para su ejecución equipos y herramientas especializados para cada tipo de procedimiento, ya sea en los Centro de Servicio, Carro talleres o servicios In-House, los cuales requieren de una disponibilidad inmediata al momento de la ejecución del trabajo, garantizando los tiempos de entrega de los servicios y reduciendo los tiempos de paradas de las flotas. Según datos obtenidos del área de coordinación de máquinas y herramientas los mantenimientos correctivos son mayores a los mantenimientos preventivos, llegando a 606 herramientas paradas por falla en el año 2016, y 547 eventos de falla para el 2017.

La ejecución de los servicios se ha visto afectada puesto que, al momento de ser realizados, las herramientas han fallado en algunos casos y también han presentado mal funcionamiento, extendiendo los tiempos de prestación del servicio y en algunos contados casos no se ha realizado el servicio, causando malestar entre los clientes.

En el contexto actual de mantenimiento de los equipos y herramientas de Automundial S.A., estos no cuentan con documentación técnica, pero sí historial de los equipos con los cuales se realizará el estudio de criticidad. Recientemente no se cuenta con estrategias basadas en técnicas de mantenimiento que permitan una mayor disponibilidad y confiabilidad.

El problema actual radica en la disponibilidad de los equipos y herramientas, la cual se ve reducida, generando incidencias entre los diferentes procesos internos, afectando así los recursos operacionales y económicos de la compañía.

2.2 Planteamiento del problema

¿Qué estrategia de gestión de mantenimiento es la más adecuada para elevar la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas, equipos y herramientas de Automundial S.A.?

2.3 Sistematización del problema

- ¿Cuáles son las condiciones actuales y las actividades de mantenimiento aplicadas a los equipos y herramientas?
- ¿Qué metodologías y/o estrategias existentes de mantenimiento podrían aplicarse a los equipos críticos?
- ¿Qué estrategias de mantenimiento serán las adecuadas para cada equipo según su criticidad?

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Generar estrategias de mantenimiento para garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos y herramientas de Automundial S.A.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar las condiciones actuales y las actividades de mantenimiento que son aplicadas a los equipos y herramientas.
- Realizar el análisis de criticidad de los Equipos y herramientas.
- Desarrollar las estrategias de mantenimiento necesarias para cada equipo según su criticidad.

4 Justificación y delimitación

4.1 Justificación

El mantenimiento surge como una necesidad para reducir las paradas imprevistas de las máquinas y equipos que cada vez se hacían más complejos, lo cual causaba paradas en las líneas de producción elevando los costos por retrasos en la entrega de los productos y la mano de obra cesante. Estas paradas se debían a la sobre explotación de las máquinas, lo que las llevaba hasta su punto crítico seguido de una falla funcional que las dejaba fuera de funcionamiento, obligando al personal encargado a realizar reparaciones de manera rudimentaria para lograr restablecerlas, utilizando en muchos casos partes de máquinas desechadas.

En el contexto actual, aun se evidencian prácticas de este tipo en la industria agrícola, minera, petrolífera y en las pequeñas empresas, donde el costo de los equipos llevados a fallar a causa del abuso y su correspondiente remplazo, es menor que el de realizar paradas programadas para su mantenimiento, caso de las tres primeras; de manera similar ocurre en la pequeñas

empresas donde las reparaciones no técnicas son las realizadas comúnmente y el estudio y desarrollo de un plan de mantenimiento resulta costoso para sus administradores.

La industria colombiana a través del tiempo ha incorporado en sus procesos internos metodologías encaminadas a la conservación de los activos físicos, logrando con ello la implementación y desarrollo de estrategias de mantenimiento que permiten extender la vida útil de los activos, aumentando su disponibilidad y confiabilidad, aplicando métodos de mantenimiento ajustables para cada operación.

Frente al amplio tema de mantenimiento, Automundial S.A., como compañía dedicada a la fabricación de llantas reencauchadas ha optado por la ejecución de planes de mantenimiento tendientes a cumplir metas de reducción de costos, disponibilidad de equipos, entrega a tiempo para sus clientes y cumplimiento de normativas legales en cuanto a seguridad industrial y ambiental, sin embargo se hace necesario extender dichas prácticas de mantenimiento a los equipos y herramientas de los centros de servicio, los servicios de mantenimiento y reparación In-House y herramientas de los carro talleres, los cuales en la actualidad carecen de un plan de mantenimiento debidamente estructurado.

Los equipos utilizados como compresores, desmontadoras, pistolas neumáticas, gatos hidráulicos entre otros, utilizados para la operación de montaje y desmontaje de llantas a nivel nacional cuentan con historiales de mantenimiento, pero carecen de hojas de vida y procedimientos establecidos para cada tipo de equipo, por lo cual se pretende instaurar una metodología de trabajo basado en estrategias de mantenimiento que garanticen una mayor disponibilidad, confiabilidad y seguridad para la prestación de los servicios de Automundial S.A.

Para el cliente es de vital importancia que los procedimientos se realicen en corto tiempo, reduciendo al mínimo las paradas de sus vehículos, exigiendo calidad y garantía en el servicio. Estas exigencias se logran llevando a cabo un plan integral de mantenimiento junto a procesos administrativos y logísticos, no solo a la flota de vehículos que distribuyen el producto a los clientes sino también a los equipos y herramientas de los Centros de Servicio, carro talleres y servicios In-House.

4.2 Delimitación

El estudio del plan de mantenimiento se llevará a cabo a los equipos y herramientas de la empresa Automundial S. A., ubicada en la Cll 13 N° 47-67 de Bogotá, dentro de cada Centro de Servicio, Carro taller y servicios In-House a nivel nacional, con un tiempo previsto de cuatro meses, comprendidos entre agosto y diciembre del año 2018.

4.3 Limitaciones

Económicas: dificultad de traslado a las diferentes ciudades debido a los costos de desplazamiento para realizar las inspecciones tendientes a evaluar la condición de las herramientas y los equipos.

Presupuestales: presupuesto destinado por la compañía para el desarrollo del plan de mantenimiento, dependiendo del cual se podrán realizar todas las etapas de su implementación.

Documentales: los registros históricos de mantenimiento no cuentan con un campo que determine los tiempos muertos de los equipos luego de presentarse una falla.

5 Marco conceptual

5.1 Estado del arte

La gestión del mantenimiento es una labor que debe ser considerada como transversal a todas las áreas de las compañías, no solo por su importancia a nivel económico o de calidad de los productos finales y servicios, sino por la seguridad de las personas, aspecto que se ha desplazado poco a poco y que solo se menciona en los documentos analizados de manera muy esporádica. Tal vez porque el mantenimiento erróneamente solo se relaciona directamente con la producción y los costos que implica la falta de un correcto plan de mantenimiento.

Al realizar los planes de mantenimiento los técnicos e ingenieros y demás personal que colabora con dichas tareas y procedimientos, más aún si no son capacitados para ello, están expuestos a actividades de riesgo al adoptar posturas forzadas o accesar en ambientes extremos, exposición a radiaciones, sustancias peligrosas y agentes biológicos.

Un mantenimiento deficiente puede ocasionar problemas de seguridad: si se utilizan piezas incorrectas en los trabajos de sustitución o reparación, pudiendo incluso ocasionar accidentes graves y lesiones a los trabajadores, así como daños en el equipo (EU - OSHA, 2001).

Se debe realizar un análisis del riesgo de las actividades, tareas y procedimientos a realizar, el acceso a las zonas de trabajo y las vías de evacuación en caso de emergencia. Dicho análisis debe realizarse en la fase de planificación donde deben ser partícipes todos los implicados en las labores de mantenimiento. A continuación, se realizan algunos análisis de la necesidad de

la gestión del mantenimiento, donde se evidencian las dificultades acaecidas por la falta de un plan de mantenimiento o por deficiencias en este y el consecuente proceso para poner en marcha un proyecto de mantenimiento.

5.1.1 Estado del Arte Internacional

5.1.1.1 Manfer S.R.L. Contratistas Generales

En el año 2014, el Ingeniero Juan Carlos Villegas Arenas de la Universidad Católica de San Pablo, desarrolló el trabajo titulado “Mejora en la Gestión del Área de Mantenimiento, para la Optimización del Desempeño de la Empresa Manfer S.R.L. Contratistas Generales”. Se realiza una investigación del tipo descriptivo por parte del autor acerca de la situación de la En compañía en temas de gestión de mantenimiento y disponibilidad de la maquinaria.

Manfer S.R.L. Contratistas Generales se ha especializado en el campo de la edificación y obras de saneamiento. Como contratista ha realizado numerosas y variadas obras como hospitales, estadios, edificios, colegios, obras de agua y desagüe, residencias, carreteras, etc. (Villegas, 2014). Esta compañía cuenta con equipo propio, los más importantes destinados para excavación en obras de saneamiento, utilizados arduamente y en condiciones adversas.

Los altos costos de reparación de la maquinaria realizado mayormente por terceros, aunado a las paradas sorpresivas que implican mano de obra adicional y equipo rentado que causa un alto impacto económico al influir directamente en el avance de la obra, obligan a Manfer S.R.L. a implementar una estrategia de mantenimiento de activos, no solo con el objetivo de

reducir costos y cumplir con las obligaciones contractuales, sino también para eliminar los malestares de su equipo de trabajo, el cual se ve cesante cuando los daños en la maquinaria causan paradas de obra prolongadas.

El proyecto está delimitado en su alcance a una propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento que permita optimizar el desempeño operativo de las máquinas, además de los objetivos que apuntan al análisis de dicha gestión, la evaluación del mantenimiento actual para demostrar su mejora en calidad disponibilidad y reducción de costos con la nueva estrategia de gestión y el diseño de la propuesta de mantenimiento De acuerdo al modelo de disponibilidad mostrado en la tabla 1.

Tabla 1. Disponibilidad actual de equipos en Manfer S.R.L.

GRUPOS	Registro (Marzo 2015-Agosto 2015)				
	Unidades	T. Prog	T. Real	T. parad	Disponibilidad (%)
Equipos de Excavacion	12	12480	7760	4720	62.18%
Minicargadores	8	8190	6150	2040	75.09%
Rodillos Compactadores	8	200	110	90	55.00%
Compresores	4	1400	1009	391	72.07%
Concrete Mixer	1	160	135	25	84.38%
TOTAL	33	22430	15164	7266	67.61%

Fuente: Tesis (Villegas, 2014)

Se puede observar que la disponibilidad de los equipos en promedio se encuentra por debajo del 70%, llegando al nivel más bajo de disponibilidad con las máquinas de rodillo compactadoras, las cuales se muestran un 55%. Se observa también la cantidad importante de maquinaria para trabajo pesado de la compañía, carente de un plan de mantenimiento efectivo.

Los instrumentos para la recopilación de la información utilizados en la investigación se describen en el planteamiento metodológico del documento haciendo uso de:

Entrevistas: dirigidas al personal de producción en obra y personal de mantenimiento, todos con cargos variados, quienes diligencian la información por medio de cuestionarios.

Observación: se atienden las paradas no programadas y programadas, registrando fallas, tiempos de reparación y paradas de producción. Adicionalmente el autor menciona el deterioro de los equipos al no contar con un procedimiento de alerta temprana de fallas.

Encuesta: realizada a las diferentes áreas de la compañía para obtener un diagnóstico general desde el punto de vista local.

Por medio de auditorías de mantenimiento se realiza un estudio base para diagnosticar la situación actual del área de mantenimiento en la empresa, se registra la información por medio de cuestionarios cuantitativos que luego de ser analizados e interpretados podrían mostrar algún índice de confiabilidad. El análisis de la información se realiza por medio de herramientas ofimáticas, las cuales traducen los datos recaudados en cifras porcentuales, tablas, relaciones y análisis gráficos que se tendrán en cuenta como base para el diseño de la propuesta de mejora.

- Luego del análisis de la información se identificaron las siguientes deficiencias:
- Ausencia de procedimientos de mantenimiento preventivo
- Deficiencia en la cualificación del recurso humano
- Tercerización de mantenimientos correctivos

Las soluciones viables a las deficiencias mencionadas son:

- Contratación de un Planner de Mantenimiento y capacitaciones de personal
- Check list de operación de cada tipo de máquina, gestión de mantenimiento preventivo manejado a través de un cronograma de frecuencias de intervención correctas y registro de los procedimientos y tareas en el historial de mantenimiento de cada máquina
- Establecimiento de un equipo de gestión a cargo del planeador de mantenimiento con apoyo de las áreas logística y operativa
- Planificación del cronograma de mantenimiento e implementación de la propuesta

Se concluye como causales de la baja disponibilidad la falta de competencias del personal y de capacitación en operación de los equipos de manera adecuada, además de la ausencia de un plan de mantenimiento y mala gestión de los procedimientos correctivos evidenciados durante la investigación.

La propuesta de gestión de mantenimiento preventivo permitirá optimizar los procesos de producción proponiendo un aumento del índice de disponibilidad de la maquinaria por encima del 78% que, junto con los procesos de gestión de mantenimiento y gestión logística, mejorarán la efectividad de la compañía.

5.1.1.2 Antigo Arte Europeo S. A. De C. V.

En el año 2011, el Ingeniero Gustavo Cervantes González de la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, desarrolló el trabajo titulado “Realizar el Plan de Mantenimiento Preventivo de la Maquinaria del Departamento de Marcos y Molduras en la Empresa Antigo Arte Europeo S. A. de C. V.”, del estado de Hidalgo, México. Allí se muestra el estudio y posterior diseño de un plan de mantenimiento preventivo a aplicar a las máquinas del área de marcos y

molduras con el ánimo de mejorar las operaciones de producción evitando paradas inesperadas, incrementando la vida útil de los equipos, logrando condiciones óptimas de operación y fabricación de productos de manera eficaz y eficiente. Dicha entidad se dedica a la fabricación de muebles en madera con una línea de productos al estilo europeo antiguo.

La empresa Antiguo Arte Europeo S. A. de C. V. (AAE) cuenta con distintos departamentos, de los cuales, el departamento de Marcos y Molduras (M y M) es uno de los más importantes; en el que no se permiten demoras o defectos en la fabricación de molduras de madera para la realización de cuadros o tableros (Cervantes, 2011).

Para el desarrollo del documento el autor define la constitución del plan en cuatro partes:

Parte 1: diagnóstico y caracterización, donde se plantea y justifica la investigación dando alcance a los objetivos.

Parte 2: recopilación de información técnica y científica que permita dimensionar de manera general los aspectos las operaciones, normativa y documentación relevante para el análisis.

Parte 3: describe la metodología a seguir para el desarrollo del plan de mantenimiento, variables, indicadores e instrumentos aplicados en el ejercicio, con su correspondiente validación.

