

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTION BASADO EN LA METODOLOGIA DE
MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA UNA EMPRESA DE
ALQUILER

JOSE DAVID LLERAS VALENCIA

JESUS DAVID REDONDO SALAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2019

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTION BASADO EN LA METODOLOGIA DE
MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA UNA EMPRESA DE
ALQUILER.

JOSE DAVID LLERAS VALENCIA

JESUS DAVID REDONDO SALAS

MONOGRAFIA DE GRADO PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR
EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

DIRECTOR

MAURICIO MARQUEZ SANTOS

MAGISTER EN EDUCACION

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA EQUICARIBE S.A.....	16
1.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA EQUICARIBE S.A.	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.3 OBJETIVOS.....	19
1.3.1 Objetivo General	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4 JUSTIFICACION DEL PROYECTO.....	20
2. MARCO TEORICO	22
3. MARCO CONCEPTUAL	24
3.1. MANTENIMIENTO.....	24
3.2.1. Tipos de Mantenimiento.....	24
3.2.2. FMECA.	26
3.2.3. RCA.	27
3.2.3 Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	29
Origen y Desarrollo del TPM.....	30
4. MARCO LEGAL	45
4.1. NORMA SAE J1739.....	45

4.2. NORMA ISO 55000.	45
5. METODOLOGÍA	46
5.1. FASE I.....	46
5.2. FASE II.....	46
5.3. FASE III.....	46
5.4. FASE IV.	47
6. RECOPIACION Y ANALISIS DE INFORMACION	49
6.1. COMPRESOR	50
6.1.1. Sistema de motor.....	51
6.1.2. Sistema mecánico.....	51
6.1.3. Sistema unidad compresora.	51
6.1.4. Sistema eléctrico.....	51
6.1.5. Sistema de enfriamiento.	51
6.2. MINICARGADORES.....	51
6.2.1. Sistema de motor.....	52
6.2.2. Sistema mecánico.....	52
6.2.3. Sistema hidráulico.....	52
6.2.4. Sistema de frenos.	53
6.2.5. Sistema eléctrico.....	53
6.2.6. Sistema carrocería y cabina.....	53
6.2.7. Sistema de transmisión.....	53
6.2.8. Sistema de enfriamiento	53

6.3. VIBROCOMPACTADORES.....	53
6.3.1. Sistema de motor.....	55
6.3.2. Sistema hidráulico.....	55
6.3.3. Sistema eléctrico.....	55
6.3.4. Sistema de enfriamiento.	55
 7. MODELO PROPUESTO	 56
7.1. FASE I.....	56
7.2. FASE II.....	57
7.3. FASE III:.....	58
7.3.1. Mantenimiento Autónomo	58
7.3.2. Tarjetas de activos.....	58
7.3.3. Listas de Chequeo.	59
7.3.4. Áreas administrativas.....	60
7.3.5. Capacitación de nueva mano de obra.	60
7.4. FASE IV:	60
 8. CONCLUSIONES	 63
 BIBLIOGRAFIA.....	 64
 ANEXOS	 67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Inventario General de Equipos.	49
Tabla 2. Análisis DOFA de la empresa Equicaribe S.A, Fuente Propia.	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Minicargador NewHolland L220 Equicaribe S.A. Fuente: Propia.....	17
Figura 2. Esquema para realizar un FMECA.	27
Figura 3. Actividades para desarrollar un RCA.....	29
Figura 4 Proceso Curvo del plan de trabajo.	48
Figura 5. Compresor Rotair 53K, Fuente: Propia.....	50
Figura 6. Minicargador New Holland L220, Fuente Propia.	52
Figura 7. Vibrocompactador AR-13 Multiquip. Fuente Propia.....	54

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Lista de Chequeo de Mantenimiento Clientes, Fuente Propia.....	67
Anexo 2. Lista de Chequeo de Mantenimiento Operador. Fuente Propia.....	68
Anexo 3. Recomendaciones para el buen uso. Cliente Fuente Propia.....	69

RESUMEN

TITULO:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTION BASADO EN LA METODOLOGIA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA UNA EMPRESA DE ALQUILER*

AUTOR:

JOSE DAVID LLERAS VALENCIA, JESUS DAVID REDONDO SALAS **

PALABRAS CLAVE:

TPM, ESTRATEGIAS, GESTION, EFICIENTE, COMPETITIVO, SINERGIA.

CONTENIDO: Hoy en día estar a la vanguardia en un mercado altamente competitivo como lo es el actualmente el de la construcción, requiere de mucho esfuerzo por parte de todo el recurso humano de una organización; desde la gerencia, hasta los operadores; requiere a su vez del ingenio de estrategias contundentes que logren la capacitación de clientes potenciales, y aun mejor, de estrategias que busquen la satisfacción continua de los clientes actuales. Muchas empresas, están adoptando esquemas de administración de sus procesos para tener una gestión más eficiente y ser líderes en un mercado altamente competitivo y globalizado.

El mantenimiento productivo total (TPM) es una metodología que permite alcanzar ese grado de optimización que buscan las empresas interviniendo las áreas centradas en el “core” de la misma y sus áreas de apoyo para garantizar una sinergia.

Mediante las fases de desarrollo de la metodología se garantiza un entendimiento en los involucrados en el proyecto de implementación de TPM.

*Monografía de grado

**Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Mauricio Marquez Santos

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN OF A MANAGEMENT SYSTEM BASED ON THE METHODOLOGY OF TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) FOR A RENTAL COMPANY *

AUTHOR:

JOSE DAVID LLERAS VALENCIA, JESUS DAVID REDONDO SALAS**

KEYWORDS:

TPM, STRATEGIES, MANAGEMENT, EFFICIENT, COMPETITIVE, SYNERGY.

CONTENTS:

Today, being at the forefront of a highly competitive market, such as construction today, requires a lot of effort on the part of all the human resources of an organization; from the management, to the operators; it requires at the same time the ingenuity of forceful strategies that achieve the training of potential clients, and even better, of strategies that seek the continuous satisfaction of the current clients. Many companies are adopting management schemes for their processes to have a more efficient management and be leaders in a highly competitive and globalized market.

Total productive maintenance (TPM) is a methodology that allows achieving that degree of optimization that companies seek by intervening in the areas centered on the "core" of the same and their areas of support to ensure synergy.

Through the phases of development of the methodology an understanding is guaranteed in those involved in the TPM implementation project..

*Monograph

**Physical – Mechanical Faculty. Maintenance Management Specialization.
Director Mauricio Marquez Santos

INTRODUCCIÓN

Hoy en día estar a la vanguardia en un mercado altamente competitivo como lo es el actualmente el de la construcción, requiere de mucho esfuerzo por parte de todo el recurso humano de una organización; desde la gerencia, hasta los operadores; requiere a su vez del ingenio de estrategias contundentes que logren la capacitación de clientes potenciales, y aun mejor, de estrategias que busquen la satisfacción continua de los clientes actuales.

Debido a lo anteriormente mencionado, las organizaciones día a día buscan implementar medidas que se encaminen a cada uno de los objetivos propuestos. Estas medidas deben implementarse en todas las áreas funcionales de esta, de tal manera que haya una unión y se obtenga buenos resultados.

Todas estas medidas, traen consigo la utilización de nuevas tecnologías que exigen un esfuerzo del personal encargado de mantener en buen estado los equipos usados para el desarrollo de las actividades de la compañía. Es por ello que el área de mantenimiento adquiere una importancia mayor, debido a ser el responsable de la conservación de los activos pertenecientes a una empresa, donde uno de los requisitos importantes es establecer un servicio sistemático y técnico de mantenimiento eficiente, seguro y económico para la compañía¹.

Un sistema aplicable de mantenimiento que se encuentra actualmente dando resultados eficaces para lograr obtener un rápido proceso de optimización es el TPM (Mantenimiento Productivo Total), que busca el mejoramiento permanente de la productividad con la participación de todos².

¹ Natalia Leandra Mansilla Del Valle, 'Aplicación De La Metodología De Mantenimiento Productivo Total (Tpm) Para La Estandarización De Goma De Mascar En Una Industria Nacional' (Universidad de Chile, 2011).

² Sandra Liliana Acosta Martinez and Laura Gonzalez Acendaño, 'Propuesta de Mantenimiento Productivo Total (TPM), En El Proceso de Sacrificio de Equinos En La Empresa Finda Los Cristales LTDA Ubicada En Mosquera.', *Universidad Agustiniana* (Universidad Agustiniana, 2017).

El TPM es una herramienta eficaz para asegurar el cuidado básico del equipo, detectar el inicio de posibles averías y en muchos casos, evitarlas desde las primas instancias que se presentan, siendo su principal objeto incrementar notablemente la productividad y al mismo tiempo levantar el ánimo del operador y la satisfacción del trabajo realizado³.

Equicaribe S.A. la empresa a tratar en esta monografía, es una empresa dedicada al alquiler y venta de equipos para la construcción y obras civiles, la cual ha venido desarrollando la metodología de mantenimientos netamente correctivos en el momento de que los equipos son devueltos a bodega por parte de los clientes y a su vez la metodología de mantenimientos preventivos especialmente para los equipos que son operados por personal de la compañía y a su vez equipos que presentan horómetros los cuales permiten tener un control de las gamas de mantenimiento a realizar.

Teniendo en cuenta, todos los beneficios que trae la metodología de mantenimiento TPM, Equicaribe S.A., tomo la decisión de implementar este programa con el fin de darle un apoyo a los clientes con respecto al buen uso y cuidado de la maquinaria en el momento en el que se le alquila un equipo, como también el crear consciencia en los operadores de la compañía, desarrollando una filosofía de orden y productividad con tendencia a la mejora continua.