Parte 4: análisis costo beneficio, conclusiones y recomendaciones entre otros.

Para la fecha del estudio se identificaron problemas en las máquinas que afectaban el proceso de manufactura y conducían a defectos de calidad en el producto terminado. Siendo marcos y molduras un área recientemente estructurada, los mantenimientos aplicados a los equipos no cumplía con las tareas y procedimientos necesarios para reducir los costos de

mantenimiento, evidenciándose paradas frecuentes de máquinas conducidas a falla, productos de baja calidad y demoras en las reparaciones por falta de stock de repuestos.

Debido a la criticidad de los equipos del área de marcos y molduras en el proceso de producción, se desarrolló un estudio que determinaría los lineamientos para la realización de un plan de mantenimiento preventivo con el objetivo reducir las paradas inesperadas en las líneas de producción. Por medio del mantenimiento preventivo se prevé un adecuado funcionamiento de las maquinas e incremento del tiempo de servicio, reduciendo las paradas a causa de eventos no programados. El principal objetivo del mantenimiento preventivo es garantizar que los equipos involucrados en un proceso productivo se encuentren en condiciones óptimas para cumplir con el trabajo propuesto de manera eficaz y eficiente (Cervantes, 2011).

El mantenimiento preventivo se definió como una serie de tareas planeadas previamente, que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de fallas potenciales de las funciones para las que fue creado un activo. Puede planearse y programarse con base en el tiempo, el uso o las condiciones del equipo (Dixon, 2002) citado en (Cervantes, 2011).

Se indica que no existe un inventario de equipos utilizados, ni historiales que muestren el comportamiento, históricos de fallas, ni acciones de mantenimiento. Se dispone solo de algunos manuales de fabricante, lo que dificulta el proceso de mejora. En base a lo anterior y como primera medida el autor propone la construcción de un inventario de equipos existentes y sus características, con la intención de documentar los tipos de máquina y su criticidad dentro del proceso, para luego realizar el programa de mantenimiento.

La compañía dispone de equipos como pulverizadora de pintura, lijadora orbital, compresor recíproco 30HP, cepillo desbastador, grapadora electrónica, sierra de banda, guillotina 45° entre otros.

Actividades a realizar

Dentro de las actividades e inspecciones regulares que el autor propone implementar para el correcto funcionamiento de las máquinas, sistemas y componentes expuestos a desgaste continuo y daño frecuente se encuentra la lubricación manual debido a la falta de un sistema de lubricación automático; inspecciones de poleas, rodamientos y elementos de fijación como tornillos, pernos y remaches. Verificación de temperatura, tensión y corriente.

Para la documentación y programación de las actividades previas se diseñan los formatos de inspecciones y actividades a realizar para cada tipo de equipo, seguido de un cronograma de mantenimiento preventivo diario, semanal y/o mensual dependiendo del tipo de equipo. En las conclusiones del ejercicio se evidencia la importancia del mantenimiento para adelantarse a las fallas y de esta manera evitar sobrecostos por paradas no programadas, daños irreversibles en las máquinas e incumplimiento en las entregas. Aduce además los beneficios a mediano y largo plazo en temas de utilidad, producción y seguridad para el personal.

5.1.1.3 Manejo de Herramientas Electromecánicas - Revista Ferrepat

Los ciclos de trabajo de las herramientas electromecánicas determinan el uso máximo al que debe ser sometida de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Dependiendo de la exigencia a la que se va a destinar la herramienta de deberá seleccionar el tipo de uso:

Uso casero: uso de herramientas electromecánicas durante 15 minutos continuos seguido de 20 minutos de descanso. Máximo 3 ciclos de trabajo al día.

Uso profesional: uso de herramientas electromecánicas durante 30 minutos continuos seguido de 30 minutos de descanso. Máximo 6 ciclos de trabajo al día.

Uso industrial: uso de herramientas electromecánicas durante 45 minutos continuos seguido de 60 minutos de descanso. Máximo 12 ciclos de trabajo al día.

Según cálculos de los fabricantes, una herramienta electromecánica con uso intensivo debe tener un mantenimiento preventivo por cada doscientas horas de uso o, al menos, cada mes. La limpieza y el engrase de cada una de tus herramientas electromecánicas, te permite hacer reemplazos de componentes cuando estos sean necesarios y esto permitirá prolongar la vida de tu máquina. (Gamerros, 2015).

Dentro de las medidas de uso de las herramientas es necesario disponer de la información de fabricante para conocer los tiempos de ciclo de uso, adicionalmente durante el mantenimiento se recomienda mantener limpia el área de trabajo y utilizar los EPPs. Utilizar los componentes adecuados, evitando utilizar partes que no correspondan a las indicadas en los manuales. Verificar que la herramienta se encuentre debidamente apagada y que no represente riesgo para quien la manipula durante el mantenimiento. Por último, nunca operar una máquina que se encuentre con defectos de funcionamiento, o con mantenimientos provisionales realizados siempre que no sean aprobados por un jefe responsable de mantenimiento o por el fabricante.

5.1.1.4 Agremiación agrícola en Talca, Chile

En el año 2018, el Ingeniero Francisco Andrés Escudero Albornoz de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Concepción – Rey Balduino De Bélgica, desarrolló el trabajo titulado “Propuesta para Desarrollar un plan de Mantenimiento Preventivo para Maquinaria Agrícola” con el objetivo de lograr un óptimo rendimiento de las máquinas de una organización familiar en la provincia de Talca, Chile.

El autor realiza una investigación en campo para determinar las condiciones actuales de la maquinaria teniendo en cuenta tiempos de operación, tipos de mantenimiento realizado, historiales y criticidad, entre otros. Como resultado de la investigación se evidencia que no hay una cultura propia de mantenimiento y que por el contrario se llevan las máquinas a falla para luego reacondicionarlas con partes de equipos fuera de funcionamiento, incluso realizando adaptaciones rústicas para ponerlos en marcha. Lo anterior tiene como consecuencia elevados costos de mantenimiento al atender solamente mantenimientos correctivos que en muchos casos implica el alquiler de maquinaria y elevados costos de operación al tener recurrentes y prolongadas paradas de producción no programadas.

La empresa se caracteriza además por sus antiguos procedimientos, también por escasos de un sistema de control o una gestión del mantenimiento, el desarrollo del análisis ha chocado con el pobre o nula trazabilidad de los equipos o las maquinarias. La empresa prescinde de catálogos o algún tipo de documento que informe sobre la maquinaria ... (Escudero, 2018)

Como propuesta de solución el autor propone la creación de fichas técnicas y las hojas de vida para el registro de las intervenciones de mantenimiento de la maquinaria. Posteriormente

define un plan de mantenimiento preventivo para cada tipo de máquina clasificada como crítica, estableciendo actividades de acuerdo a los tiempos apropiados según el autor luego de haber aplicado análisis de causa raíz.

5.1.1.5 Latercer S.A.C.

En el año 2016, el Ingeniero Jorge Luis Gonzáles Guzmán de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, desarrolló el trabajo titulado “Propuesta de Mantenimiento Preventivo y Planificado para la Línea de Producción en la empresa ladrillera Latercer S.A.C”. El autor propone el desarrollo de un Programa de Mantenimiento que garantice la confiabilidad de los equipos de la compañía, con el fin de lograr la máxima eficiencia de las máquinas, la optimización de la producción con un adecuado mantenimiento preventivo y planificado que reduzca las paradas intempestivas y los retrasos en la producción.

La empresa cuenta con un departamento de mantenimiento a cargo de un técnico mecánico. Sin embargo, a los equipos solo se les aplica mantenimiento correctivo una vez fallan. De acuerdo a lo registrado en la encuesta utilizada para recopilación de la información, se determinó que en promedio dos veces por semana ocurría una falla que implicaba cese de producción, no se encuentra registro de mantenimientos ni hojas de vida de los equipos.

Figura 1. Maquinaria para elaboración de bloque y proceso de secado.



Secado de ladrillo



Molino de arcilla



Extrusora

Fuente: Tesis (Guzmán, 2016)

Propuesta de solución: Realizar una clasificación de los equipos de acuerdo a su impacto en la línea de producción. Implementar un plan de mantenimiento preventivo y planificado para la línea de producción: molino de tierra y amasadora, teniendo en cuenta que por su impacto estas máquinas clasifican como críticas en el proceso. Capacitar a los encargados en el mantenimiento de la empresa para mejorar sus labores en sus respectivas áreas.

Tabla 2. Cronograma de mantenimiento de amasadora.

Nº VERIFICACIÓN Y TAREAS FRECUENTES		MOLINO DE TIERRA															
		sem 1				sem 2				sem 3				sem 4			
1	Engrase de rodaje				S				S				S				S
2	Engrase de chumaceras																
3	Tensión de fajas	D															
4	Ajuste de poleas			S				S				S				S	
5	Lubricación de eje principal	S															
6	Cambio de rodamiento																
7	Cambio de martillos	M															M
8	Cambio de regías	M															
9	Ajuste de pernos	°S															
10	Nivel de aceite	M															
11	Cambio de rodaje reductor																3M
12	Limpeza de maquina	D															
OBSERVACIONES																	
		° = A inspeccionar								X = Con falla							
		D = Diaria								XV = Con falla corregida							
		S = Semanal															
		Q = Quincenal															
		M = Mensual															
		V = Conforme															

Fuente: Tesis (Guzmán, 2016)

5.1.2 Estado del Arte Nacional

5.1.2.1 Remaplast y Cia. LTDA.

En el año 2009, los Ingenieros Jorge Luis Valdés Atencio y Erick Armando San Martín de la Universidad de Cartagena, desarrollaron el trabajo titulado “Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo-Predictivo Aplicado a los Equipos de la Empresa Remaplast y CIA LTDA”, organización colombiana, de carácter privado, dedicada a la producción y comercialización de tubería y accesorios de PVC, donde se requería implementar un plan de mantenimiento preventivo-predictivo para la maquinaria, herramientas y equipos de procesado de plásticos.

A causa de ser relativamente nueva en el gremio de plásticos, algunas de sus actividades internas no cuentan con una adecuada organización y estructuración; dentro de las cuales se encuentra la del mantenimiento de los equipos. (Valdéz & San, 2009).

Aduce que no se contaba con una organización y planeación de las actividades de mantenimiento en los equipos, incrementando el tiempo muerto de la maquinaria, disminuyendo su disponibilidad y optimización afectando la producción. El problema surgido a causa de la falta de mantenimiento adecuado no había sido estudiado con la suficiente profundidad y las condiciones existentes al momento del estudio no habían sido determinadas. La compañía se dedicaba a realizar procedimientos del tipo correctivo...

Este tipo de mantenimiento es el que se ocupa de la reparación de los equipos y herramientas una vez se ha producido un fallo, produciendo paradas y daños imprevisibles en la producción que afectan la calidad del producto y la planificación de manera incontrolada, (Molina, 2015) citado en (Valdéz & San, 2009).

Por lo anterior los autores advierten la necesidad del diseño e implementación de un plan de mantenimiento ajustados a sus procesos, herramientas y equipos, para lograr de una manera más eficaz y eficiente en su demanda de producción mejor control en sus procesos.

Dentro de sus objetivos estaba evaluar el sistema de mantenimiento aplicado a los equipos de Remaplast. Analizar las actividades, procedimientos y mantenimiento en los equipos en términos de costos y eficiencia para establecer su criticidad y opciones de mejora. Diseñar los formatos para la documentación de mantenimiento y programar las actividades del tipo preventivo y predictivo, entre otros.

En el documento se evidencian temas de consulta concernientes al mantenimiento como generalidades, tipos de mantenimiento, correctivo no planificado, correctivo planificado, predictivo, preventivo y programación del mantenimiento en diferentes fuentes como (Chusin, 2008), (Molina, 2015) y (Doffuaa, 2000): la filosofía del mantenimiento precisa una cantidad mínima de personal capacitado en mantenimiento, fundamentada en la producción y disponibilidad de los equipos en una planta de producción logrando al máximo su optimización y seguridad.

Para alcanzar dicha filosofía se requiere hacer uso de estrategias eficaces de mantenimiento, estas estrategias cobijan desde los procedimientos correctivos y preventivos, hasta los más avanzados, los cuales hacen uso de tecnología y equipos de detección que permiten prevenir fallas futuras, como las tecnologías de diagnóstico:

Análisis de vibraciones: la vibración es el movimiento periódico de una masa desde el punto de reposo desplazándose en cualquier dirección o direcciones y regresando a su punto de reposo. La cantidad de veces que se repite el ciclo por unidad de tiempo es la frecuencia de

la vibración. La velocidad y la aceleración de dicho movimiento determinan la severidad de la vibración. El análisis de un equipo muestra que este vibra en diferentes frecuencias, las cuales se compararán con las características de vibración del equipo en un estado previo determinado como óptimo, esto determinará la fase de la vibración. Los tipos comunes de análisis de vibraciones son:

De banda amplia: monitorea en términos generales la máquina para revisar información básica y tendencias. Sin embargo, no es preciso para determinar áreas específicas con complicaciones. De banda octava: muestra un espectro de frecuencias organizado en rangos que se pueden comparar con características de vibraciones predeterminadas, permitiendo descubrir desviaciones en las frecuencias producidas por los equipos. De banda estrecha: a diferencia del análisis de banda amplia, este determina áreas con problemas y sus posibles causas. De los mencionados, el análisis de banda estrecha es el más útil como herramienta de diagnóstico.

Termografía: esta técnica mide la temperatura de las superficies percibiendo la radiación infrarroja generada por el calor de los cuerpos, interpretando los diferentes patrones de frecuencia y mostrándolos al usuario en una gama de colores visibles.

Ultrasonido: se emplea para detectar o anomalías y discontinuidades haciendo evidentes fallas ocultas como fisuras, huecos y corrosión en soldaduras, recubrimientos, tubos y estructuras.

Plan de mantenimiento

Para el diseño del plan de mantenimiento en La empresa Remaplast y Cia LTDA., los autores realizaron un estudio para determinar los problemas específicos, actividades críticas de

mantenimiento para ser incluidas dentro del plan preventivo-predictivo y los recursos necesarios durante los seis meses previstos para el desarrollo de las actividades. Derivado del estudio, de la recopilación de la información y de los datos faltantes los autores procedieron a realizar la codificación de los equipos.

Para el registro de los activos fue necesario diseñar un formato de hoja de vida y finalmente se creó el plan de mantenimiento preventivo-predictivo describiéndolo dentro de un cronograma de actividades por equipo y línea de producción. El cronograma se denomina Plan de actividades para mantenimiento preventivo-predictivo y en él se identifican los equipos por código y nombre, lo cual facilita el registro de la información pertinente y su ubicación dentro de las líneas de producción de cara a la organización del mantenimiento.