³ Maria Fernanda Rojas Rangel, 'IMPLEMENTACIÓN DE LOS PILARES TPM (Mantenimiento Total Productivo) DE MEJORAS ENFOCADAS Y MANTENIMIENTO AUTÓNOMO, EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN OFIXPRES S.A.S.' (Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2011) <<https://doi.org/10.1007/s00271-007-0088-6>>.

1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA EQUICARIBE S.A.

1.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA EQUICARIBE S.A.

A medida que las ciudades crecen, aumenta el auge de la construcción y con el crece la necesidad de los constructores de encontrar empresas que les ofrezcan todas las facilidades de conseguir los equipos requeridos para el desarrollo de sus proyectos.

Obedeciendo a este principio y con el objetivo principal de ofrecer un servicio ágil, oportuno y basado en la honestidad y transparencia, nació en la ciudad de Barranquilla, el 07 de septiembre de 1992, Equicaribe LTDA., una empresa dedicada al alquiler de equipos para la construcción y obras civiles. Gracias al excelente servicio y la atención de su personal, hoy Equicaribe S.A., atiende en toda región Caribe.

Es una empresa dedicada al alquiler y venta de equipos para la construcción. Está ubicada en el departamento del Atlántico, exactamente en la ciudad de Barranquilla y actualmente consta con 54 empleos directos y una facturación mensual de \$300.000.000.

Misión

Equicaribe S.A. es una empresa que trabaja con eficiencia y calidad, prestando el servicio de alquiler y venta de equipos para el sector de la construcción y obras civiles, buscando llenar expectativas y cubrir todas las necesidades de sus clientes en el momento oportuno y con óptima calidad.

Visión

Nuestra visión es ser una empresa líder en el sector, mejorando continuamente en todas sus actividades, ofreciendo diversidad de productos y servicios de alta calidad, para aumentar cada vez más su participación en el mercado.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A medida que las ciudades crecen, aumenta el auge de la construcción y con ello crece la necesidad de los constructores de encontrar empresas que les ofrezcan todas las facilidades de conseguir los equipos requeridos para el desarrollo de sus proyectos. Es por ello por lo que la industria del alquiler de maquinaria nace obedeciendo al principio anteriormente mencionado con el objetivo de ofrecer un servicio ágil y oportuno.

Figura 1 Minicargador NewHolland L220 Equicaribe S.A. Fuente: Propia.



Hoy en día existen diferentes problemáticas que se presentan en el negocio de alquiler de maquinaria para la construcción y obras civiles los cuales repercuten en

el normal funcionamiento de estos en el momento de estar en obra. Uno de estos problemas lo causa la no utilización o pérdida de registros históricos de operación y mantenimientos de la maquinaria. Esto dificulta la trazabilidad a lo largo de su operatividad con diferentes clientes y baja confiabilidad al llegar la maquinaria a la obra puesto que, algunos equipos presentan fallas con clientes que en solo llevan días con ellos en sus obras. También se presenta el no cumplimiento en los mantenimientos preventivos debido a las horas de servicio de estos ya que una gran cantidad de los equipos no poseen un mecanismo de medición como horómetros o kilometrajes que permitan llevar un control más riguroso y a su vez se mantienen en bodega un tiempo prolongado que tampoco permite su adecuada medición. Todo esto lleva a incrementos en costos y tiempos prolongados de llegada de repuestos que afectan la disponibilidad y confiabilidad de los equipos para su entrega en alquiler.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de gestión basado en la metodología de mantenimiento productivo total (TPM) para una empresa de alquiler de maquinaria liviana y mediana para la construcción.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico al sistema de gestión actual de mantenimiento de la empresa, a través de un análisis DOFA.
- Analizar los factores que dan origen a las deficiencias en el sistema de gestión actual a partir de un Análisis de Modo de efecto de Falla (AMEF).
- Identificar elementos y factores necesarios constitutivos de un sistema de gestión de mantenimiento TPM a partir de una revisión del estado de arte.
- Evaluar la productividad y confiabilidad de las maquinas a partir de la propuesta de mejora del plan de mantenimiento.

1.4 JUSTIFICACION DEL PROYECTO

Hoy en día en el área del alquiler de maquinaria para la construcción se genera una alta competitividad debido a la oferta que se presente en cuanto a las horas de servicio del equipo y a su vez el costo de este, por lo anterior los mantenimientos que se deben realizar a estos repercuten directamente en el estado de confiabilidad que tiene el cliente para con la empresa prestadora del servicio. Es por ello que como principal motivo se tiene el impacto económico y comercial que repercute el tener que realizar mantenimientos correctivos a los equipos sin mucho tiempo de estar en las obras, ya que se elevan los costos para encontrar repuestos y a su vez genera descontento por parte de los clientes en el momento de volver a solicitar un servicio a la empresa.

El presente trabajo pretende diseñar un sistema de gestión de mantenimiento el cual apunte a reducir estos mantenimientos correctivos y los tiempos de inoperatividad de la maquinaria liviana y mediana para la construcción, en este sentido, está encaminado a tener un control más riguroso de los equipos que no poseen un sistema de medición de sus horas de servicio y así actuar oportunamente frente a potenciales fallas que puedan presentarse en los mismos, a su vez, este sistema de gestión también satisface las necesidades de los clientes con respecto a los oportunos servicios técnicos que se presenten en obras. Todo esto con el fin de mejorar los mantenimientos que se vienen realizando en la maquinaria liviana y mediana en las empresas alquiladoras en el sector construcción.

El principal factor para llevar a cabo proyectos de mejora es mantener el equipo operativo la mayor cantidad de tiempo posible, ósea, aumentar su disponibilidad operacional, beneficiando la capacidad productiva del mismo. Además, mediante la implementación de nuevas metodologías se busca aumentar la confiabilidad de los equipos y reducir costos en producción por parte de la mano de obra operativa,

como en los controles de las diferentes actividades de mantenimiento que se presentan, eventuales (fallas imprevistas) o mantenimientos programados.

2. MARCO TEORICO

Como principal característica del mantenimiento es la mantenibilidad de los activos, esta se refiere principalmente a las propiedades de diseño, análisis, predicción y demostración, que ayudan a determinar la efectividad con la que el equipo puede ser mantenido o restaurado para estar en condiciones de uso u operación. También conocida como la capacidad de restaurar efectivamente un producto⁴.

Los principios de general aplicación en cualquier actividad, podemos resumirlos como:

- El mantenimiento debe ser planificado, eliminando la improvisación. Debe existir un exacto programa anual de mantenimiento, basado en el costo real de reparaciones de cada máquina o instalación de trabajo.
- Debe existir información técnica completa en relación con los trabajos de mantenimiento de cada máquina o instalación.
- La calidad de reparación no debe estar sujeta a urgencias, salvo consiente decisión de los responsables del Servicio de Mantenimiento.
- El mantenimiento en la industria debe basarse por igual en: Elección y distribución de personal especializado; Creación y control de un taller propio para atender reparaciones; Orden y control de existencias del almacén de recambios; Programación técnico – económica.

Importancia del mantenimiento.

El objetivo del mantenimiento es conservar todos los bienes que componen los eslabones del sistema directa e indirectamente afectados a los servicios, en las

⁴ Jhonatan Arango, 'Diseño de Un Plan de Mantenimiento Preventivo Para Maquinaria Pesada y Vehículos de La Empresa Nema Ingeniería' (Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, 2018).

mejores condiciones de funcionamiento, con un muy buen nivel de confiabilidad, calidad y al menor costo posible.

Esta área no sólo deberá mantener las máquinas sino también las instalaciones de iluminación, redes de computación, sistemas de energía eléctrica, aire comprimido, agua, aire acondicionado, calles internas, pisos, depósitos etc. Deberá coordinar con recursos humanos un plan para la capacitación continua del personal ya que es importante mantener al personal actualizado⁵.

Antes de realizar la clasificación o descripción de los tipos de mantenimiento, es importante saber realmente lo que es mantenimiento y la diferencia con lo que se conoce como mantenibilidad o capacidad de mantenimiento, estas se presentan en muchas ocasiones a confusión por parte del personal de una empresa⁶.

⁵ Maledis Becerra and Yira Bohorquez, 'Diseño e Implementación de Un Programa de Mantenimiento Preventivo Para La Maquinaria de La Empresa Mejías Villegas Constructores S.A.' (Universidad de Cartagena, 2007).

⁶ Camilo Buelvas and Kevin Martinez, 'Elaboración de Un Plan de Mantenimiento Preventivo Para La Maquinaria Pesada de La Empresa L&L' (Universidad Autónoma del Caribe, 2014).

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1. MANTENIMIENTO.

Se define como la disciplina cuya finalidad consiste en mantener las máquinas y equipos en un estado de operación, lo que incluye servicio, pruebas, inspecciones, ajustes, reemplazo, reinstalaciones, calibración, reparación y reconstrucción. Principalmente se basa en la realización de conceptos, criterios y técnicas requeridas para el mantenimiento, proporcionando unas políticas o criterios para la toma de decisiones en la administración y la aplicación de programas de mantenimiento⁷.

3.2.1. Tipos de Mantenimiento

3.2.1.1. Mantenimiento Correctivo. Es el mantenimiento que se ejecuta después de ocurrida una falla en determinada máquina, por lo que se debe realizar de manera urgente. El personal encargado de avisar de las fallas es el propio usuario de la máquina y el encargado de realizar las reparaciones es el personal de mantenimiento. El correctivo de emergencia deberá actuar lo más rápidamente posible con el objetivo de evitar costos y daños materiales y/o humanos mayores⁸.