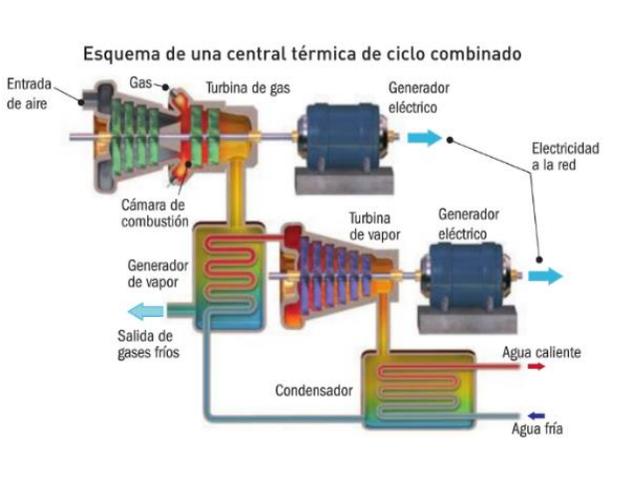
5.1.2.2 Zona Franca Celsia S.A E.S.P.

En el año 2014 los Ingenieros Eduardo Antonio Castillo Padilla y Jhon Jairo López López de la Universidad Autónoma del Caribe desarrollaron el trabajo titulado “Elaboración de un plan mantenimiento preventivo en las válvulas del sistema de bypass para la empresa Zona Franca Celsia S.A E.S.P” de la ciudad Barranquilla. En este documento se realiza una investigación exhaustiva de los tipos de válvulas de alta presión, media presión y baja presión utilizadas en la planta de la compañía, identificando sus partes, características de construcción y funcionamiento.

...en Barranquilla, se encuentra ubicada una de las centrales de la empresa CELSIA S.A E.S.P., la cual es una compañía de servicios públicos especializada en los negocios de generación y distribución de energía

eléctrica; Actualmente cuenta con una capacidad integrada de generación de 1777 MW (Castillo & López, 2014).

Una planta generadora de ciclo combinado funciona a base de gas y diésel, combustibles que mueven las turbinas de combustión interna, las cuales junto a las turbinas de vapor de agua calentada por la combustión generan la energía eléctrica.

<p>Figura 2. Central de ciclo combinado.</p>	<p>Figura 3. Válvula de bypass de baja presión.</p>
	
<p>Fuente: Blog de tecnología (Landín, 2012)</p>	<p>Fuente: Tesis (Castillo & López, 2014)</p>

El sistema de generación de ciclos combinados funciona inyectando aire a presión en una cámara de combustión, donde se mezcla con el combustible. La explosión expande los gases a alta presión y hace girar una turbina de gas, moviendo un generador acoplado a ella. A la vez, los gases expandidos salen de la turbina de gas y se dirigen hacia unos serpentines con agua instalados dentro de una caldera de recuperación de calor. El agua se calienta y hace girar la turbina de vapor haciendo girar un segundo generador. Por último, el vapor de agua se enfría para repetir el ciclo (Endesa, 2018).

La investigación refiere como objetivos el diagnóstico de las condiciones de las válvulas de bypass, la identificación de fallas y la incorporación de un plan de mantenimiento. Indaga respecto a los tipos de mantenimiento incluyendo el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Desarrollado como un informe solicitado por el departamento de defensa de los Estados Unidos a United Airlines en 1974 concerniente al proceso ejecutado por la aerolínea para optimizar el plan de mantenimiento a causa de los continuos accidentes de aviación.

El RCM se define como el proceso que determina las tareas de mantenimiento adecuadas para los activos físicos aplicado en todo tipo de industrias: grandes compañías petroquímicas, industria militar, minería, generación de electricidad, metalmecánica, entre otras. La Norma SAE JA 1011 detalla los requerimientos a los que deben estar sujetos los procesos de mantenimiento para ser catalogados como RCM (Castillo & López, 2014).

El documento de los autores se remite a las bases de datos MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service) y MARS (Major Accident Report System) donde se recopilan los diferentes tipos de sustancias presentes en accidentes documentados. La Base de datos MHIDAS es de importante utilidad para el análisis histórico de accidentes, en tanto que la base de datos MARS es una herramienta para el desarrollo de estudios de riesgo a partir del análisis histórico de accidentes. Su diseño contempla una descripción completa del accidente, de las circunstancias concurrentes, de la secuencia de desarrollo y de sus consecuencias (ISEI, 2018). La investigación se estructura en 3 fases a saber:

Fase 1. Diagnóstico

En esta fase se realiza la observación y descripción del estado de las válvulas y se recopila documentación concerniente a información técnica y especificaciones de fabricante de las válvulas del sistema de bypass instaladas, un listado de la cantidad y tipos de válvulas de alta, media y baja presión, así como válvulas de control de temperatura instaladas en la planta.

Fase 2. Identificación

Se analizan las fallas de las válvulas y sus posibles causas.

Fase 3. Propuesta

Se describe el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de válvulas de bypass atendiendo el plan de inspección externa: la frecuencia de inspección, el registro de datos en el formato 1, *Lista de Chequeo Rutina de Mantenimiento* y el etiquetado para la correcta identificación de las válvulas inspeccionadas.

El plan de inspección interna y remplazo se realiza de acuerdo a la recomendación del fabricante, haciendo chequeo de temperatura y limpieza de las partes de la válvula de acuerdo la rutina de mantenimiento definida como Inspección y Mantenimiento del Interior de la Válvula e inspección de boquillas de pulverización. Adicionalmente se diseña el formato rutina de mantenimiento.

Como conclusión el documento refiere que mediante las actividades recomendadas las válvulas y sus componentes se mantendrán en buen estado, logrando alcanzar el periodo de vida útil previsto por el fabricante.

5.1.2.3 L&L

En el año 2014, los Ingenieros Camilo Ernesto Buelvas Díaz y Kevin Jair Martínez Figueroa de la Universidad Autónoma del Caribe desarrollaron el trabajo titulado “Elaboración de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Maquinaria Pesada de la Empresa L&L”. En el documento se presenta una propuesta de mantenimiento preventivo para optimizar la disponibilidad de la maquinaria.

L&L es una compañía dedicada al alquiler de vehículos pesados como vibrocompactadoras, motoniveladoras, retrocargadores, minicargadores y tractocamiones.

Los autores reconocen como aspecto de vital importancia el mantenimiento preventivo para este tipo de maquinaria, lo cual permite detectar posibles fallas previas a su aparición, o bien evitar que se incremente el grado de dificultad al ejecutar las reparaciones, extender la vida útil de los vehículos disminuyendo los costos de reparación, detectar puntos y partes críticas a través de inspecciones a los diferentes sistemas: frenos, suspensión, sistema eléctrico, sistema de enfriamiento, motor, entre otros.

A falta de un plan de mantenimiento preventivo los autores proponen su elaboración y especificación de las ventajas sujetas a la implementación. Obedeciendo a lo anterior refieren que una correcta gestión del mantenimiento es una manera segura que permite garantizar el control de los costos, el estado operativo del activo y su nivel de degradación, la disponibilidad del activo durante su vida útil y el control del impacto general que producen los eventos de falla en las líneas de producción y servicios.

La experiencia ha demostrado, que debe asegurarse la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo, ajustado a las necesidades del activo, en razón de su vida utilizada, del estado operativo que tenga en el momento de inicio de la aplicación del plan de mantenimiento y de las condiciones operativas y del entorno (Buelvas & Martinez, 2018).

A la maquinaria se le ha estado realizando un mantenimiento programado poco eficiente, el cual en la práctica resulta siendo del tipo correctivo, con un 80% de mantenimientos dedicados a reparar fallas imprevistas que elevan de manera sustancial los costos operativos de los vehículos al quedar fuera de funcionamiento, siendo necesario pagos a terceros por servicio de grúa, incremento de horas extras en la nómina y altos inventarios de piezas de las máquinas.

El incremento en la disponibilidad de los vehículos acompañado del control de los costos derivados de la falta de planeación ayudará a obtener mayores utilidades y organización en las políticas de mejoramiento continuo encaminadas al apoyo de los procesos de certificación de calidad. Sus objetivos apuntan a la identificación de fortalezas y debilidades en la gestión actual de mantenimiento, documentación de la información basada en experiencias de las áreas de mantenimiento y operativa, evaluar indicadores de gestión creando un sistema de seguimiento que aseguren la efectividad del plan de mantenimiento elaborado.

La metodología se desarrolla en tres etapas o fases:

Fase 1: Manejo de la información de mantenimiento de la compañía y auditoría a los operarios respecto al uso y aplicación de los manuales de fabricante.

Fase 2: Evaluación de calidad al stock de repuestos e insumos utilizados en los mantenimientos y construcción de formatos que incluyan información técnica relevante producto de la experiencia del personal.

Fase 3: Emplear el plan de mantenimiento elaborado y realizar el correspondiente análisis de resultados de costos y disponibilidad de los vehículos haciendo las recomendaciones del caso.

Los temas sensibles y de mayor impacto en la compañía son la adquisición de repuestos con tiempos de entrega superiores a las tres semanas, las pérdidas de aceite hidráulico y los mantenimientos no planeados, los cuales han incrementado los costos hasta en un 65% por encima del presupuesto asignado en años anteriores. Por lo anterior, y como parte del plan de mantenimiento se hace necesario dimensionar un stock de repuestos que permita agilizar las labores de mantenimiento, garantizar la disponibilidad de repuestos y la operación de los vehículos. Dentro del análisis de resultados los autores proyectan alrededor de 14 días adicionales de trabajo disponible de la maquinaria teniendo en cuenta la disposición de repuestos críticos y no críticos dentro del stock.

La propuesta concluye que las fallas críticas son ocasionadas por roturas de mangueras por deterioro, a lo cual se aplicó la medida preventiva de remplazo total enfatizando en la calidad de dichos repuestos, mejorando los tipos de acoples y previniendo las pérdidas de aceite hidráulico. Adicionalmente se ajustaron los periodos intervención de mantenimiento logrando un tema de costos sustancialmente favorable para la compañía.

Con el fin de asegurar la operatividad del plan se diseñaron fichas técnicas para las diferentes máquinas, las cuales incluyen características y especificaciones de interés para el

mantenimiento. Asimismo, se construyeron listas de chequeo, ordenes de servicio, formatos de mantenimiento programado y de repuestos. La implementación del plan arroja resultados positivos en un periodo de tres meses soportándose en los datos analizados en este tiempo.

5.1.2.4 Dinacol S.A.

En el año 2011 el ingeniero Marco Antonio Cárdenas Maza de la Universidad Tecnológica de Bolívar desarrolló el trabajo titulado “Diseño de un Plan de Mantenimiento Basado en RCM, para los Equipos y Vehículos de Dinacol S.A”.

En el documento refiere la baja disponibilidad y el desempeño de los equipos, lo cual obliga a satisfacer la necesidad de un plan de mantenimiento que reduzca las fallas y las pérdidas económicas derivadas por incumplimiento y paradas en la producción. El autor propone el diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM que permita optimizar la operatividad y eficiencia, haciendo uso de la herramienta de análisis de riesgos AMEF para los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos de los equipos. Actualmente cuenta con un plan de mantenimiento, pero este no establece las rutinas necesarias para garantizar la confiabilidad esperada.

DINACOL S.A. es una empresa ubicada en la zona industrial de Mamonal en la ciudad de Cartagena y tiene como política integral, ofrecer servicios de ingeniería especializada en construcciones, montajes, reparaciones, certificaciones y control de calidad en el sector industrial y marítimo, con

profesionales y técnicos competentes e infraestructura tecnológica avanzada. (Cárdenas, 2018).

El autor refiere como objetivos identificar las fallas mecánicas, eléctricas y electrónicas. Realizar un análisis de riesgo para las fallas críticas de los equipos y promover las medidas necesarias para minimizar las probabilidades de falla. Establecer las tareas de mantenimiento óptimas para los equipos.

El mantenimiento se define como el conjunto de disposiciones técnicas, herramientas de documentación, análisis y procedimientos que garanticen que las máquinas, equipos y líneas de producción desarrollen el trabajo en su contexto operacional logrando un plan de producción en constante evolución. AMEF es actualmente la técnica más utilizada para el análisis de riesgos, se analizan rutinariamente situaciones y se toman medidas para minimizar los riesgos posibles de la empresa. AMEF es un método efectivo para diseñar y producir análisis de riesgo.

Esta técnica se utiliza para identificar los riesgos potenciales de los equipos, máquinas y sistemas, jerarquizando además los activos físicos para aplicar las técnicas de mantenimiento más adecuadas. Se creó con el propósito de evaluar la confiabilidad de los equipos, en la medida en que determina los efectos de las fallas de los mismos, como reconoce y evalúa fallas potenciales y sus efectos, identifica acciones que reduzcan o eliminen las probabilidades de falla y documenta los hallazgos del análisis.

5.1.2.5 Legrand – Colombia

En el año 2008 los ingenieros Bercely Padilla y Diego Escobar de la Universidad Central desarrollaron el trabajo de grado titulado “Implementación de un Programa de Mantenimiento Programado para los Moldes y Troqueles de la Empresa Legrand Colombia”.

En el proyecto se aborda un problema de disponibilidad y costos elevados de mantenimiento y ofrece la correspondiente solución mediante el uso de herramientas modernas de mantenimiento como el Mantenimiento Productivo Total (TPM), el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y el Análisis de Causa Raíz (ACR), ejecutando tareas y procedimientos basados en mantenimiento preventivo programado.

La empresa Legrand es una compañía de origen francés, especialista en la fabricación y distribución de productos para el sector eléctrico residencial e industrial. Gracias al éxito comercial la empresa decidió cambiar su nombre por “Luminex”, ya que así era conocida la línea clásica y más popular de sus productos. En 1996, la compañía fue adquirida por el grupo multinacional francés Legrand, líder en dispositivos de manejo eléctrico, cuenta con certificación de calidad ISO 9001 e ISO 14000. (Padilla & Escobar, 2008).

Los objetivos fijados en el documento indican un diagnóstico por medio de análisis DOFA, determinar las herramientas a intervenir de acuerdo a su uso, analizar la información de los mantenimientos, costos y tiempo realizados a las herramientas en los últimos meses, definir los tipos de actividades, recursos e infraestructura para el desarrollo del mantenimiento programado y diseñar un stock de repuestos, entre otros.

En la justificación del proyecto se indica que el cumplimiento en las entregas se ha visto atrasados por la falta de disponibilidad de los equipos, los cuales son llevados a falla con sus consecuentes paradas no programadas, afectando la eficiencia de las máquinas y causando demoras en las ordenes de producción.