3.2.1.2. Mantenimiento Preventivo. Comprende todas las acciones sobre revisiones, modificaciones y mejoras dirigidas a evitar averías y las consecuencias de estas en el proceso.

Siendo esta actividad humana desarrollada en los recursos físicos de una empresa con el fin de programar el mantenimiento llevando controles periódicos de los

⁷ Hernando Bravo and Luis Castro, 'Plan de Mantenimiento Preventivo de Maquinaria Pesada de La Empresa INSER S.A.S.' (Universidad Tecnológica de Bolívar, 2012).

⁸ Bravo and Castro.

diferentes sistemas y equipos de cada máquina. A demás para llevar a cabo este tipo de mantenimiento es primordial el conocimiento de cada equipo.

Se tiene inspecciones visuales de posibles anomalías superficiales, medición de temperaturas permitiendo tener un indicio del estado de los elementos que mayor desgaste tienen y además se puede obtener un estimado de tiempo máximo de funcionamiento de un componente⁹.

3.2.1.3. Mantenimiento Predictivo. Este tipo de mantenimiento se basa en predecir la falla antes de que esta se produzca. Se trata de conseguir adelantarse a esta o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas. Para conseguir esto se utilizan herramientas y técnicas de monitores de parámetros físicos.

El mantenimiento predictivo abarca un conjunto de técnicas de inspección, análisis y diagnóstico, organización y planificación de intervenciones que no afectan al servicio del equipo, y que tratan de ajustar al máximo la vida útil del elemento en servicio al momento planificado para la intervención¹⁰.

⁹ Hernan Maldonado and Luis Siguensa, 'Propuesta de Un Plan de Mantenimiento Para Maquinaria Pesada de La Empresa Minera Dynasty Mining Del Catón Porto Veló' (Unviersidad Politecnica Salesiana, 2012).

¹⁰ Juan Gonzalo Ardila Marín and others, 'La Gerencia Del Mantenimiento: Una Revisión', *Dimensión Empresarial*, 14.2 (2016), 129 <<https://doi.org/10.15665/rde.v14i2.480>>.

3.2.1.4. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). El mantenimiento centrado en Confiabilidad (MCC), o Reliability Centred Maintenance (RCM), ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años. El proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico. El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metalmecánica, etc. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM.

El RCM muestra que muchas de los conceptos del mantenimiento que se consideraban correctos son realmente equivocadas. En muchos casos, estos conceptos pueden ser hasta peligrosos. Por ejemplo, la idea de que la mayoría de las fallas se producen cuando el equipo envejece ha demostrado ser falsa para la gran mayoría de los equipos industriales¹¹.

3.2.2. FMECA. Análisis de modos, efectos de falla potenciales y su criticidad.

FMECA es una herramienta para mejorar la confiabilidad de procesos y productos. La metodología del análisis de efectos y modos de falla proporciona la orientación y los pasos que un grupo de personas debe seguir para identificar y evaluar las fallas potenciales de un producto o proceso, junto con el efecto que provocan. De lo cual se establecen prioridades y define acciones para eliminar y/o reducir la posibilidad de que se presenten las fallas potenciales con más criticidad¹². Este método se desarrolla por etapas tal como se muestra en la figura 2 con el fin de ir elaborando un mapa crítico de acuerdo a las posibles fallas potenciales, donde

¹¹ Buelvas and Martinez.

¹² Leonardo Aguiar and Hender Rodríguez, 'Análisis de Modos y Efectos de Falla Para Mejorar La Disponibilidad Operacional En La Línea de Producción de Gaseosa N°3' (Universidad Libre de Colombia, 2014).

primero es necesario detectar el modo de falla, luego se evalúa la severidad de la falla en el sistema, la probabilidad de ocurrencia y la probabilidad de detección de la misma, estos pasos nos llevan a determinar la probabilidad de riesgo de la falla potencial con el fin de generar acciones que nos permitan controlar estos posibles eventos.

Figura 2. Esquema para realizar un FMECA¹³.



3.2.3. RCA. Análisis de la causa raíz. El RCA es un método riguroso de solución de problemas para cualquier tipo de falla, donde se emplea la lógica y un árbol de causas que por medio de la verificación de los hechos y de realizar unas deducciones se determinan las causas reales del evento¹⁴.

Esta herramienta es utilizada para determinar hasta tres niveles de causas para cualquier evento de falla específico, permitiendo aprender de las fallas y eliminar las

¹³ Antecedentes D E L Amfe, 'Análisis de Modos de Falla y Sus Efectos', ed. by Fernando Scarpatti (Cordoba, Argentina: Scarpatti y Asociados, 2010), p. 22.

¹⁴ HERNANDO VERA MUÑOZ, 'Aplicación de La Metodología Análisis Causa Raíz (RCA). Para La Eliminación de Un Mal Actor En Equipos Críticos de La SOM - ECOPEPETROL S.A' (Universidad Industrial de Santander, 2011) <<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>>.

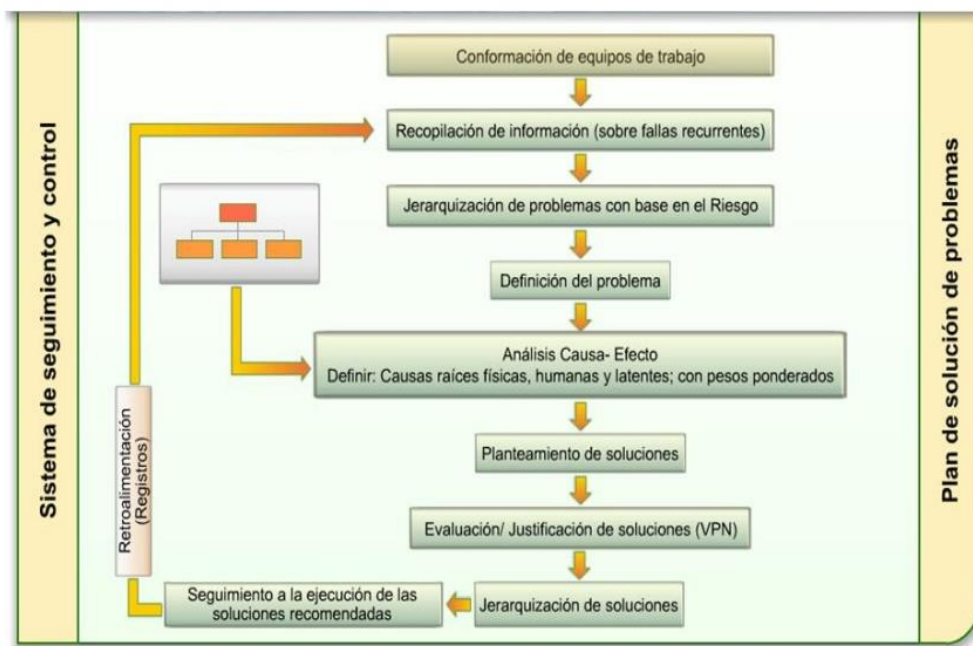
causas principales en vez de convivir con el problema al hacer mantenimientos alrededor del problema.

Lo más importante para llevar cabo de forma correcta este método y obtener resultados claros es la creación de equipos de trabajo que se encargaran de recopilar la información sobre fallas recurrentes por medio de los registros de los eventos, con el fin de realizar una jerarquización de los problemas con base en el riesgo para definir el problema y comenzar los análisis de causa y efecto para ir determinando posibles causas que al ser ponderadas se establecen rangos de criticidad que permiten plantear soluciones acordes a las ponderaciones obtenidas anteriormente que nos ayudan a llevar a cabo dependiendo de la criticidad de las mismas.

El RCA se utiliza para la detección de fallas crónicas, repetitivas, detección de fallas esporádicas, reducción de costos y optimización de las operaciones¹⁵.

¹⁵ SCO, 'Metodología de Análisis Causa Raíz (ACR)', *Aprendizaje Virtual*, 3 (2012), 31.

Figura 3. Actividades para desarrollar un RCA¹⁶.



3.2.3 Mantenimiento Productivo Total (TPM). Este sistema caracterizado por las siglas TPM (total productive maintenance), coloca a todos los integrantes de la organización, en la tarea de ejecutar un programa de mantenimiento preventivo, con el objetivo de maximizar la efectividad de los bienes¹⁷.

El TPM se explica por:

- Efectividad total a efectos de obtener la rentabilidad adecuada, teniendo en cuenta que ésta hace referencia a la producción, a la calidad, al costo, al tiempo de entrega, a la moral, a la seguridad, a la salubridad y al ambiente.
- Sistema de mantenimiento total consistente en la prevención del mantenimiento (diseño libre de mantenimiento al cual ya nos hemos referido) y en la mejora de la mantenibilidad.

¹⁶ Fernando Espinosa, 'Pequeñas Charlas Para Gestión Del Mantenimiento, Fernando Espinosa Fuentes.', in *Pequeñas Charlas Para Gestión Del Mantenimiento.*, ed. by Fernando Espinosa (Cali, 2013), p. 17.

¹⁷ Pomorski Thomas R., 'Mantenimiento Productivo Total', 2014, 28.

- Intervención autónoma del personal en tareas de mantenimiento.
- Mejoramiento permanente de los procesos al mejorar el mantenimiento.

Origen y Desarrollo del TPM

Las industrias de proceso avanzaban en el mantenimiento preventivo y productivo, las industrias de manufactura y ensamble invertían en nuevos equipos esforzándose en ser menos intensivas en mano de obra. Tendencias hacia la automatización combinada con la producción just in time, estimulo el interés de mejorar la gestión de mantenimiento en las industrias de manufactura y ensamble. Esto dio origen a un enfoque exclusivamente japonés denominado mantenimiento productivo total (TPM)¹⁸.