El mantenimiento preventivo programado consiste en la programación periódica de tareas de inspección, funcionalidad, calibración, ajustes, entre otros, atendiendo al cumplimiento de la planeación establecida. El propósito de este tipo de mantenimiento es anteponerse a las fallas detectándolas en su fase inicial, logrando niveles de operación y eficiencia óptimos. Seguidamente en el documento se listan una serie de ventajas apuntadas a la confiabilidad de los equipos con tiempos medios entre fallas más prolongados, operando en condiciones de seguridad. Se logra también mayor disponibilidad, con la disminución de tiempos muertos y paradas de máquinas no previstas.

El diagnóstico de la matriz DOFA concluye la necesidad de un plan de mantenimiento programado con tareas de lubricación, chequeos e inspecciones a las herramientas con mayor tiempo de uso y realizar campañas de capacitación. La maquinaria y equipo con que cuenta la compañía son equipos automatizados CNC, centros de mecanizado, fresadora, torno, rectificadoras, equipos de soldadura, entre otros.

Para la implementación del programa de mantenimiento se clasificaron las herramientas de acuerdo a su criticidad y se establecieron procedimientos de chequeo y cronogramas de mantenimiento programado. Las actividades de mantenimiento son: chequeos de fugas de líquidos, limpieza, lubricación y remplazo de piezas, así como el diligenciamiento de la información de las tareas y procedimientos realizados en los formatos correspondientes.

Figura 4. Maquinaria CNC de la compañía.



Fuente: Tesis (Padilla & Escobar, 2008)

Como conclusión se documenta la aplicación del plan de mantenimiento mínimo por 5 años y una inversión en el mejoramiento de las herramientas deterioradas. Se muestra una tasa de retorno de la inversión del 24%. Se implementará el mantenimiento preventivo a herramientas de más de dos horas de uso diario y un mantenimiento de mejora para las herramientas que presenten una mantenibilidad baja.

5.1.3 Estado del Arte Local

5.1.3.1 Compactadores de basura de cargue lateral

En el año 2019 los ingenieros Francisco Ospina López y Víctor Alfonso Basto Bernal de la Universidad ECCI realizaron el trabajo de grado titulado “Consultoría en Gestión de Mantenimiento para Compactadores de Basura mediante Sistemas de Cargue Lateral marca

HS FAHRZEUGBAU”, en donde se realiza una propuesta dirigida al análisis del plan de mantenimiento del mecanismo de carga lateral de los vehículos recolectores de la compañía evidenciando fortalezas y debilidades en el proceso.

Dentro de la investigación se evalúan las actividades del plan de mantenimiento, jerarquización de activos críticos y gestión de la documentación en el contexto operacional de las máquinas.

Algunos de los equipos HS FAHRZEUGBAU instalados en los vehículos recolectores han sido objeto de averías frecuentes que implican rotura de piezas debido a que los planes de mantenimiento actuales no incluyen los mecanismos de cargue lateral (Ospina & Basto, 2019).

Causa de lo anterior es que no se dispone de información suficiente en contextos de mantenimiento para este tipo de maquinaria en específico y la que se obtiene en el mercado es muy limitada y no se cuenta con especificaciones técnicas ni recomendaciones de fabricante. Además, la obtención de repuestos precisa tiempos de importación prolongados lo que obliga al área técnica y profesional de mantenimiento a gestionar su planeación y metodología de acuerdo a su conocimiento, capacidad de análisis y repuestos disponibles.

La información obtenida mediante formularios de preguntas, entrevistas realizadas a los involucrados en el área de mantenimiento y tablas de criticidad entre otros se analiza en gráficas escalar de acuerdo a puntuaciones establecidas y la aplicación de la matriz DOFA, lo que permite evidenciar aspectos fuertes y débiles en el plan de mantenimiento.

Como propuesta de solución inicialmente se aplica la norma ISO14224 para estructuración de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. Adicionalmente, como estrategia de

mantenimiento se pretende aplicar técnicas basadas en la función de los equipos tipo RCM y capacitación de personal. Con el RCM se crearán tareas de mantenimiento para controlar las fallas de las máquinas para minimizar las consecuencias y gestionar de mejor manera un stock de repuestos. Finalmente se proponen un organigrama de capacitación de personal que defina roles de inspección e intervención y métodos correctivos.

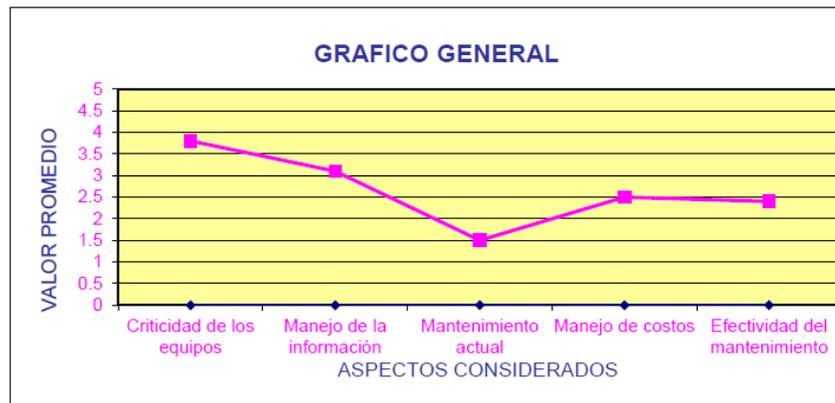
5.1.3.2 Coca-Cola FEMSA

En el año 2016 los ingenieros Aldemar Franklin Ochoa Rodríguez y Jhon Alexander Garavito Angarita de la Universidad ECCI, presentan su tesis de grado “Propuesta de aplicación de consultoría para la medición de la gestión de mantenimiento caso: empresa Coca-Cola Femsa” para la especialización en gerencia de mantenimiento.

En esta monografía los ingenieros realizan una consultoría al área de mantenimiento que asiste la flota vehicular de la empresa Coca Cola Femsa, partiendo de una problemática generada a raíz del cambio de metodología de mantenimiento al pasar de un modelo de mantenimiento tercerizado a implementar un modelo de gestión de mantenimiento propio.

Mediante instrumentos de recopilación de la información como encuestas, listas de chequeo y entrevistas se evidenció que el departamento de mantenimiento se había conformado recientemente y, además la flota vehicular no tuvo ningún tipo de mantenimiento por un periodo de dos meses por recortes de presupuesto (Ochoa & Garavito, 2016).

Gráfico 1. Gráfico de criticidad.



Fuente: Tesis (Ochoa & Garavito, 2016)

Según el análisis de la información recopilada mediante el proceso de consultoría, los autores realizan un gráfico general de criticidad donde se evalúan diferentes aspectos del mantenimiento, e indican desatención de los procedimientos y falta de comunicación entre áreas. A consecuencia de esto se ha generado un incremento en el índice de fallas en la flota.

Como propuesta de solución los autores proponen la aplicación de algunos pilares del mantenimiento TPM:

- Desarrollo de mantenimiento autónomo: optimización de procesos, reducción de costos y estandarización de procesos.
- Capacitación de personal: concientización del recurso humano respecto al uso adecuado de los vehículos. También capacitación en prevención y cuidado de vehículos.
- Mantenimiento planeado aplicado a vehículos con índice alto de criticidad y elevados costos de reparación.

- Higiene y seguridad industrial: implementación de tareas de organización de áreas y limpieza
- Prácticas de calidad en el trabajo aplicando las 5 “S”: clasificación y disposición de residuos y piezas desechadas producto del mantenimiento de la flota. Organización y buenas prácticas en el área de trabajo.

5.1.3.3 Equipos del cuerpo de ingenieros del Ejército Nacional

En el año 2015, los ingenieros Francisco Humberto Nova Villanueva y Andrés Arcángel López Romero, de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales de Bogotá, desarrollaron el trabajo titulado “Propuesta de optimización, para el plan de mantenimiento preventivo de los equipos del cuerpo de ingenieros del Ejército Nacional”. Dirigieron su investigación hacia la propuesta de un plan de mantenimiento autónomo adecuado, debido a fallas y contratiempos en el área de producción de la empresa pese a que se cuenta con un plan de mantenimiento establecido y se indica que no se realiza un control riguroso del cumplimiento de las tareas (Nova & López, 2015).

Dentro de los instrumentos utilizados para recolección de la información se encuentran hojas de vida de equipos, bases de datos de sistemas de información y matriz DOFA aplicada al plan de mantenimiento entre otros.

La propuesta de solución se centra en optimizar el plan de mantenimiento preventivo y mejorar la gestión de mantenimiento con el área financiera; promover la capacitación de personal y la formación técnica en sus diferentes niveles de mantenimiento. Apoyar la gestión de mantenimiento con el módulo SAP PM en sus diferentes procesos.

5.1.3.4 Pelikan Colombia

En el año 2018, los ingenieros César Augusto Albarracín Lara y Christian David Castro Melo, de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales de Bogotá, desarrollaron el trabajo titulado “Propuesta para la implementación de mantenimiento autónomo en la planta de producción de Pelikan Colombia”. Basaron su investigación en un mantenimiento autónomo adecuado, debido a fallas y contratiempos en el área de producción de la empresa, con el fin de brindar alta calidad en los productos.

Lo anterior fue propuesto mediante un estudio de la planta abarcando tanto detalles generales como particulares, por medio de una filosofía japonesa denominada Total Productive Maintenance (TPM), cuyo objetivo es disminuir y/o eliminar las pérdidas en las áreas de procesos industriales (Albarracín & Castro, 2018).

Aplicando el método de las 5's (por sus nombres en japonés) compuesto por los pasos para clasificar, organizar, limpiar estandarizar y mantener la disciplina, se demuestra que es posible una mejora en el mantenimiento autónomo de la empresa mediante un proceso en el cual los empleados, además de un registro y documentación por parte de Pelikan de los procesos solicitados e implementados, reciben orientación y capacitación adecuada para el desarrollo de esta labor.

5.1.3.5 Implementación del RCM II

En el año 2017, los ingenieros José Efraín León Forero y Carlos Leonardo Marengo Lindo, de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales de Bogotá, desarrollaron el trabajo titulado

“Implementación del RCM II para el mejoramiento del plan de mantenimiento de la máquina H-5010”, en él se basaron en la necesidad de corregir y optimizar la máquina H-5010 de una empresa de alimentos debido a sus recurrentes fallos afectando así la producción y conflictuando la gestión de la planta. Por lo anterior, se sometió a estudio el funcionamiento de esta y el plan de mantenimiento de la máquina con el fin de rediseñar y disminuir las fallas en el proceso de mantenimiento, generando un plan nuevo con actividades específicas que involucran al personal operativo y técnico, logrando un aumento en la confiabilidad en la máquina, la vida útil y la reducción de costos de producción. Al finalizar el estudio y el planteamiento de la solución, se determina que lo más adecuado para el éxito del mantenimiento es que se cumpla con el programa establecido, además de llevar un registro de los hechos, también es de destacar que las actividades concretas se deben realizar en el menor tiempo posible para no retornar a los conflictos iniciales (León & Marengo, 2017).

5.2 Marco teórico

5.2.1 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo fue el inicio de la concepción del mantenimiento como se le conoce hoy en día, inició con la revolución industrial donde las fallas eran corregidas a medida que surgían durante los procesos de producción y eran los operarios quienes se encargaban de solucionarlas. Fue solo hasta la primera guerra mundial cuando se dió un cambio en el concepto de mantenimiento. Las máquinas de la época ocupaban espacios muy

grandes y tenían tamaños sobre dimensionados donde era muy sencillo realizar reparaciones y no se contemplaba como una prioridad de los gerentes.

Por su naturaleza este tipo de mantenimiento eleva los costos ya que, no presupuesta el gasto en repuestos, mano de obra ni tiempo de parada de las máquinas, lo que la convierte en una opción desfavorable. Aunque para las pequeñas empresas donde su producción no se ve afectada por una parada debido a que su volumen de producción es bajo, la concepción es que resulta más costoso mantener un plan de mantenimiento. Sin embargo, los inconvenientes en general son mayores con respecto al aparente ahorro que supone no invertir en un plan de mantenimiento.

5.2.2 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo fue la continuación del mantenimiento correctivo, este tipo de mantenimiento se centra en la prevención de cualquier fallo por medio de acciones como ajustes, lubricación, limpieza, calibración y demás tareas que eviten la parada imprevista de las máquinas y equipos. Realiza el mantenimiento antes de que los equipos reporten fallas de manera sistemática, atacando puntos críticos en los sistemas antes de que estos fallen y conduzcan a paradas en la producción.

Se inició en la segunda guerra mundial ya que por las necesidades de la guerra se hizo necesario manejar un estándar en producción de maquinaria como tanque y aviones, haciéndose necesario verificar el proceso por el cual las líneas de producción se mantenían funcionando correctamente para suplir la demanda. Pero fue hasta 1950 cuando unos

ingenieros japoneses iniciaron un mantenimiento basado en las recomendaciones del fabricante para mantener funcionando de manera óptima las máquinas y su cuidado, basados en esta tendencia las compañías crearon áreas con personal especializado en las distintas tareas que requiere el mantenimiento (mecánicos, eléctricos, supervisores). Fue una manera efectiva de mantener en óptimas condiciones todas las maquinas en las compañías, pero implicando costos realmente altos, ya que algunas piezas se cambiaban basándose en su ciclo de operación aun cuando tenían una mayor vida útil.

De acuerdo con (San Juan, 2015), publicado en el portal (Cero Grados Celsius, 2015) algunos pasos para realizar rutinas del mantenimiento preventivo son:

- Inspeccionar las condiciones ambientales como la humedad, el polvo, la seguridad de la instalación y la temperatura.
- Limpieza interna y externa de los equipos y revisión física general de los componentes mecánicos, eléctricos y demás sistemas del equipo.
- Lubricación y engrase de partes móviles que lo requieran.
- Reemplaza las partes intercambiables. Paso esencial del mantenimiento preventivo.
- Ajuste y calibración mecánica, eléctrica y electrónica.
- Revisión del estado eléctrico del equipo, chequeo de las conexiones de alimentación y seguridad eléctrica para su operación.
- Realizar pruebas funcionales completas. Que evidencien el estado general del equipo.

5.2.3 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo es una unión de técnicas que buscan detectar una falla específica en un componente o máquina, se desea tener la máxima disponibilidad del equipo con el mínimo de gasto. Este tipo de mantenimiento surge desde los años 80 y actualmente se mantiene como una actividad de mantenimiento con creciente aplicación, con la cual las compañías hacen frente en los países donde los costos de mano de obra son bajos.