Difusión del TPM

El TPM surgió y se desarrolló inicialmente en la industria del automóvil y rápidamente paso a formar parte de la cultura corporativa de las empresas, como en la industria de la alimentación, caucho, refinerías de petróleo, químicas, farmacéuticas, gas, cemento, papeleras, siderurgia, etc.

Inicialmente las actividades del TPM se limitaron a los departamentos directamente relacionados con los equipos. Sin embargo, actualmente los departamentos administrativos y de apoyo, a la vez que apoyan activamente al TPM en la producción, lo aplican también para mejorar la eficacia de sus propias actividades.

Esta última tendencia subraya la creciente importancia de considerar desde la fase inicial del desarrollo no sólo los procesos y equipos de producción sino también los

¹⁸ Tokutarö Suzuki, *TPM En Industrias de Proceso*, ed. by Marques de Cubas, TGP Hoshin (Madrid, 1995).

productos, con el objetivo de simplificar la producción, mejorar el aseguramiento de la calidad, y la eficiencia, y reducir el periodo de arranque de una nueva producción.

El TPM se ha difundido tan rápidamente en la industria japonesa y el mundo debido a tres razones fundamentales, garantiza drásticos resultados, transforma visiblemente los lugares de trabajo y eleva el nivel de conocimiento y capacidad de los trabajadores de producción y mantenimiento.

Las empresas que ponen en práctica el TPM logran resultados sobresalientes, particularmente en la reducción de averías de los equipos, la minimización de los tiempos en vacío y pequeñas paradas, en la disminución de defectos y reclamaciones de calidad; en la elevación de la productividad, reducción de los costes de personal, inventarios y accidentes.

A través del TPM, una planta sucia, cubierta de aceite y grasa, con fugas de lubricante y polvo, puede transformarse en un entorno de trabajo grato y seguro. También conforme se realizan las actividades y estas empiezan a rendir resultados concretos, los trabajadores se motivan, aumentando su integración en el trabajo y aumentan las sugerencias de mejoras.

Definición del TPM

Como las actividades TPM fueron contempladas primeramente en el entorno de los departamentos de producción, el TPM se definió originalmente por Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) incluyéndolas siguientes cinco estrategias:

1. Maximizar la eficacia global que cubra la vida entera del equipo.
2. Establecer un sistema de mantenimiento preventivo global que cubra la vida entera del equipo.
3. Involucrar a todos los departamentos que planifiquen, usen y mantengan equipos.

4. Involucrar a todos los empleados desde la alta dirección a los operarios directos.

5. Promover el sistema de mantenimiento preventivo motivando a todo el personal mediante las actividades de los pequeños grupos autónomos.

Sin embargo, el TPM se aplica por toda la empresa, abarcando los departamentos de desarrollo del producto, así como los administrativos y de ventas. Para reflejar esta tendencia, el JIPM ha introducido en 1989 una nueva definición del TPM con los siguientes componentes estratégicos:

1. Crear una organización corporativa que maximice la eficacia de los sistemas de producción.

2. Gestionar la planta con una organización que evite todo tipo de pérdidas (asegurando los cero accidentes, defectos y averías) en la vida entera del sistema de producción.

3. Involucrar a todos los departamentos en la implementación del TPM, incluyendo desarrollo, ventas y administración.

4. Involucrar a todos, desde la alta dirección a los operarios de la planta en un mismo proyecto.

5. Orientar decididamente las acciones hacia las cero pérdidas apoyándose en las actividades de los pequeños grupos.

Desarrollo del TPM

El TPM se implanta normalmente en cuatro fases (preparación, introducción, implantación y consolidación), que pueden descomponerse en doce pasos.

Fase de Preparación.

Es vital elaborar cuidadosa y prolijamente los fundamentos para un programa TPM. Si la planificación es descuidada, se necesitarán repetidas modificaciones y correcciones durante la implantación. La fase de preparación arranca con el anuncio

de la alta dirección de su decisión de introducir el TPM y se completa cuando se ha formulado el plan maestro plurianual de desarrollo del TPM.

Paso 1: La alta dirección anuncia su decisión de introducir el TPM.

Todos los empleados deben comprender el porqué de la introducción del TPM en su empresa, y estar convencidos de su necesidad. La elevación de los costes de las primeras materias y los materiales intermedios, la caída de los precios de los productos, y otros factores negativos del entorno, fuerzan a las industrias a organizarse más eficazmente. Muchas empresas están adoptando el TPM como un medio para resolver complejos problemas internos y luchar contra las turbulencias económicas. No es necesario explicar, que la alta dirección debe considerar cuidadosamente estos puntos antes de anunciar su decisión de introducir el TPM.

Sin embargo, cuando la alta dirección formule este compromiso, debe dejar claro su intención de seguir el programa TPM hasta su finalización. Esto informa a todos los empleados y órganos empresariales que la dirección comprende el valor estratégico del TPM y que facilitará el apoyo físico y organizacional necesario para resolver los diversos problemas que inevitablemente surgirán durante la implantación. La etapa de preparación para el TPM comienza con este anuncio.

Paso 2: Educación Introductoria para el TPM.

Antes de poner en práctica un programa TPM debe comprenderse. Para garantizar que todos comprenden las características del TPM, y las razones estratégicas que han llevado a la dirección a aceptarlo, se planifican seminarios externos y planes de formación internos adecuados para cada nivel.

Paso 3: Crear una organización de promoción del TPM.

El TPM se promueve a través de una estructura de pequeños grupos que se solapan en toda la organización. En este sistema, los líderes de pequeños grupos de cada nivel de la organización son miembros de pequeños grupos del siguiente nivel más elevado. También la alta dirección constituye en sí misma un pequeño grupo. Este sistema es extremadamente eficaz para desplegar las políticas y objetivos de la alta dirección por toda la organización.

Se debe establecer una oficina de promoción del TPM que se responsabilice de desarrollar y promover estrategias eficaces de promoción del TPM. Para ser eficaz, la oficina debe funcionar con personal permanente, de plena dedicación, ayudado por varios comités y subcomités. Sus funciones incluyen tareas tales como preparar el plan maestro TPM y coordinar su promoción, crear pautas para mantener las diversas actividades TPM en el camino previsto, dirigir campañas sobre temas específicos, diseminar información, y organizar la publicidad. La oficina de promoción juega un papel especialmente importante en la gestión de la implantación del mantenimiento autónomo y en centrar las actividades de mejora.

Paso 4: Establecer políticas y objetivos TPM básicos.

La política TPM básica debe ser parte integral de la política global de la empresa y debe indicar los objetivos y directrices de las actividades a realizar. Los objetivos TPM deben relacionarse con la planificación estratégica de la empresa, es decir, con los objetivos de negocio a medio y largo plazo y deben decidirse solamente después de consultas prolongadas con todos los interesados, incluida la alta dirección. El programa TPM debe durar lo suficiente para obtener los objetivos fijados.

Hay que expresar objetivos numéricos en el máximo grado posible. Al establecer objetivos, empezar por establecer bases de referencia claras. Estas deben facilitar

una medición instantánea de la situación existente y expresarse parcialmente de modo cuantitativo y parcialmente cualitativo. Establecer un objetivo significa contemplar un nivel deseable de logro por encima de una línea de fondo particular. La cuestión más difícil es siempre decidir cuánto más hay que situar el objetivo por encima de la base de referencia. Los objetivos deben ser desafiantes, pero alcanzables.

Paso 5: Diseñar un plan maestro.

Para formular un plan maestro de implantación, hay primero que decidir las actividades a poner en práctica para lograr los objetivos TPM. Este es un paso importante; Cada empresa ha de reflexionar y decidir sobre los modos más eficientes de cubrir los desfases entre la situación de partida y los objetivos, y entre éstos y las bases de referencia.

Las ocho actividades nucleares del TPM (sus pilares tradicionales) son:

1. Mejoras orientadas
2. Mantenimiento autónomo
3. Mantenimiento planificado
4. Formación y adiestramiento
5. Gestión temprana de los equipos
6. Mantenimiento de calidad
7. Actividades de departamentos administrativos y de apoyo.
8. Gestión de seguridad y entorno.

Otras actividades de particularmente importantes en plantas de proceso específicas incluyen:

- Diagnóstico y mantenimiento predictivo
- Gestión del tiempo
- Desarrollo de producto y diseño y construcción de equipos

Estas actividades necesitan presupuestos y orientaciones claras. Asimismo, deben supervisarse apropiadamente. Debe prepararse un programa con hitos claramente visibles para cada actividad, integrando todos ellos en el plan maestro.

Fase de Introducción.

Paso 6: Saque inicial del proyecto TPM.

Una vez que se ha aprobado el plan maestro, puede tener lugar el «saque inicial» del TPM. Este comienzo debe perfilarse para cultivar una atmósfera que eleve la moral e inspire dedicación. En Japón, consiste a menudo en una reunión de todo el personal a la que se invitan clientes, filiales y subcontratistas. En la reunión, la alta dirección confirma su compromiso de implantar el TPM e informa de los planes desarrollados y el trabajo realizado durante la fase de preparación.

Fase de Implantación (Pasos del 7 al 11).

Durante la fase de implantación, se realizan actividades seleccionadas para lograr los objetivos del plan maestro. Debe ajustarse el orden y plazo de las actividades de los pasos del 7 al 11 para adaptarlos a las características particulares de la empresa, división o planta. Algunas actividades pueden realizarse simultáneamente.

Fase de Consolidación.

Paso 12: Afianzar los niveles logrados y mejorar las metas.

En Japón, la primera fase de un programa TPM termina cuando una empresa gana un Premio PM. Sin embargo, las actividades TPM corporativas no terminan aquí.

Hay que continuar engarzándolas firmemente en la cultura corporativa haciéndolas cada vez más eficaces.

Una corporación crece persiguiendo continuamente objetivos cada vez más elevados: objetivos que reflejen una visión de lo que la corporación cree debe llegar a ser. Las empresas se están esforzando en realizar planes estratégicos que garanticen su supervivencia y rentabilidad en los próximos años. Los programas TPM deben apoyarlas en este esfuerzo.

Recientemente, más corporaciones están percibiendo la importancia de no contentarse con las mejoras aportadas por su programa TPM inicial. Tales corporaciones están introduciendo una fase adicional en sus actividades con la intención de ganar el Premio PM Especial.

Actividades Fundamentales del Desarrollo del TPM.

Las empresas deben seleccionar y poner en práctica actividades que logren eficiente y eficazmente los objetivos estratégicos del TPM. Aunque diferentes empresas pueden seleccionar actividades ligeramente diferentes, las más comunes son las ocho descritas a continuación. Se ha podido comprobar que rinden resultados excelentes cuando se realizan apropiadamente, y son el fundamento y soporte de cualquier programa de desarrollo TPM.

Paso 7-1: Mejoras Orientadas.

Las mejoras orientadas son un tipo de actividad realizada por equipos de proyectos inter-funcionales compuestos por personas tales como ingenieros de producción, personal de mantenimiento, y operarios. Estas actividades están pensadas para minimizar las pérdidas que se busca erradicar, que se han medido y evaluado cuidadosamente.

Paso 7-2: Mantenimiento Autónomo.

El mantenimiento autónomo es una de las actividades más características del TPM. Después de que se introdujo en el Japón, procedente de Estados Unidos, el mantenimiento preventivo, se separaron formalmente las funciones de operación y las de mantenimiento. Como los operarios perdieron responsabilidades respecto al equipo, gradualmente perdieron sensibilidad respecto a su mantenimiento.

El mantenimiento autónomo practicado en el TPM invierte esta tendencia. Los operarios se involucran en el mantenimiento de rutina y en actividades de mejora que evitan el deterioro acelerado, controlan la contaminación, y ayudan a mejorar las condiciones del equipo. Como las plantas de proceso emplean un pequeño número de operarios en relación al número y tamaño de los equipos las estrategias para lograr los objetivos del mantenimiento autónomo deben adaptarse de alguna forma respecto al procedimiento tradicional seguido en las industrias de manufactura y ensamble. Cuando se planifica el mantenimiento autónomo para entornos individuales de proceso, se debe:

- Considerar cómo pueden realizarse más eficazmente las acciones de mantenimiento autónomo en los diferentes tipos de equipos.
- Investigar la importancia relativa de los diferentes elementos del equipo y determinar los enfoques de mantenimiento apropiados.
- Priorizar las tareas de mantenimiento.
- Asignar apropiadamente responsabilidades entre el personal de producción y el de mantenimiento especializado.

Las actividades de mantenimiento autónomo se articulan e implantan en una sucesión de pasos y son eficaces solamente si se controla estrictamente la progresión de un paso al siguiente. Para gestionar esto, se designan grupos oficiales de auditoría y se establecen estándares de aprobación o fallo para cada

paso. Un director de la planta debe dar la aprobación final para la graduación de cada grupo y autorizar el movimiento al paso siguiente.

Paso 7-3: Mantenimiento Planificado.

El mantenimiento planificado o programado abarca tres formas de mantenimiento: el de averías, el preventivo y el predictivo. Como con otras actividades TPM, la creación de un sistema de mantenimiento planificado debe hacerse sistemáticamente, superando un paso cada vez.

La finalidad de realizar el mantenimiento preventivo y predictivo es eliminar las averías, pero incluso cuando se realizan prácticas de mantenimiento sistemáticas, siguen ocurriendo fallos inesperados. Tales fallos revelan elementos inapropiados en el «timing» y contenido de los planes de mantenimiento y ponen a la luz que hay medidas ineficaces de prevención de fallos. En el TPM, las actividades de mantenimiento planificado resaltan la importancia de controlar los tiempos medios entre fallos (MTBF) y de usar ese análisis para especificar los intervalos de las tareas (calendarios de mantenimiento semanal, mensual, anual, etc.)

Paso 7-4: Formación y Adiestramiento.

La fuerza laboral de una empresa es un activo de gran valor, y todas las empresas deben formar sistemáticamente a sus empleados. Los trabajadores de las industrias de proceso son cada vez más escasos, forman parte de una élite, y cada vez tienen una formación más polivalente, de modo que su adiestramiento debe ser una parte vital del sistema de recursos humanos. Hay que visualizar el tipo de personas que se desea formar y los programas apropiados. En otras palabras, hay que identificar los conocimientos específicos, capacidades, y habilidades de gestión que se desea tener y entonces programar la formación para lograr tal visión.

La formación debe también ajustarse para servir necesidades individuales. Hay que evaluar a cada persona para medir su grado de asimilación de los conocimientos y capacidades requeridos e identificar sus debilidades, y con todo ello programar más eficazmente la formación. Los trabajadores y supervisores deben examinar anualmente los resultados de esta evaluación y en función de esto fijar los objetivos del año próximo y los planes para la fase siguiente.

Paso 8: Gestión temprana de nuevos equipos y productos.

La gestión temprana incluye la gestión temprana o anticipada del equipo y del producto. La finalidad de estas actividades es lograr rápida y económicamente productos que sean fáciles de fabricar y equipos de fácil utilización. Esta sección describe la gestión temprana del equipo.

La gestión temprana del equipo concierne a los usuarios de los equipos, a las empresas de ingeniería, y a los fabricantes de equipos. Habitualmente, se cubren las siguientes etapas:

- Planificación de la investigación
- Diseño de los procesos
- Proyectos de equipos, fabricación e instalación
- Someter a test la operación
- Gestión del arranque

Todas las actividades, desde el proyecto inicial de un equipo hasta su instalación y test, pueden verse como un solo proyecto. El proyecto arranca con el diseño del proceso, el proyecto básico de la planta, y los planos y especificaciones detalladas que incluyen el aprovisionamiento, la fabricación, la construcción, y el test de funcionamiento. En su planificación, el equipo de proyecto determina los niveles técnicos de equipo y planta (funciones y rendimientos) junto con los niveles de

disponibilidad (fiabilidad, mantenibilidad, etc.), y entonces prepara presupuestos y programas para alcanzar los objetivos.

Al proyectar una planta, se perfilan varios diseños: diseño funcional, de fiabilidad y mantenibilidad, de seguridad, y de economía. En particular, el establecimiento de especificaciones de prevención del mantenimiento (MP) y su puesta en práctica, ayuda a asegurar que los equipos y planta son fiables y se mantendrán fácilmente. Deben realizarse diversas revisiones del diseño en el curso del proyecto, fabricación y construcción de una planta.

Después de completar estas actividades, los equipos instalan las máquinas, realizan operaciones de test, e inician la fase de gestión del arranque. La gestión del arranque es una actividad perfilada para lograr, tan rápidamente como sea posible, las condiciones de producción estable de productos con calidad y cero defectos.

Paso 9: Mantenimiento de Calidad.

El mantenimiento de calidad (QM) es un método para fabricar con calidad bien a la primera y evitar los defectos a través de los procesos y equipos. En el mantenimiento de calidad, la variabilidad de las características de calidad de un producto se controla la condición de los componentes del equipo que les afectan. Las características de calidad están influenciadas principalmente por los cuatro inputs de la producción: equipos, materiales, acciones de las personas (habilidad), y métodos. El primer paso en el mantenimiento de calidad es clarificar las relaciones entre estos cuatro factores y las características de calidad de un producto analizando los defectos de calidad. En las industrias de proceso, es particularmente importante el efecto del equipo sobre las características de calidad.

En las industrias de proceso, el proceso determina el tipo de equipo necesario. Por tanto, hay que centrarse primero en el proceso, y después en el equipo. En otras

palabras, hay que clarificar primero las relaciones entre calidad del producto y las condiciones de proceso y determinar así las condiciones precisas de proceso que se requieren para producir un producto perfecto.

El equipo es un medio para ejecutar un proceso. Por tanto, al aplicar un enfoque QM al diseño del equipo, se debe empezar identificando los componentes que afectarán a las características de calidad del producto. Estos elementos se denominan componentes de calidad. A continuación, se identifican las condiciones de los componentes de calidad que se requieren para mantener las características de calidad.

Paso 10: TPM en Departamentos Administrativos de Apoyo.

Los departamentos administrativos y de apoyo juegan un papel importante como soporte de la producción. La calidad y oportunidad de plazo de la información que aportan estos departamentos tienen un gran efecto sobre las actividades de producción.

Las actividades TPM realizadas por los departamentos administrativos y de apoyo no deben solamente apoyar al TPM en la planta, deben también reforzar sus propias funciones mejorando su organización y cultura. Sin embargo, en comparación con producción, no es fácil para los departamentos administrativos medir los efectos de sus actividades. Un programa TPM en este entorno debe intentar crear una fábrica de información y aplicar el análisis de procesos para regularizar el flujo de información. Hay que pensar que los departamentos administrativos y de apoyo son plantas de proceso cuyas tareas principales son recoger, procesar y distribuir información. Este concepto hace más fácil promover y medir el mantenimiento autónomo, la mejora, y otras actividades TPM en un entorno de oficinas.