El mantenimiento predictivo se puede dividir en 3 partes: Mantenimiento programado: como ejemplo, el que se realiza a los automóviles con base a su kilometraje. Mantenimiento predictivo: como el seguimiento estipulado por el fabricante basado en algún ciclo dependiendo de su uso. Mantenimiento de oportunidad: por ejemplo, el que se realiza cuando la máquina no se encuentra operativa.

Las principales técnicas de mantenimiento predictivo y la aplicación del mismo en maquinaria industrial son:

- *Análisis de vibraciones para supervisión de máquinas rotativas con miras a la construcción de un plan de mantenimiento predictivo.*
- *Ultrasonidos aplicados a maquinaria bajo cronogramas predictivos.*
- *Análisis de lubricantes que determinen su deterioro, contaminación y desgaste.*
- *Análisis de Máquinas Alternativas por medio de señales dinámicas de presión, ultrasonidos y vibraciones.*
- *Descargas parciales como técnica aplicada a grandes motores en funcionamiento para evaluar el estado del estator con la máquina en servicio.*

- *Termografía como herramienta de diagnóstico al evidenciar puntos calientes en las máquinas por medio de imágenes térmicas.*
- *Diagnóstico de Motores Eléctricos de Inducción (ESA&MCA) por medio de medición de voltaje y corriente de manera simultanea (Preditec, 2017).*

Este tipo de mantenimiento presenta ventajas y desventajas debido a la tecnología empleada y a los recursos que se deben disponer:

Ventajas

- Las máquinas y equipos funcionan en mejores condiciones de seguridad
- Mejores condiciones de funcionamiento
- Disminución de los periodos de máquinas paradas
- Vida útil de los equipos extendida
- Reducción de costos
- Mejor distribución de tareas programadas para el personal de mantenimiento.

Desventajas

- Nivel técnico e ingenieril elevado para realizar las actividades predictivas
- No determina con exactitud el desgaste de las piezas
- Costos elevados por el uso de equipos especializados

5.2.4 Indicadores de Gestión

Los equipos, cualesquiera que sean tienen una similitud con los seres humanos, ya que en nuestro transitar por la vida estamos siempre en constantes chequeos médicos que indican nuestro estado de salud a través de la ejecución de diferentes exámenes, de igual forma se hace necesario realizar exámenes y mediciones a los equipos que supervisen e identifiquen su estado y puedan brindar un control de ciclo de vida observando los cambios que presenten.

Es importante que siempre que se tome la decisión de realizar diferentes mediciones se tenga claro cuál es la meta y los objetivos que se desean alcanzar definiendo dichas metas y organizando equipos de trabajo desde la gerencia hasta el área de los equipos a intervenir incluyendo el área de mantenimiento, teniendo en cuenta su entorno de trabajo y el tipo de empresa, de lo cual dependen que indicadores se requiere utilizar; dichos indicadores deben ser claros y concisos, de fácil cálculo y entendimiento.

De manera global los indicadores de gestión, más conocidos como KPI (Key Performance Indicator) por sus siglas en inglés o Indicadores Clave del Desempeño...

...nos ayudan a identificar el rendimiento de una determinada acción o estrategia. Estas unidades de medida nos indican nuestro nivel de desempeño en base a los objetivos que hemos fijado con anterioridad (Espinosa, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesario que a través de los indicadores se realicen comparaciones periódicas entre las metas y objetivos que se hayan fijado y las resultantes obtenidas.

Si bien los indicadores de gestión son clave en la búsqueda del éxito de una empresa e indican las acciones a realizar para lograr un incremento significativo, estos tienen unas características mediante las cuales se podrán obtener resultados eficaces y de ayuda para la compañía en la que se desarrollen. Estas características identifican que los indicadores son:

- Medible: se pueden medir asignando una unidad cuantificable.
- Cuantificable: se cuantifica en unidades, valor monetario, porcentaje o tiempo.
- Especifico: atendiendo algún tipo de aspecto a medir.
- Temporal: aspecto cuantificable que se puede interpretar en unidades de tiempo.
- Relevante: en cuanto a la importancia de los resultados del indicador

Cada modelo de negocio varía según sus objetivos, del mismo modo los indicadores varían según el tipo de empresa, siempre cumpliendo con la función de informar, controlar, evaluar y ayudar en la toma de decisiones (Espinosa, 2016).

Los indicadores relevantes en el área de mantenimiento son los que cuantifican la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos:

Tiempo de inactividad (Downtime): $DT = \frac{\text{tiempo disponible en un periodo evaluado}}{\text{tiempo planificado de operación}}$

Disponibilidad: $D = \frac{\text{horas totales} - \text{horas parada por mannto}}{\text{horas totales}}$ ó $D = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$

Demora en el mantenimiento (Backlog): $B = \frac{\text{horas calculadas de mantenimiento por completar}}{\text{horas hombre diarias disponible}}$

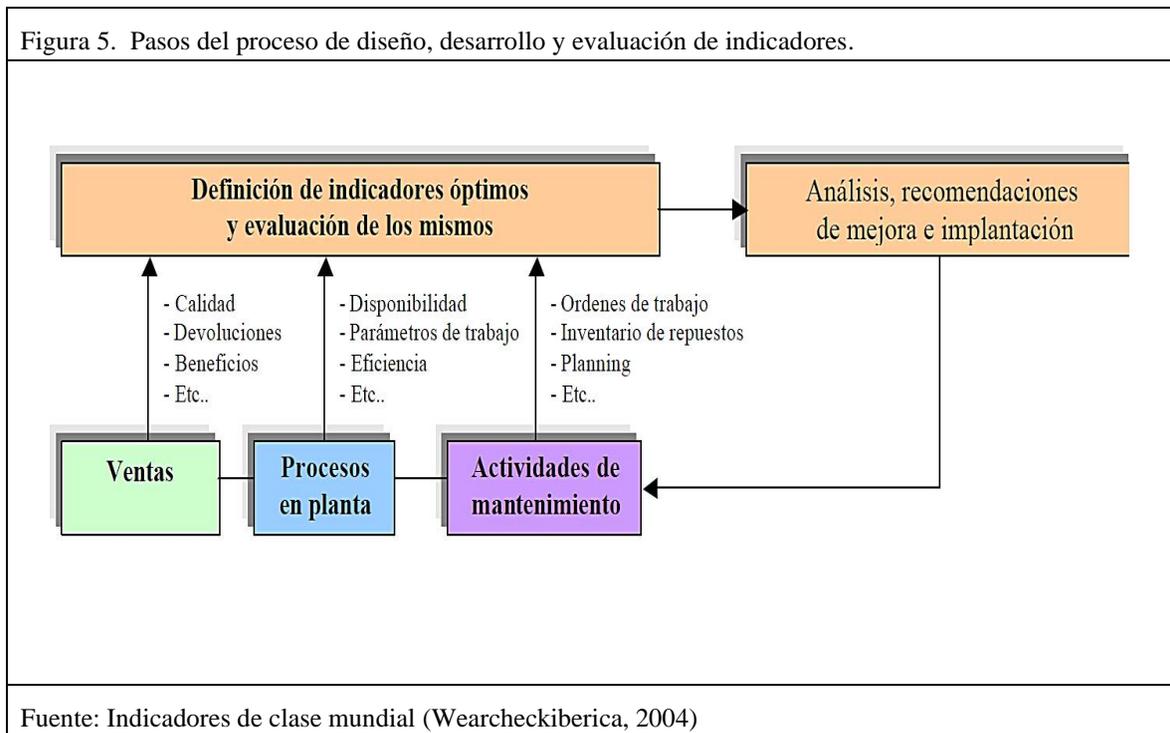
Tiempo medio entre fallas: $MTBF = \frac{\text{horas totales del periodo de tiempo}}{\text{No. de averías}}$

Tiempo medio de reparación: $MTTR = \frac{\text{horas de paro por avería}}{\text{No. de averías}}$

Porcentaje de mantto programado (IMP): $IMP = \frac{\text{horas de mantenimiento programado}}{\text{horas totales de mantenimiento}}$

Índice de cumplimiento del mantto preventivo (PMC): $PMC = \frac{\text{No. de tareas ejecutadas}}{\text{No. de tareas planificadas}} * 10$

El siguiente gráfico ilustra los pasos a seguir en la utilización de los indicadores:



5.3 Marco Normativo

Tabla 3. Normativa aplicada en la gestión del mantenimiento		
NORMA	NUMERAL	OBSERVACIÓN
RUC	3.2.6	-Subprograma de Seguridad Industrial -Programa de Mantenimiento de Instalaciones y Equipos. -Estado de equipos y herramientas
NTC ISO 9001	7.1.5.2 Trazabilidad de las mediciones	El equipo de medición debe: a) Calibrarse o verificarse, o ambas, a intervalos especificados, o antes de su utilización, contra patrones de medición trazables a patrones de medición internacionales o nacionales; cuando no existan tales patrones, debe conservarse como información documentada la base utilizada para la calibración o la verificación. b) Identificarse para determinar su estado. c) Protegerse contra ajustes, daño o deterioro que pudieran invalidar el estado de calibración y los posteriores resultados de la medición.

Fuente: (Ingenio y Empresa, 2020)

5.4 Marco Histórico

Automundial S.A., es una compañía de solución integral de renovación y mantenimiento de llantas. Con más de un siglo de experiencia y 700 puntos de servicio, Automundial es la mejor opción para el manejo inteligente de sus operaciones de llantas, accesorios y servicios.

Misión: Suministrar a los sectores industrial, agrícola, minero, de infraestructura y del transporte en general, soluciones integrales para la operación eficiente en todo lo relacionado con sus llantas.

Visión: Para 2025, Automundial, con presencia en diferentes países de la región, seremos reconocidos como una organización en expansión, rentable, confiable, eficiente e innovadora, generando soluciones integrales en llantas, accesorios y servicios para todos nuestros clientes, de la mano de un equipo de trabajo competente, comprometido y en un ambiente laboral respetuoso, retador, pero sobre todo feliz.

Política: Somos una organización enfocada a superar positivamente las expectativas y necesidades de nuestros clientes, ofreciéndoles soluciones integrales en llantas, accesorios y servicios, que les permitan tener ahorro, disponibilidad oportuna de sus vehículos y a contribuir a tener un medio ambiente cada vez más limpio y sustentable.

Historia: 1916: Automundial S.A., hoy con más de 700 colaboradores, fue fundada en 1916; en sus Inicios era una empresa distribuidora de líneas importadas en el ramo automotor y siempre estuvo a la vanguardia de los avances mundiales. Fue así como importó a Colombia las primeras llantas de cordón (Silvertowncord) de la B.F. Goodrich.

1966: en este año es inaugurada la sede de Automundial en Puente Aranda, ubicada en la calle 13 -49-79 en la ciudad de Bogotá y dos años después, allí mismo es inaugurada la planta de reencauche en caliente, convirtiéndose en el pionero del reencauche en Colombia.

2003: inicia proceso de modernización que involucró la adquisición de maquinaria europea, dejando la planta en los más altos niveles de tecnología mundial. La alta inversión realizada

en equipos, cerca de 5 millones de dólares, comprende desde maquinas inspeccionadoras, raspadoras y embandadoras de última tecnología para la industria del reencauche.

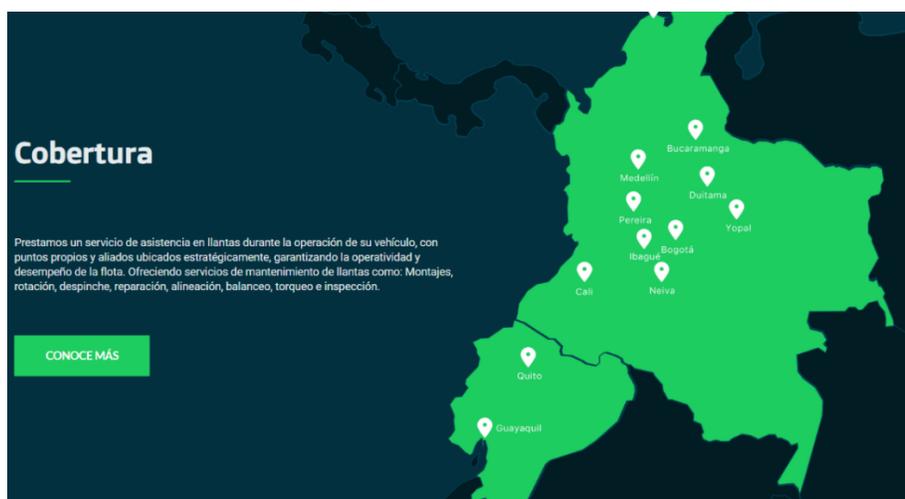
En 2004 hace presencia en la ciudad de Medellín, montando la cuarta planta de reencauche precurado del país dotada de equipos de última tecnología.

2009: Automundial certifica sus procesos y productos con el Icontec, siendo una de las primeras Reencauchadora de llantas de Colombia en obtener esta certificación.

2016: cumplimos nuestros primeros 100 años como líderes en Colombia en el sector de llantas para uso comercial e industrial y el año 2017, mediante la adquisición de Reencauchadora Europea de Ecuador Automundial inicia su expansión internacional.

Cobertura

Figura 6. Cobertura Automundial



Fuente: (Automundial, 2018)

Prestamos un servicio de asistencia en llantas durante la operación de su vehículo, con puntos propios y aliados ubicados estratégicamente, garantizando la operatividad y desempeño de la flota; ofreciendo servicios de mantenimiento de llantas como: montajes, rotación, despinche, reparación, alineación, balanceo, torque e inspección.

Se realiza mediante un software en la nube donde se controlan movimientos y actividades realizadas en los puntos propios y aliados, garantizando la prestación del servicio, llevando también el registro de conductores y vehículos atendidos para el control y seguimiento. la persona encargada también es quien genera la cotización en tiempo real en Autolínea Express.

6 Marco Metodológico

6.1 Recopilación de la Información

6.1.1 Tipo de Investigación

Para el desarrollo de la propuesta de implementación de estrategias de mantenimiento a equipos y herramientas de los Centros de Servicio CDS, Carrotalleres y Servicios In-House de la empresa Automundial S.A., se abordó desde el método descriptivo; ya que, es a través de éste que se pueden identificar las características de una población, lugar o proceso social, económico, ambiental o político logrando la caracterización de una población específica que determine las relaciones entre causa y efecto de las variables del problema.

Tabla 4. Tipos de investigación.

Tipo de Investigación	Descripción
Exploratoria	Su objetivo principal es conseguir una perspectiva general de un problema o situación. Se identifican las posibles variables que intervienen y sus relaciones, así como las fuentes de información de problemas o situaciones similares y sus soluciones. Es más flexible amplia y dispersa en su metodología comparada con otros tipos de investigación.
Descriptiva	Determina las propiedades importantes y relevantes del objeto de estudio. A través de una investigación descriptiva se espera responder el quién, el dónde, el cuándo, el cómo y el porqué del sujeto de estudio. Busca medir o evaluar los aspectos, y componentes más relevantes del fenómeno a investigar. La investigación descriptiva requiere de un considerable conocimiento del área que se investiga para poder formular las preguntas específicas que busca responder, y se basa en la medición de uno o más atributos del fenómeno descrito.
Correlacional	Tiene como propósito medir el grado de correlación que existe entre dos o más conceptos o variables en un problema. Por lo tanto, se utiliza en problemas de mayor complejidad, es decir donde hay un número mayor de variables a tener en cuenta, así como el grado de relación entre ellas. Va más allá de la descriptiva, por cuanto su objetivo no es solo describir el problema o situación sino analizar sus causas teniendo en cuenta la relación entre las distintas variables. Esta investigación genera conocimiento nuevo, en cuanto establece relaciones no conocidas entre variables en una situación o problema definido, que puede ser aplicado en situaciones similares.
Explicativa	Va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos, o del establecimiento de relaciones entre conceptos, pues está dirigida a indagar las causas de los problemas o situaciones objeto de estudio. Se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste, o porqué dos o más variables están relacionadas.

Fuente: (Guerrero, 2011)

6.1.2 Fuentes de obtención de la información

Para el desarrollo de la propuesta se toman como referencia las siguientes fuentes:

6.1.2.1 Fuentes Primarias

Durante el desarrollo del proyecto y para su ejecución, las fuentes de información son netamente empresariales, tomando datos históricos de los equipos y herramientas de la empresa Automundial S.A., suministrados por el área de Mantenimiento de Herramientas y Equipos de la compañía.

6.1.2.2 Fuentes Secundarias

Se toma como referencia la información disponible en libros, artículos científicos y material recopilado de las clases de Gerencia de Mantenimiento y Seminario de Investigación, formación de la que se recibió orientación concerniente a los temas de interés general y particular sobre el mantenimiento, confiabilidad e indicadores de mantenimiento. Se aplicó lo aprendido con el fin de obtener la información pertinente durante la recolección de los datos, organización de ideas y la aplicación de la estrategia de mantenimiento que se presentan en la presente propuesta.

6.1.3 Herramientas de la investigación

La propuesta se centra en la metodología basada en análisis de criticidad tomando para ello el método cuantitativo en el cual se valoran los siguientes aspectos: Seguridad, ambiente, operación, tiempo para reparar, frecuencia de fallas y costos. De lo anterior se determinará cuáles son los activos o sistemas más importantes para la organización.

6.1.4 Metodología de la investigación

Para el desarrollo de los objetivos se aplicarán las siguientes metodologías:

6.1.4.1 Objetivo Específico 1

Para el desarrollo de este objetivo se realizará una recopilación de datos con el fin de tener una identificación clara de equipos y herramientas bajo los cuales será realizado el estudio.

6.1.4.2 Objetivo Específico 2

El análisis de criticidad como metodología para mejorar la confiabilidad, será nuestro foco de estudio. Con la búsqueda de este objetivo se logra una identificación clara y concisa de los equipos y herramientas que son de mayor importancia para la compañía.

6.1.4.3 Objetivo Especifico 3

Mediante el desarrollo de éste, se completará el objetivo principal ya que se utilizará el resultado del análisis de criticidad, con el cual se ejecutarán estrategias de mantenimiento Basadas en RCM.

6.1.5 Información recopilada

La información recopilada para el desarrollo de la propuesta es netamente documental y está basada en los conocimientos adquiridos e impartidos en las sesiones de clase a lo largo del periodo académico por los docentes de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

La compañía cuenta con registros, información documentada de historiales de intervenciones e inventario de equipos que se utilizará para el estudio de la propuesta, este último identifica la descripción de equipo y datos básicos que se utilizaran para realizaran la codificación.

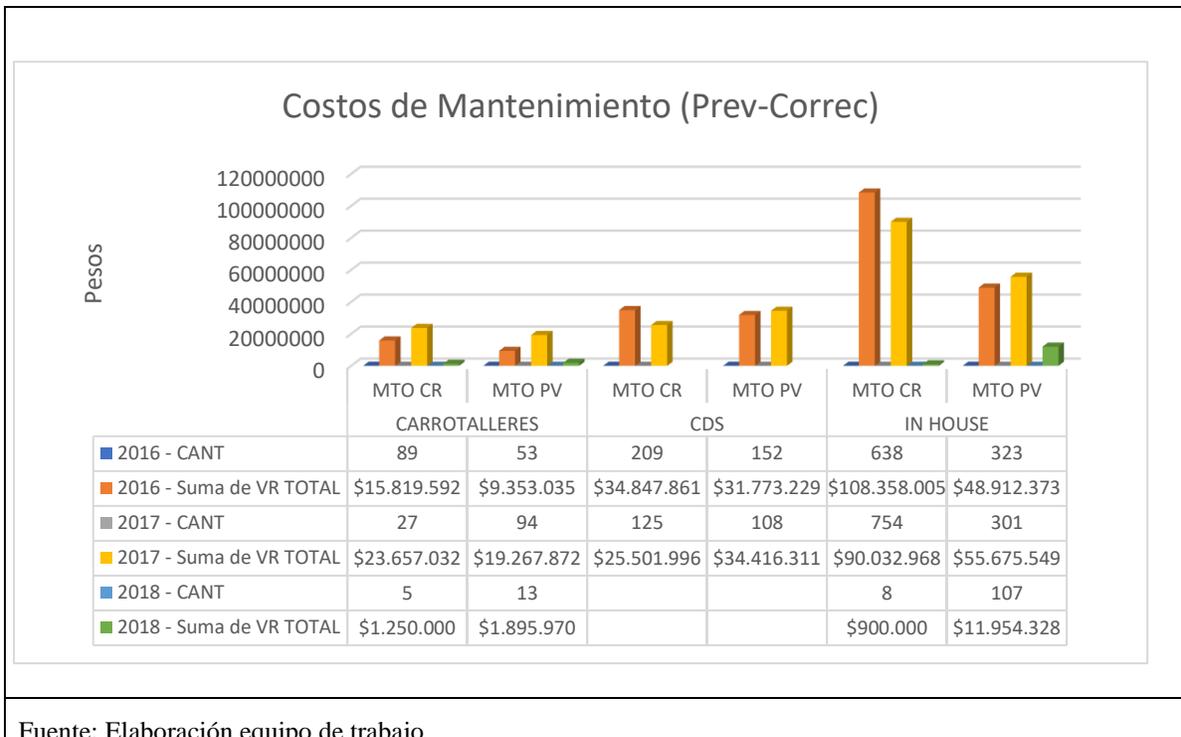
Las estrategias de mantenimiento se aplicarán a 1860 equipos y herramientas con los que cuenta la compañía distribuidos por localizaciones codificadas que indican la ubicación del equipo como se muestra en la tabla:

Tabla 5. Sección de anexo 1. Matriz de criticidad					
Localización	Nombre Localización	Descripción	Marca	Modelo	Serie
265	ALDIA BOGOTA	Pistola de Impacto IR Cuadr 1"	INGERSOLLRAND	N-D	N-D

Fuente: Inventario de equipos (Automundial, 2018)

Se acoge como base inicial y primera fuente de información la documentación existente de los eventos de falla de los equipos en la cual se evidencian problemas de funcionamiento y parada total de equipos durante los servicios prestados a los clientes. Cabe resaltar el procedimiento que los técnicos de servicio y auxiliares realizan en el momento en que un equipo o herramienta deja de funcionar, situación que se torna crítica si se refiere a un servicio prestado por un carro taller o equipos del personal que presta los servicios de mantenimiento en las instalaciones de los clientes como servicio In-House. Si la herramienta o equipo en falla se encuentra en taller, se procede a remplazar por uno de respaldo. En los casos críticos de servicios externos se procede a verificar la herramienta o equipo y se determina si la reparación es sencilla y posible de llevar a cabo en el instante para ser restaurada en corto tiempo y continuar con el servicio. En caso contrario se procede a solicitar en alquiler una herramienta similar de un proveedor cercano a la prestación del servicio. Aunque el retraso en términos de tiempo de la sustitución del equipo es relativamente corto, se incurre en sobrecostos, inicialmente por el valor del alquiler del equipo de remplazo y adicional a este, por el costo de reparación del equipo para lograr ponerlo en funcionamiento.

Gráfico 2. Costos de mantenimiento por servicio



En el caso de ejecución de los mantenimientos correctivos aplicados a los equipos y herramientas, la mayoría de ellos se llevan a cabo por terceros, a quienes se recurre cuando el equipo o herramienta es llevado a falla. Se observa mediante el análisis de los registros históricos que no existe un procedimiento preventivo efectivo y de acuerdo a los gráficos se evidencia un elevado número de eventos de herramientas y equipos operados hasta llevarlos a falla con costos de alquiler de herramientas y equipos relativamente elevados.

En vista de la necesidad de reducción de los costos por el alquiler de equipos y herramientas de terceros adicionados a la reparación, se plantea poner en práctica técnicas de mantenimiento que garanticen una operación en servicio con mayor confiabilidad, las cuales favorezcan la prolongación de la vida útil de equipos y herramientas.

El primer paso que se ha de realizar es un análisis de criticidad que establezca la importancia de los equipos dentro del proceso. Esta metodología permite jerarquizar equipos y sistemas

en función de su impacto operacional, costos de parada, frecuencia de fallas, seguridad, salud y medio ambiente; con el ánimo de facilitar la toma de decisiones.

6.2 Análisis de la información

Se analizaron los datos recopilados en el proceso de verificación de la información de los equipos y herramientas utilizados en los centros de servicio, carrotalleros y servicios In-House, documentándola en una matriz basada en clasificación de criticidad. Ver anexo 1.

6.2.1 Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad para las herramientas y equipos de Automundial S.A. se efectuó con base en el modelo cuantitativo, el cual estima de manera cuantitativa el impacto económico causado por un equipo en falla, estableciendo las prioridades dentro del proceso. Posteriormente se determinan las medidas preventivas que permitan una mayor operabilidad de los equipos. Dentro de las medidas preventivas en términos generales se pueden considerar tareas de mantenimiento, realizadas con el ánimo de reducir las paradas no programadas o fallas en los equipos, inspecciones visuales, lubricación, chequeos, rutinas de mantenimiento, construcción y aplicación de manuales de operación y medición de variables relevantes en el funcionamiento del equipo. Adicionalmente se deben contemplar aspectos como mejoras en el contexto operacional de los equipos, capacitación del personal, rediseños e implementación de equipos de back up.

La tabla mostrada a continuación evidencia los criterios contemplados en el análisis de criticidad por realizar a los equipos y herramientas de la compañía y corresponde al documento adjunto en formato de Excel denominado **Anexo 1 Hoja 3**.

Tabla 6. Cuadro de criterios de criticidad.

ANALISIS DE CRITICIDAD			
FRECUENCIA DE FALLAS		COSTO DE MANTENIMIENTO	
Superior a 4 fallas/mes	10	Costo mayor: costos igual o superior a 4 SMLV (2.577.400)	10
Entre 2-3 fallas/mes	7	Costo menor: impacto económico: 1- 3 SMLV (desde 644.350 hasta 1.933.050)	6
Entre 1-2 fallas/mes	2	Costo leve: costo de reparación del equipo; impacto económico: < 1 SMLV (644.350)	2
Menor a 1 falla/mes	1	Costos de mantenimiento cero (0)	0
IMPACTO OPERACIONAL		FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (MTTR)	
Parada de producción o servicio	10	No hay posibilidad inmediata de reparación del	10
Pérdida de materia prima, producto terminado,	7	Hay opción de reparación del equipo a mediano	6
Disminución de los niveles de operación, servicio	5	Hay opción de reparación del equipo a corto	2
Repercute en costos operacionales o	3	Hay opción de reparación del equipo inmediata	0
IMPACTO EN SEGURIDAD, SALUD Y AMBIENTE		CRITICIDAD DEL EQUIPO - MANTENIMIENTO	
Afecta el ambiente, las instalaciones y/o las	10	Crítico Entre 175 y 400	Mensual
Afecta el ambiente, las instalaciones y/o las	6	Medio crítico Entre 22 y 175	Trimestral
Afecta el ambiente, las instalaciones y/o las	2	Poco crítico Entre 10 y 22	Semestral
No provoca ningún daño a personas,	0	No crítico Igual o menor a 10	Anual
CRITICIDAD DEL EQUIPO		PERIODICIDAD DEL MANTENIMIENTO	
Crítico Entre 175 y 400		Crítico Mensual	
Medio crítico Entre 22 y 175		Medio crítico Trimestral	
Poco crítico Entre 10 y 22		Poco crítico Semestral	
No crítico Igual o menor a 10		No crítico Anual	

Fuente: Elaboración equipo de trabajo de tesis

6.3 Propuesta de solución

Dentro de la propuesta de solución para las herramientas y equipos de Automundial S.A. se encuentran:

- Diseño de matriz de criticidad de equipos.
- Capacitación: (según cronograma asignado por equipo y/o herramienta)
 - En uso y manejo de las herramientas.
 - En mantenimiento de nivel I recomendado por el fabricante.
- Diseño de plan de mantenimiento a equipos.
- Contratación de personal calificado.
- Aplicación del plan de mantenimiento en 2 fases.

6.3.1 Plan de Mantenimiento

Las estrategias de mantenimiento recomendadas para Automundial se basan en especificaciones de fabricante y tareas programadas de acuerdo a lo sugerido en el presente estudio, como revisiones visuales y funcionales de los equipos por medio de check list que evidencien la necesidad de creación de rutinas y tareas a condición, además de la organización de un cronograma de actividades de mantenimiento de reacondicionamiento y sustitución cíclica.

Las tareas a condición resultan de diagnósticos y chequeos continuos que advierten una muy probable falla funcional por suceder, o dicho de otra forma las fallas potenciales de los equipos.

Tabla 7. Cronograma de mantenimiento.

semanalmente en horarios que no afecten la disponibilidad de los equipos como mantenimiento de nivel I el cual se debe aplicar a todos los equipos y herramientas.