El mantenimiento autónomo en los departamentos administrativos intenta que se ejecute un trabajo eficiente y libre de problemas, contemplando la acción desde dos ángulos: la función administrativa y su entorno. Puestas en práctica paso a paso, el primer conjunto de actividades reduce los costes y eleva la eficiencia mejorando los procesos administrativos. El segundo conjunto de actividades suprime los obstáculos para un trabajo eficaz ocultos en el entorno físico y psicológico.

La mejora de las tareas administrativas se orienta a su eficiencia y velocidad y a reducir el número de personas necesarias. Para lograr esto, se automatizan las tareas de oficina y se instalan sistemas de proceso de datos tales como redes electrónicas locales, etc. Al mismo tiempo, hay que incrementar la eficiencia administrativa en el apoyo a las decisiones y acciones de planificación de directores y ejecutivos.

Paso 11: Gestión de Seguridad y del Entorno.

La seguridad y prevención de efectos adversos sobre el entorno son temas importantes en las industrias de proceso. Los estudios de operabilidad combinados con la formación para prevenir accidentes y el análisis de fallos son medios eficaces para tratar estos asuntos. La seguridad se promueve sistemáticamente como parte de las actividades TPM. Como en el caso de otras actividades TPM, las actividades de seguridad se realizan también con el sistema paso a paso.

Ciertos temas son particularmente importantes en el entorno de los procesos. Por ejemplo, lo es incorporar mecanismos a prueba de errores, esto es, diseñar equipos que funcionarán con seguridad incluso aunque el personal no tome las precauciones apropiadas. Es también importante garantizar la seguridad durante el mantenimiento con parada general. En las industrias de proceso, el mantenimiento con parada requiere una asistencia considerable de subcontratistas externos, y lo mismo puede decirse para las operaciones de limpieza. Esto hace doblemente

importante garantizar la seguridad durante dichas operaciones. Siempre que sea posible, hay que verificar la capacidad y cualificaciones de los trabajadores subcontratados, y hacerlo por anticipado. Hay que tomar cada paso practicable para garantizar la seguridad, incluyendo dar una formación rigurosa sobre seguridad y supervisar cuidadosamente el trabajo.

Paso 12: Sostener la Implantación del TPM y Elevar sus Niveles.

Hay varias claves para mantener los niveles TPM una vez logrados. Por ejemplo, crear fuertes grupos TPM en cada nivel y dotar a una organización de promoción que ayude a integrar el TPM en el trabajo diario. El procedimiento paso a paso sistemático que se recomienda para las actividades TPM es eficaz para lograr resultados. Es también útil un enfoque de mejora continua mediante el ciclo PHVA, revisando continuamente hacia arriba los objetivos, y aceptando nuevos desafíos, como el Premio especial PM. Ninguna de estas acciones será eficaz sin el apoyo de mediciones continuas, cuidadosas y concretas. Hay que arrancar con claras líneas de fondo y documentar regularmente y en detalle los resultados de las mejoras. Hay que utilizar indicadores de gestión que muestren a cada uno (en cada nivel) los progresos concretos que se hacen, fomentando la motivación e implicación de todos.

4. MARCO LEGAL

Dentro de la normativa empleada para esta investigación para establecer un análisis de confiabilidad de los equipos se tiene.

4.1. NORMA SAE J1739.

- Normativa que soporta el diseño y elaboración de un AMEF y FMEC. Se caracteriza por ser un grupo de actividades sistematizadas destinadas a:
- Reconocer y evaluar la falla potencial de un producto y/o proceso y su efecto.
- Identificar las acciones que podrían eliminar o reducir la posibilidad de que un posible fracaso se produzca.
- Documentar el proceso complementario al proceso de definición de lo que es un diseño o proceso de lo que se debe hacer para satisfacer al cliente.

4.2. NORMA ISO 55000.

Esta Norma Internacional provee los aspectos generales de la Gestión de Activos, sus principios y terminología y los beneficios esperados al adoptar la Gestión de Activos

- Valor: Los Activos existen para proveer valor a la organización y a sus partes interesadas. La Gestión de Activos no se enfoca en el Activo en sí mismo, sino en el valor que este puede proveer a la organización. Este valor será determinado, de acuerdo con los Objetivos Organizacionales, por la organización y sus partes interesadas.
- Alineación: La Gestión de Activos traduce los Objetivos Organizacionales en decisiones, planes y actividades técnicas y financieras.
- Liderazgo: El liderazgo y la cultura de trabajo son determinantes para la obtención de valor. El liderazgo y compromiso de todos los niveles gerenciales es esencial para establecer, operar y mejorar exitosamente.
- Aseguramiento: Asegura que los Activos cumplirán con su propósito. Surge de la necesidad de gobernar eficazmente una organización.

5. METODOLOGÍA

Con el fin de desarrollar el proyecto de grado titulado “Diseño un sistema de gestión basado en la metodología de mantenimiento productivo total (TPM) para una empresa de alquiler” se plantea las siguientes actividades para cada uno de los objetivos a alcanzar.

5.1. FASE I. Realizar un diagnóstico al sistema de gestión actual de mantenimiento de la empresa, a través de un análisis DOFA.

Actividad 1: Consulta bibliográfica: Ampliar los conocimientos sobre los sistemas de gestión de mantenimientos y a su vez el uso de análisis DOFA en estos.

Actividad 2: Consulta de la metodología de diseño de un sistema de gestión de mantenimiento según las variables presentadas en la industria actualmente.

Actividad 3: Identificación de variables presentadas en el sistema de gestión actual de mantenimiento de la empresa por medio de una matriz DOFA.

5.2. FASE II. Analizar los factores que dan origen a las deficiencias en el sistema de gestión actual a partir de un Análisis de Modo de efecto de Falla (AMEF).

Actividad 1: Consulta de la metodología de análisis de modo de efecto de falla aplicado en los sistemas de gestión de mantenimiento TPM en maquinaria liviana y mediana para la construcción y obras civiles.

Actividad 2: Identificación de los factores que dan origen a las deficiencias del sistema de gestión presente en la empresa actualmente, aplicando el método AMEF.

Actividad 3: Análisis estadísticos de los datos obtenidos con respecto a las deficiencias encontradas en el método aplicado actualmente.

5.3. FASE III. Identificar elementos y factores necesarios constitutivos de un sistema de gestión de mantenimiento TPM a partir de una revisión del estado de arte.

Actividad 1: Determinar los elementos y factores necesarios para la realización de un sistema de gestión de mantenimiento TPM, basándose en una revisión del estado del arte.

Actividad 2: Involucrar y comprometer a los colaboradores con la adaptación de la filosofía TPM.

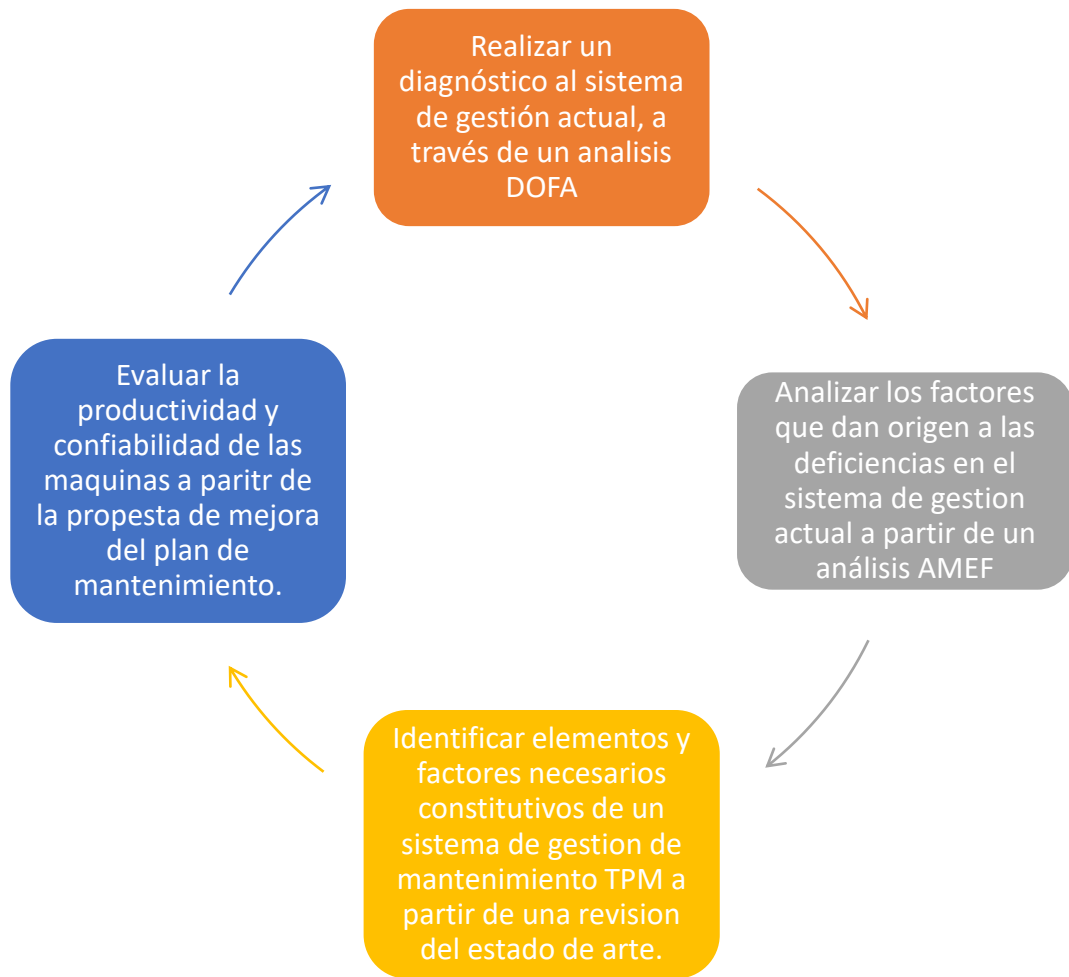
Actividad 3: Elaborar formatos de registro y seguimientos al diseño del sistema de gestión basado en la metodología TPM.

5.4. FASE IV. Evaluar la productividad y confiabilidad de las maquinas a partir de la propuesta de mejora del plan mantenimiento.

Actividad 1: Análisis estadísticos del sistema de gestión de mantenimiento TPM desarrollado.

Actividad 2: Evaluar el funcionamiento a través de indicadores de gestión y herramientas contables del nuevo sistema de gestión con respecto al anteriormente aplicado.

Figura 4 Proceso Curvo del plan de trabajo.



6. RECOPIACION Y ANALISIS DE INFORMACION

En este capítulo, se relacionan todos los equipos que están incluidos en el plan de mantenimiento y que son alquilados con un operador de la compañía (Tabla 1). Se realizará una breve descripción de los mismos y unas definiciones técnicas que se debe tener en cuenta para su mantenimiento.

De manera general, los equipos cuentan con tres sistemas: eléctrico, mecánico e hidráulico, como otros solo cuentan con dos de estos tres sistemas como lo son el mecánico y el hidráulico.

A continuación, se muestra la tabla 1 el inventario general de los equipos.

Tabla 1. Inventario General de Equipos.

Inventario de Equipos						
ITEM	EQUIPO	FAMILIA	MARCA	MODELO	SERIE	Nº INTERNO
1	COMPRESOR	3	KAESER	M50	1103	4
2	COMPRESOR	3	KAESER	M50	1009	5
3	COMPRESOR	3	KAESER	M57	1030	6
4	COMPRESOR	3	KAESER	M57	1004	7
5	COMPRESOR	3	ROTAIR	53K	39510	8
6	COMPRESOR	3	ROTARI	53K	39515	10
7	MINICARGADOR	8	NEW HOLLAND	L220	NCM456154	1
8	MINICARGADOR	8	NEW HOLLAND	L220	NCM456130	2
9	VIBROCOMPACTADOR	17	INGERSOLL RAND	DX70	KD7074	1
10	VIBROCOMPACTADOR	17	MULTIQUIP	MRH601	D1041	1
11	VIBROCOMPACTADOR	17	MULTIQUIP	AR13	260305	1
12	VIBROCOMPACTADOR	17	MULTIQUIP	AR13	140608	4
13	VIBROCOMPACTADOR	17	MULTIQUIP	AR26	70021009	1
14	VIBROCOMPACTADOR	17	INGERSOLL RAND	SX17	KS1069	1
15	VIBROCOMPACTADOR	17	MULTIQUIP	PR8H	81201005	2

6.1. COMPRESOR

Este tipo de Compresor consiste básicamente en dos rotores helicoidales situados dentro de la carcasa de la bomba. Por su movimiento absorben gas que posteriormente se comprime dentro de la cámara helicoidal formada entre los rotores y la carcasa. Los rotores difieren en su forma de manera que ajusten entre si formando un cierre hermético por el cual no pueda escapar el gas al ser comprimido¹⁹.

Este equipo es de gran utilidad ya que tiene varias aplicaciones como es sandblasting, martillos neumáticos, etc.

Figura 5. Compresor Rotair 53K, Fuente: Propia.



Para el caso de la empresa Equicaribe S.A., este cuenta con dos compresores marca Rotair modelos MDVN 53K, dos marcas Kaeser modelos M57 y dos más Marca Kaeser modelos M50.

¹⁹ Bravo and Castro.

De manera general y para efectos del mantenimiento, se han identificado cinco subsistemas, los cuales a su vez cuentan con aspectos o componentes básicos que se deben considerar en el plan a proponer, pues de ellos depende el correcto funcionamiento del equipo.

6.1.1. Sistema de motor. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de las correas, filtros, aceites, válvulas, filtros, soporte del motor, mangueras, radiador e inyectores.

6.1.2. Sistema mecánico. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de las llantas, patas, llanta de soporte, controles de enganche, pernos, arandelas y tuercas.

6.1.3. Sistema unidad compresora. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de los filtros, aceite y coupling.

6.1.4. Sistema eléctrico. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de la batería, cableado, luces y testigos del tablero.

6.1.5. Sistema de enfriamiento. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado del líquido refrigerante.

6.2. MINICARGADORES

Equipo de trabajo de gran movilidad que se utiliza para la carga de material granular o similar a través de una pala, mediante el movimiento de los brazos que elevan, transporta y descargan materiales.

Para el caso de la empresa Equicaribe S.A, esta cuenta con dos Minicargadores marca New Holland, modelos L220 con capacidad de carga de 1 Ton.

Figura 6. Minicargador New Holland L220, Fuente Propia.



De manera general y para efectos del mantenimiento, se han identificado ocho subsistemas, los cuales a su vez cuentan con aspectos o componentes básicos que se deben considerar en el plan a proponer, pues de ellos depende el correcto funcionamiento del equipo.

6.2.1. Sistema de motor. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de correas, aceites, filtros, válvulas, soportes de motor, mangueras, radiador e inyectores.

6.2.2. Sistema mecánico. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de la barra de seguridad, pedales, controles de enganche, pernos, arandelas, tuercas, estados de los neumáticos y eje de dirección.

6.2.3. Sistema hidráulico. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de la tapa del respiradero del depósito, aceites, enfriador, cilindros hidráulicos y partes cromadas.

6.2.4. Sistema de frenos. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado operación del freno de estacionamiento.

6.2.5. Sistema eléctrico. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de la batería, cableado, terminales de la batería, luces, testigos del tablero y sistema BICS.

6.2.6. Sistema carrocería y cabina. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de pasadores, bujes, cable de aceleración, asiento y maquinaria en general.

6.2.7. Sistema de transmisión. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado del aceite y las cadenas.

6.2.8. Sistema de enfriamiento. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de circulación del aire.

6.3. VIBROCOMPACTADORES

Maquina autopropulsada compuesta por dos o un cilindro o masas diseñada para aumentar la densidad de los materiales por: Peso estático, impacto, vibración o amasado.

Figura 7. Vibrocompactador AR-13 Multiquip. Fuente Propia.



Esta máquina también es llamada rodillo vibratorio o compactador de tierra, ya que su función principal es compactar los materiales, pero debido a un sistema auxiliar de vibración para mejorar la compactación ha tomado dicho nombre. Su herramienta principal es el rodillo de gran diámetro y peso.

Funciones:

- Compactar tierra.
- Aplanar tierra o asfalto.

Para el caso de la empresa Equicaribe S.A., esta cuenta con dos Vibrocompactadores AR-13 marca Multiquip de 1,5 Ton, un Vibrocompactador AR-26 marca Multiquip de 2.5 Ton, estos anteriormente mencionados con operador a bordo bicilindricos. Por otra parte, consta también con dos Vibrocompactadores Modelos DX-70 y SX-17 monocilindro de Ingersoll Rand con capacidad de compactación de 1 Ton y 700 Kg respectivamente y por ultimo de un

Vibrocompactador Monocilindro marca Multiquip Modelo PR8H con capacidad de compactación de 1 Ton, estos anteriormente mencionados con operador a pie.

De manera general y para efectos del mantenimiento, se han identificado cuatro subsistemas, los cuales a su vez cuentan con aspectos o componentes básicos que se deben considerar en el plan a proponer, pues de ellos depende el correcto funcionamiento del equipo.

6.3.1. Sistema de motor. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de correas, aceites, filtros, válvulas, soportes de motor, estribo antivuelco, sistema de vibración, pernos, arandelas y tuercas.

6.3.2. Sistema hidráulico. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de aceites, filtros y mangueras.

6.3.3. Sistema eléctrico. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado de la batería, cableado, terminales de la batería, luces y testigos del tablero.

6.3.4. Sistema de enfriamiento. En este sistema se debe considerar para el plan de mantenimiento el estado del líquido refrigerante.