Mensualmente se programarán el control de nivel y recuperación de aceite, ajustes de correas y torque a tornillería, así como mantenimiento del sistema eléctrico de los equipos. Trimestralmente se realizará mantenimiento preventivo sistemático de remplazo de empaques, mangueras, cartuchos y cambio de aceite a equipos según cronograma. Cada 6 meses se remplazarán los cables de alimentación de equipos móviles, cambio de llantas y accesorios. Anualmente se realizará calibración y certificación de equipos, reparación, cambio de componentes internos de equipos y herramientas de acuerdo al cronograma adjunto en formato Excel nombrado **Anexo 2**.

6.3.2 Capacitación de personal

El mantenimiento de primer nivel se define como las tareas de mantenimiento básicas a las que puede dar alcance el operario del equipo o herramienta, las cuales no representan mayor complejidad para su ejecución por parte de personal no capacitado en técnicas de mantenimiento, pero que si requieren formación básica en este tipo de detección.

Los trabajos a realizar para este tipo de mantenimiento son acciones simples, pero que en contraprestación evalúan el estado de un equipo verificándolo por simple inspección; tomando acciones como limpieza del equipo, detectando temperatura inusual al tacto o irradiada, ruidos extraños, deformaciones de sus partes o piezas, caída de líquidos o goteo, entre otros.

También se incluyen dentro de esta clasificación las acciones de rutina necesarias para la puesta en operación del equipo, como engrase, calibración, verificación de niveles de aceite, tintas, combustibles, papel y demás consumibles.

Esta labor asume la función de vigilancia y observación del comportamiento de las máquinas de acuerdo a las instrucciones de fabricante y de los métodos de trabajo, lo que permite actuar o avisar a mantenimiento ante cualquier anomalía en su funcionamiento... (Rey, 2000), siendo acorde al nivel I de mantenimiento preventivo del Mantenimiento Productivo Total.

Para el caso de Automundial S.A. dentro de la presente propuesta se recomienda la construcción de manuales y/o cartillas que faciliten la acción de las tareas de mantenimiento de nivel 1 e indiquen las acciones preventivas a tomar en caso de anomalía. Igualmente se propone un plan de capacitación de personal en este tipo de mantenimiento, organizado en un cronograma donde se especifique el tipo de equipo y el número de horas de capacitación.

Se adjunta documento en formato Excel del cronograma de capacitación del personal denominado **Anexo 4**, del cual se extracta la siguiente tabla:

Tabla 8. Cronograma de capacitación

EQUIPO Y/O HERRAMIENTA	HORAS DE CAPACITACIÓN								
		SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8
Alineadora	2	■							
Balanceadora REF. MHP-688 Grand	2		■						
Compresor	2			■					
Desmontadora de llantas Automovil	2				■				
Desmontadora de llantas Camion	2					■			
Diferencial	2						■		
Dispensador	2							■	
Elevador de piston	2								■
Motor Honda GX-390	2								
Planta Electrica	2								
Unidad hidraulica	2								
Aspiradora Neumatica	1								
Bomba Hidráulica	1								
Brazo grúa	1								
Destalonador Hidraulico	1								
Gato Hidraulico	1								
Gato hidraulico tipo zorra	1								
Gato hidroneumatico	1								
Inflador	1								
Inspecciondor de llantas	1								
Traba para montaje	1								
Unidad de mantenimiento	1								

Fuente: Elaboración equipo de trabajo de tesis

6.3.3 Contratación de Personal Calificado

Una de los aspectos a solventar es la inclusión de personal técnico profesional formado en temas de mantenimiento preventivo, predictivo, TMP y RCM2 que respalde la operación y gestión de las actividades de mantenimiento. Para ello se propone incluir en la nómina de la compañía personal técnico profesional ubicado estratégicamente en cuatro zonas, cobijando todos los puntos de atención de la compañía en el país y en el exterior:

- Zona norte: cubriendo los centros de servicio de los departamentos de Atlántico y Antioquia.
- Zona occidente: cubriendo los centros de servicio de los departamentos de Valle, Huila, Tolima y Risaralda.

- Zona centro-oriente: cubriendo los centros de servicio de los departamentos de Cundinamarca y Santander.
- Zona sur: cubriendo los centros de servicio de Guayaquin y Quito en Ecuador.

El perfil profesional deberá ser de mínimo 1 año como planeador de mantenimiento de equipos eléctricos y neumáticos, con manejo de técnicas de mantenimiento en TPM y RCM, análisis de causa raíz, manejo de presupuestos y formación como tecnólogo en mecánica o electromecánica. El presupuesto mensual asignado para el cargo es de \$2.000.000 incluidos aportes parafiscales y liquidaciones. En total \$8.000.000 para los 4 técnicos responsables de los programas de mantenimiento en todo el país y en Ecuador. Esta medida podría ser temporal o permanente de acuerdo a los resultados esperados y su evaluación al término de la primera fase.

Funciones específicas del cargo:

- Responder por el cumplimiento de las tareas de mantenimiento de los centros de servicio, carro talleres y servicios In-House de la zona asignada.
- Realizar la supervisión y control de la correcta ejecución del plan de mantenimiento, documentación de tareas, equipos y capacitaciones programadas.
- Promover el mejoramiento continuo de los procesos y actualizaciones en los planes de mantenimiento, capacitaciones y documentación acorde a las políticas de calidad.
- Documentar y reportar las labores realizadas y las observaciones pertinentes de supervisión y control proponiendo soluciones viables.

6.3.4 Indicadores de gestión

Tabla 9. Indicadores de gestión

Nombre de equipo	Tiempo												INDICADORES DE GESTIÓN					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciemb	Total de total	MTBF	MTRR	Disponibilidad		
Pistola de impacto	11	17	13	4	15	9	13	10	17	10	17	5	140	2,02	2,59	2,50	51%	
Compresor	8	10	5	6	8	4	11	7	11	11	9	3	92	4,54	3,92	2,40	62%	
Gato Hidraulico	10	10	3	5	2	1	2	6	7	3	2	5	56	7,44	6,39	3,39	65%	
Acople	3	5	10	5	2	5	5	5	1	1	6	1	49	2,70	7,39	2,40	75%	
Boquilla	5	1	6	6	9	5	4	5	2	1	2	2	48	1,02	7,58	4,42	63%	
Conector	4	5	8	3	2	5	5	5				6	1	44	7,74	8,12	4,14	66%
Herramienta	10	16	13	1									40	5,39	8,99	3,10	74%	
Marcador de llantas	5	6	3	2	2	4	1	4	3	4	2	4	40	7,20	8,94	0,60	94%	
Calibrador de aire	4	3	6	2	8	7	4	2	2			1	39	3,36	9,27	3,38	73%	
Gato Hidráulico	4	4	4	5	5	2	3	1		4		3	35	5,27	10,28	0,57	95%	
Manguera	3	2	5	2	2	2	2	3	3	2	5	1	32	2,31	11,33	1,82	86%	
Copa		4	3	2	3	5	3	4	1	1	3	1	30	5,04	12,00	2,92	80%	
Alineador		2	4	1	4	3	1	1	1	2	2	3	24	1,45	15,15	1,64	90%	
Taraja	6		3	2	1		3	5	1	1			22	2,06	16,50	1,35	92%	
Cheetah	1			3	1	3		6		3	3	2	22	2,73	16,47	1,33	93%	
Palanca			3	2	2	4	1	5	1	2	2		22	2,84	16,46	0,71	96%	
Manómetro	3	2	4	1	1		3	1		3	1	2	21	1,61	17,30	1,14	94%	
Medidor de Profundidad	5	1		2	6	1	2		1		1	1	20	2,52	18,12	1,00	95%	
Multiplicador	3	4	1				3	5	1	1		1	19	1,13	19,15	1,28	94%	
Destalonador	1	2	3	3	3	4		2	1				19	1,83	19,11	3,29	85%	
Manometro					1	1	4	3	1	3	3	3	19	1,72	19,12	2,02	90%	
Unidad de mantenimiento		3		1	1		2	5		2	1	3	18	1,12	20,22	1,82	92%	
Raspa Acampanada	9	1		2			1		2	2			17	2,72	21,31	0,38	98%	
Red neumatica	2	4							1	2	6	2	16	2,44	22,66	0,70	97%	

Fuente: Elaboración equipo de trabajo de tesis

Como medida de control y seguimiento se establecen los indicadores de MTTR y MTBR. La debida gestión de estos indicadores incrementa la vida útil de los equipos y disminuye los tiempos de reparación. Seguidamente se logra mejorar el porcentaje de disponibilidad a medida que se aplique correctamente el plan de mantenimiento y como medida indirecta se obtiene una mayor satisfacción de clientes internos y externos (Tabla 9 extraída del anexo 3. Historial de mantenimiento).

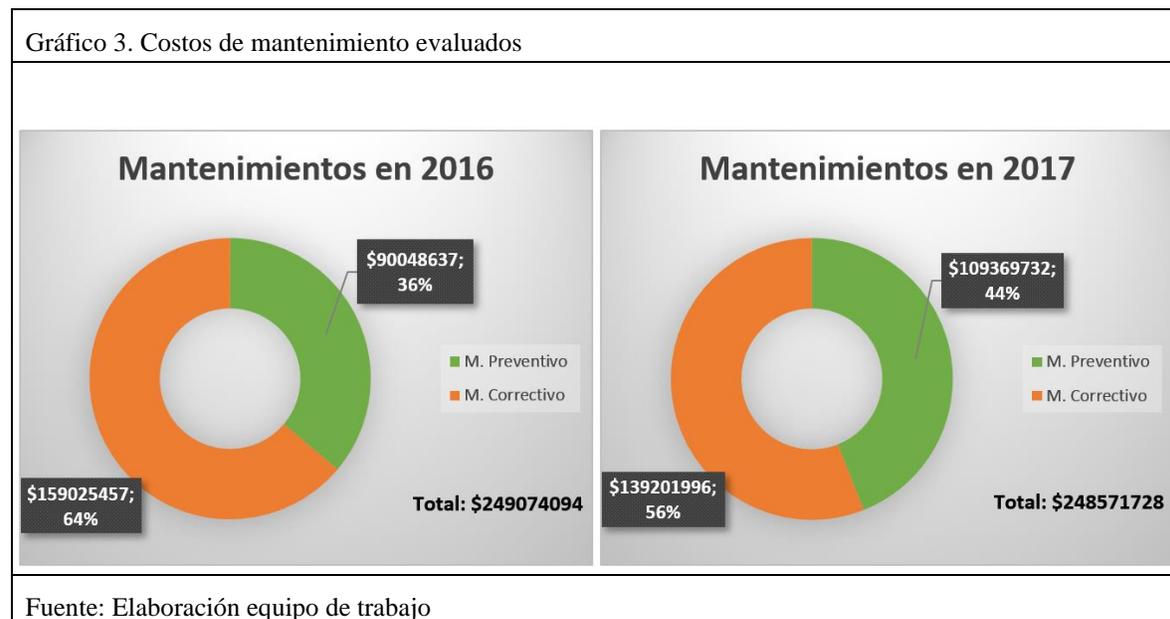
7 Resultados esperados

De acuerdo al análisis de los estados del arte internacional, nacional y local se observa que en promedio el manejo de un plan de mantenimiento implementado supone un ahorro entre el 30% y el 40% de los costos derivados de los mantenimientos correctivos realizados. En Automundial, el reporte de registro de fallos de los equipos cuenta con un campo para

especificar el tipo de acción correctiva realizada, pero no se incluye el costo de la reparación, ni el tiempo de parada del equipo.

Para cuantificar la utilidad obtenida al aplicar un plan de mantenimiento se debe tener en cuenta las pérdidas por paradas de producción, el costo de la reparación, adicionado al valor del alquiler. El índice de paro por avería (tiempo de avería / tiempo de producción) indica el porcentaje aceptable de tiempos de parada, siendo este de 20% del tiempo de producción (Mantenimiento y Mentoring Industrial, 2018).

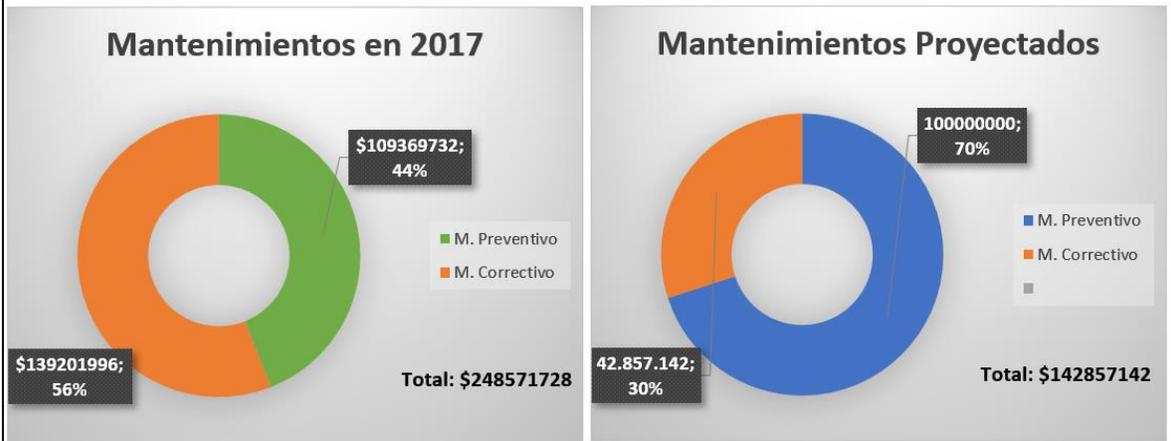
En el registro histórico de falla de los equipos, se puede determinar el tiempo de parada estimando de cada equipo teniendo en cuenta el tiempo empleado por el técnico para hacer el remplazo por el equipo alquilado. Sin embargo, el valor del alquiler se puede manejar como costo de operación por equipo en falla. Por lo cual se estimaría un valor de alquiler traducido como costo de operación debido a la falla.



Como resultados de la implementación del presente proyecto se espera lograr una mejora en los porcentajes de ejecución de mantenimientos preventivos y una relación final de 70% - 30% de mantenimientos preventivos Vs correctivos respectivamente, tomando como base los registros de eventos, los cuales se resumen en el gráfico No. 3, así como la extensión de la vida útil de los equipos, herramientas y como medida indirecta, un incremento en los índices de satisfacción del cliente.

La primera fase se plantea a 6 meses de la implementación del proyecto y se espera reducir los costos de mantenimiento correctivo en un 50% respecto a los años evaluados. Para la segunda fase, al término de un año de implementado el plan de mantenimiento, se espera reducir los costos de mantenimiento a un total de \$142.857.142, lo que supone un ahorro de 42.5% con respecto a los costos de mantenimiento del año 2017.

Gráfico 4. Costos de mantenimiento evaluados vs proyectados



Fuente: Elaboración equipo de trabajo

El valor promedio de los costos de mantenimiento preventivo en los años 2016 y 2017 evaluados se acerca a los \$100.000.000. Tomando como base dicho monto para los mantenimientos preventivos durante la primera y segunda fase de implementación del

proyecto se calculan los costos de mantenimiento correctivo proyectados como el 30% de los costos de preventivos. Es decir, un presupuesto de \$30.000.000 anuales para costos de mantenimiento correctivo.

De los resultados obtenidos al finalizar la primera fase y aplicando los ajustes necesarios al plan de mantenimiento propuesto para continuar con la segunda fase, se espera lograr la reducción de costos de mantenimiento estimados en \$105.714586.

8 Análisis de Costos

8.1 Costos del cronograma de capacitación en mantenimiento

De acuerdo a lo referido en la Tabla No. 8 cronograma de capacitación, se cuantifica el costo de implementación del programa de capacitación:

Tiempo total proyectado: 41.5 horas

No. de técnicos a capacitar: 50

Costo promedio hora técnico: \$6.000

Costo promedio hora capacitador: \$8.300

Hrs de capacitación * costo hora técnico * No. de técnicos

$41.5 \times \$6000 \times 50 = \$ 12.450.000$

Hrs de capacitación * costo hora capacitador * número de instructores

$41.5 \times \$8300 \times 2 = \688.900

Total costo de capacitación durante la primera fase \$ 13.138.900

8.2 Costos de contratación de personal

Para la ejecución del programa de mantenimiento y de acuerdo a lo planteado en el numeral 6.3.4 de contratación de personal se establecen los costos de mantenimiento.

El proceso más utilizado para conocer los costos asociados a la selección y contratación del personal es sumar todos los costos internos y externos relacionados con la actividad, dividiéndolos por el número de personas vinculadas.

Costos internos: dentro de ésta se relacionan los salarios del equipo de reclutamiento.

Costos externos: son actividades y recursos que no son propios de la compañía, como medios de divulgación, agencias externas, pruebas psicométricas, técnicas y de campo, corroboración de datos, estudios socioeconómicos, entre otros.

El periodo de tiempo del proceso de selección de personal se estima en 30 días. Sin embargo, se evaluarán los costos de acuerdo al tiempo requerido por cada integrante del equipo de selección. El valor presupuestado para la conformación del grupo de selección es el siguiente:

Costos internos:

Psicóloga: 15 días * \$66.666 = \$1.000.000

Aux. Psicóloga: 15 días * \$29250 = \$438750

Ingeniero de mantenimiento: 16 horas * \$14.580 = \$233.330

Costos externos:

Publicación en medios: \$400.000

Papelería e impresiones: \$60.000

Total costos de selección: \$2.131.980

Costos operacionales para los nuevos cargos

Equipo de oficina y comunicaciones:

Computador portátil con procesador Core i5 o Rizen 5 \$1.800.000 * 4 unidades = 7.200.000

Plan de celular con minutos ilimitados:

\$62.000 * 4 unidades = 248.000 (costo fijo).

Espacio de trabajo:

Mobiliario de oficina: (escritorio, silla y archivador) 480.000 * 4

unidades = \$1.920.000

Oficina: 4 m² * \$53.000 = \$212.000 (costo fijo).

Viáticos y transporte: Un presupuesto de 500.000 mensuales para transportes y viáticos de los 4 técnicos de acuerdo a los planes de trabajo que se establezcan para apoyar la implementación y el seguimiento del plan de mantenimiento (costo fijo).

Total costos fijos: \$960.000

Total costos operacionales: \$10.080.000.

En la siguiente tabla resumen se muestra los costos mensuales y totales requeridos para la implementación del proyecto.

Tabla 10. Costos de implementación

Descripción del costo	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Selección de personal	\$ 2.131.980					
Capacitación de personal	\$ 2.132.408	\$ 2.132.408	\$ 2.132.408	\$ 2.132.408	\$ 2.132.408	\$ 2.132.408
Costo Op. nuevos cargos	\$ 9.120.000					
Costos Fijo. nuevos cargos	\$ 960.000	\$ 960.000	\$ 960.000	\$ 960.000	\$ 960.000	\$ 960.000
Nómina 4 cargos	\$ 8.000.000	\$ 8.000.000	\$ 8.000.000	\$ 8.000.000	\$ 8.000.000	\$ 8.000.000
Subtotales	\$ 22.344.388	\$ 11.092.408				
Total costos en la primera fase						\$ 77.806.428
Total costos en la segunda fase						\$ 53.760.000
Ahorro estimado en la primera fase						\$ 52.857.293
Ahorro estimado en la segunda fase						\$ 52.857.293

Fuente: Elaboración equipo de trabajo

8.3 Viabilidad y retorno de la inversión

Del gráfico No. 4 (Costos de mantenimiento evaluados vs proyectados) se puede cuantificar una reducción de los costos proyectada de \$105.714.142 al final de la segunda fase y de acuerdo al análisis planteado en los costos de contratación de personal del numeral 8.2 se evidencia que, para la contratación del personal propuesto los costos exceden el ahorro proyectado en esta propuesta.

Como alternativa a lo anterior se propone evaluar el número de personas a contratar en función de la viabilidad del proyecto y para ello se relaciona la siguiente tabla dejando a consideración de la compañía el número de personas requeridas.

Tabla 11. Comparativo de costos de personal contratado

COSTOS 2 TÉCNICOS						
Descripción del costo	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Selección de personal	\$ 2.131.980					
Capacitación de personal	\$ 2.189.816	\$ 2.189.816	\$ 2.189.816	\$ 2.189.816	\$ 2.189.816	\$ 2.189.816
Costo Op. nuevos cargos	\$ 4.560.000					
Costos Fijo. nuevos cargos	\$ 534.000	\$ 534.000	\$ 534.000	\$ 534.000	\$ 534.000	\$ 534.000
Nómina 4 técnicos	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000
Subtotales	\$ 13.415.796	\$ 6.723.816	\$ 6.723.816	\$ 6.723.816	\$ 6.723.816	\$ 6.723.816
Total costos en la primera fase						\$ 47.034.876
Total costos en la segunda fase						\$ 27.204.000
Retorno de la inversión 22 meses						\$ 74.238.876

COSTOS 3 TÉCNICOS						
Descripción del costo	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Selección de personal	\$ 2.131.980					
Capacitación de personal	\$ 2.189.816	\$ 2.189.816	\$ 2.189.816	\$ 2.189.816	\$ 2.189.816	\$ 2.189.816
Costo Op. nuevos cargos	\$ 6.840.000					
Costos Fijo. nuevos cargos	\$ 720.000	\$ 720.000	\$ 720.000	\$ 720.000	\$ 720.000	\$ 720.000
Nómina 3 técnicos	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000
Subtotales	\$ 17.881.796	\$ 8.909.816	\$ 8.909.816	\$ 8.909.816	\$ 8.909.816	\$ 8.909.816
Total costos en la primera fase						\$ 62.430.876
Total costos en la segunda fase						\$ 40.320.000
Retorno de la inversión 60 meses						\$ 102.750.876

Fuente: Elaboración equipo de trabajo

9 Conclusiones y recomendaciones

9.1 Conclusiones

- Tras realizar el acercamiento y búsqueda de información en la compañía en términos de procesos enfocados al mantenimiento de las máquinas y los equipos, se evidenció que no se manejaba un adecuado control y solo se realizaba el mantenimiento cuando la máquina o equipo incurría en falla.
- El análisis de criticidad aplicado a los equipos y herramientas evidenció cuales de estos son de elevada importancia, permitiendo enfocar actividades y recursos en tareas como paradas programadas, remplazo de partes según la planeación y sesiones de capacitación de acuerdo a la prioridad dentro del proceso.
- Los resultados esperados al cabo de la segunda fase de implementado el plan de mantenimiento pretenden reducir los costos de mantenimiento correctivo en un 69.2% y en un 42,5% de los costos totales de mantenimiento respecto al año 2017.

9.2 Recomendaciones

Las recomendaciones en las que vemos una oportunidad de mejora en el desarrollo de la investigación son la de crear un laboratorio metrológico para la calibración de herramientas propio y no tener que recurrir a un tercero.

Implementar algún software para manejar los inventarios y poder tener un mayor control acerca de lo que se tiene y poder tener una métrica de la necesidad de cada repuesto y así poder asegurar la disponibilidad.

Sería recomendable comenzar con un plan para implementar el uso de energías limpias en los procesos, para disminuir el impacto en el medio ambiente.

10 Bibliografía

- Automundial. (23 de 08 de 2018). *http://automundial.co/*. Obtenido de <http://automundial.co/about>: <http://automundial.co>
- Buelvas, D. C., & Martinez, F. K. (11 de 09 de 2018). *Universidad Autonoma del Caribe*. Obtenido de <https://www.uac.edu.co/>: <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/813/TMEC%201144.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cárdenas, M. A. (2014). *Universidad Tecnológica de Bolivar*. Obtenido de <http://www.unitecnologica.edu.co/>: <http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0062776.pdf>
- Castillo, P. E., & López, J. J. (2014). *Universidad Autónoma del Caribe*. Obtenido de <https://www.uac.edu.co/>: <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/123456789/810/TMEC%201143.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cero Grados Celsius. (octubre de 2015). *Mantenimiento preventivo*. Obtenido de <https://0grados.com.mx/mantenimiento-preventivo/>
- Cervantes, G. G. (2011). *Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji*. Obtenido de www.uttt.edu.mx: <http://www.uttt.edu.mx/CatalogoUniversitario/imagenes/galeria/71A.pdf>
- Chusin, N. E. (2008). *AulaFácil*. Obtenido de <https://www.aulafacil.com/>: <https://www.aulafacil.com/cursos/administracion/mantenimiento-industrial-t2323?imprimir>
- Cuastumal, L. F. (2012). *Diseño del balance Scorecard como herramienta gerencial para el mantenimiento preventivo en una empresa de biocombustibles*. Bogotá: Universidad ECCI.
- Dixon, C. J. (2002). *Organización y Liderazgo Del Mantenimiento*. Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción.
- Doffuaa, S. O. (2000). *Sistema de Mantenimiento "Plantación y Control"*. México, D.F.: Limusa Wiley.
- Endesa. (10 de 09 de 2018). *endesa Educa*. Obtenido de <https://www.endesaeduca.com/>: https://www.endesaeduca.com/opencms/opencms/Endesa_educa/recursos-

interactivos/produccion-de-electricidad/ix.-las-centrales-termicas-de-ciclo-combinado

- Escudero, A. F. (2018). *Tesis "Propuesta para Desarrollar un Plan de Mantenimiento Preventivo para Maquinaria Agrícola*. Hualpén, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María Sede Concepción – Rey Balduino de Bélgica.
- Espinosa, R. (08 de 09 de 2016). *Welcome to the new marketing*. Obtenido de <https://robertoepinosa.es/>: <https://robertoepinosa.es/2016/09/08/indicadores-de-gestion-que-es-kpi/>
- EU - OSHA. (06 de 2001). *Mantenimiento seguro – Trabajadores seguros*. Recuperado el 18 de 09 de 2018, de <https://osha.europa.eu>: <https://osha.europa.eu/es/tools-and-publications/publications/factsheets/88>
- Gameros, M. (25 de 11 de 2015). *Revista Ferrepat*. Obtenido de <http://www.revista.ferrepat.com/>: <http://www.revista.ferrepat.com/herramientas/ciclos-de-trabajo-y-mantenimiento-de-herramientas-electromecanicas/>
- Guzmán, J. L. (2016). *Propuesta de Mantenimiento Preventivo y Planificado para la Línea de Producción en la empresa Latercer S.A.C*. Chiclayo, Perú: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- ISEI, I. f. (10 de 09 de 2018). *Univesidad Politécnica de Cataluña*. Obtenido de UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93732/05CAPITULO3.PDF>
- Landín, P. (2 de NOVIEMBRE de 2012). *Pelandintecno-Tecnología Eso*. Obtenido de Centrales de ciclo combinado. Animaciones flash: <http://pelandintecno.blogspot.com/2012/11/centrales-de-ciclo-combinado.html>
- Mantenimiento y Mentoring Industrial. (2018). *Mantenimiento y Mentoring Industrial*. Obtenido de <https://mantenimiento-mi.es>: <https://mantenimiento-mi.es/2014/como-puedo-cuantificar-el-beneficio-por-hacer-mantenimiento>
- MantenimientoPetroquímica. (2018). *MantenimientoPetroquímica*. Obtenido de MantenimientoPetroquímica.com: <http://mantenimientopetroquimica.com/index.php/fase-5-determinacion-de-las-medidas-preventivas>
- Molina, J. (12 de 07 de 2015). *Monografias.com*. Obtenido de <https://www.monografias.com>:

<https://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>

Ospina, L. F. (2019). *Consultoría en Gestión de Mantenimiento para compactadores de basura de cargue lateral*. Bogotá.

Padilla, B., & Escobar, D. (2008). *Grupo de Investigación Virtus*. Obtenido de <http://grupovirtus.org/moodle/>:
http://grupovirtus.org/moodle/pluginfile.php/5461/mod_resource/content/1/Documentos/MantenimientoMoldesInyeccion.pdf

Preditec. (2017). *Preditec*. Obtenido de <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/>

San Juan, D. (19 de octubre de 2015). *Cero Grados Celsius*. Obtenido de Mantenimiento preventivo: <https://0grados.com.mx/mantenimiento-preventivo/>

Valdéz, J. L., & San, M. E. (2009). *Universidad de Cartagena*. Obtenido de <https://www.unicartagena.edu.co/>:
<http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/802/1/275-%20TTG%20-%20DISE%20C3%91O%20DE%20%20UN%20PLAN%20DE%20MANTENIMIEN%20TO%20PREVENTIVO-PREDICTIVO%20APLICADO%20A%20LOS%20EQUIPOS%20DE%20LA%20EMPRESA%20REMAPLAST.pdf>

Villegas, A. J. (2014). *Universidad Católica de San Pablo*. Obtenido de <http://ucsp.edu.pe/>:
<http://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/UCSP/15234>

Wearcheckiberica. (diciembre de 2004). *DocPlayer*. Obtenido de Boletín sobre Lubricación y Mantenimiento. Wearcheckiberica N°8 : <https://docplayer.es/19548243-Indicadores-de-clase-mundial.html>

Anexos

Los siguientes documentos se encuentran anexos en la carpeta con formato xls y hacen parte de la información recopilada y procesada en el presente proyecto:

- Anexo 1: Matriz de criticidad de equipos.
- Anexo 2: Cronograma de mantenimiento.
- Anexo 3: Historial de mantenimiento.
- Anexo 4: Cronograma de capacitación.