7. MODELO PROPUESTO

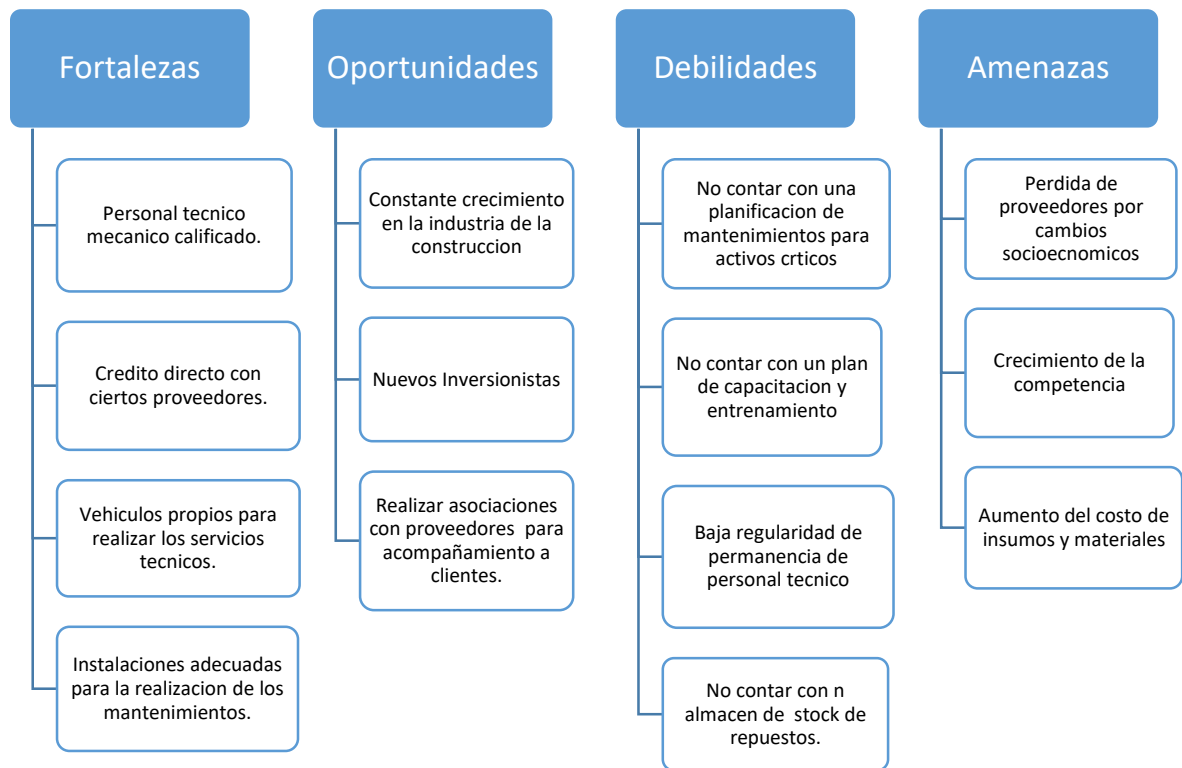
7.1. FASE I: Realizar un diagnóstico al sistema de gestión actual de mantenimiento de la empresa, a través de un análisis DOFA.

El análisis DOFA, es una herramienta de gestión que permite crear una planificación estratégica empresarial para el aprovechamiento de oportunidades y disminuir las debilidades de una compañía. Esta herramienta permitirá dar una visión clara de los aspectos internos que interfieren dentro de la gestión de la compañía.

Cabe aclarar que las fortalezas y debilidades son los factores internos y que las amenazas y oportunidades se consideran factores externos.

A partir de esto, se realizó un análisis de este tipo para enfocarnos en los factores internos del sistema de gestión actual en la compañía,

Tabla 2. Análisis DOFA de la empresa Equicaribe S.A, Fuente Propia.



7.2. FASE II: Analizar los factores que dan origen a las deficiencias en el sistema de gestión actual a partir de un Análisis de Modo de efecto de Falla (AMEF).

El sistema de gestión de mantenimiento que se está realizando en la compañía actualmente no ayuda a reducir los fallos en los equipos. Por tal motivo se propone un análisis de modo y efecto de fallas que ayude a predecir y prevenir los posibles fallos que puedan presentarse en los mismos.

Es por ello que se debe establecer tiempos de medición para analizar cuáles son los orígenes de las deficiencias presentes en el sistema que se está manejando.

La utilización del AMEF servirá para la mejora continua de los procesos operacionales futuros de mantenimiento, mediante el uso de documentación

histórica a través del AMEF se podrá conocer las fallas más recurrentes de las maquinas aumentando la confiabilidad y su ciclo de vida útil, reduciendo costos.

Se considera AMEF una herramienta completa, ya que puede hallar posibles causas en los fallos en los equipos especialmente críticos. Como también en los sistemas de gestión a evaluar.

7.3. FASE III: Identificar elementos y factores necesarios constitutivos de un sistema de gestión de mantenimiento TPM a partir de una revisión del estado de arte.

7.3.1. Mantenimiento Autónomo. Este tipo de mantenimiento se basa en la participación de los operadores que están relacionados en actividades con las máquinas. Estos están encargados de prevenir el deterioro de la misma, medir el deterioro cuando se presente y restaurar el deterioro si no necesita de una mano de obra calificada.

Este mantenimiento es aplicado cuando el personal operativo ya presente participa en su implementación, siendo esta la primera etapa en el desarrollo del mantenimiento.

7.3.2. Tarjetas de activos. Consiste en crear tarjetas de activo con la información específica de los equipos para los operadores, las mismas contienen datos generales. A esto se le puede tomar referencia directa las fichas técnicas la cual viene en el momento en el que se realiza su adquisición o su alquiler, esta muestra recomendaciones para las operaciones que se van a realizar con el equipo.

Los datos generales pueden ser:

- Imagen del equipo
- Modelo

- Serie
- Ubicación
- Fabricante
- Proveedor

Y como datos operativos se toma en cuenta:

- Año de fabricación
- Tiempo de garantía
- Vencimiento de la garantía
- Función del equipo

Utilizar una tarjeta de activo conllevaría a tener un conocimiento del activo con solo revisar la ficha técnica, permitiéndole a los operadores conocer más del equipo y fomentar el mantenimiento autónomo²⁰.

7.3.3. Listas de Chequeo. Las listas de chequeo son una herramienta de información importante que ayuda a detectar posibles fallos que puedan presentarse en los equipos.

Los componentes de la lista se basan mediante una inspección visual en las que se detecta anomalías mecánicas. Mediante estas inspecciones, se obtendrá un porcentaje de aceptación y de no aceptación del equipo. De acuerdo a este porcentaje y de las observaciones dentro de la lista acerca del estado de la máquina, este entraría en mantenimiento de manera prioritaria.

²⁰ Julio Issac Jara Chevez, 'Diseño de Un Sistema de Gestión y Control de Operaciones Basado En Metodología TPM, Para La Compañía Soldadura & Montaje Moscos S. A.' (Universidad Politécnica Salesiana Sede Gayaquil, 2015).

Tomando en cuenta la actividad que realiza la empresa este sistema propone crear un grupo encargado de la revisión y verificación de los porcentajes de no aceptación de las máquinas. El anexo 1 se muestra una de las listas de chequeo utilizadas en la compañía.

7.3.4. Áreas administrativas. Como se sabe, este es un sistema de gestión, es parte vital la integración de los departamentos de la compañía, ya que un área siempre va a necesitar de la otra complementándose y para realizar una gestión de manera afectiva.

Por ello se incurre al desarrollo potencial de los departamentos y reducir reprocesos en la gestión, para así cumplir con los objetivos realizados por mantenimiento.

7.3.5. Capacitación de nueva mano de obra. Las capacitaciones deben ser sugeridas por las jefaturas acorde a las necesidades o déficit encontrados dentro del personal operativo. El plan de capacitaciones aborda los puntos que involucra el sistema de gestión y control de operaciones.

El entrenamiento y capacitación puede ser suministrado por proveedores de materiales y equipos, personal especializado de la misma compañía o por instituciones técnicas como el SENA.

El principal objetivo de este plan de capacitación es reforzar y dar a conocer como la eficiencia de las operaciones se pueden llevar a cabo por medio de entrenamientos convenientes que van asociados directamente con este sistema de gestión.

7.4. FASE IV: Evaluar la productividad y confiabilidad de las maquinas a partir de la propuesta de mejora del plan mantenimiento.

Los minicargadores de la empresa frecuentemente presentan fallas en el sistema de transmisión con las llantas ya que estas al ser sellomaticas muchas veces pierden la presión de aire debido a pinchaduras sufridas por condiciones y elementos en el suelo de las obras en que se utilizan, además suele presentarse que por golpes sufridos en los rines se pierde la hermeticidad de la misma. Estas fallas nos representan el 60% de las fallas totales de los minicargadores. Se ha considerado utilizar llantas macizas para darle mayor disponibilidad del equipo en obra, pero está en etapa de evaluación por costos y tiempo de retorno de la inversión.

También se tienen fallas en el sistema mecánico con los bujes y pines de la pala y la porta herramienta por desgaste excesivo, nos representa un 20% de las fallas totales.

En el equipo con número interno 1, se presentó una falla con la bomba hidráulica, donde hubo necesidad de realizar reparaciones a piezas internas por desgaste esta falla fue eventual pero significativa por los tiempos de respuesta de los proveedores ante la solicitud de piezas fabricadas y repuestos de casa matriz.

Los vibrocompactadores son los equipos que mayor trabajo generaron al departamento porque los modelos AR13 presentaron fallas en el sistema hidráulico específicamente la parte de la dirección con el orbitrol, los cuales se presentaron por desgaste en sellos, orings y retenedores. Con los modelos AR 26 se viene presentando un aumento en las fallas de la bomba de combustible y alta consumo en los filtros de combustibles por suciedad en el mismo, esto se debe a que los equipos que se entregan en obras y proyectos el cliente es el encargado de suministrar el combustible para su funcionamiento y este muchas veces no es de la mejor calidad contaminación. Al presentar estos problemas con las bombas de combustibles, nos genera que el equipo en muchas ocasiones es accionado en repetidas ocasiones para encender forzando y recalentando el motor de arranque

por desconocimiento, presentando problemas en su parte eléctrica por cortos generados.

Los compresores las reparaciones más significativas son ocasionadas por daños en la carrocería al recibir golpes en los traslados de los equipos y permeancia en obras, acaparando un 40% de las fallas totales. Se tienen fallas esporádicas en los sistemas de transmisión por rotura de acople entre motor y unidad, muchas veces por cristalización de los elastómeros en los acoples.

Con esta información nuestros esfuerzos están centrados en reducir esas fallas significativas y esporádicas por medio de rutinas y planes de mantenimiento para garantizar la confiabilidad de los equipos en obra y proyectos tanto la disponibilidad de los mismos en patio, por medio de la colaboración del personal operativo garantizando un trabajo conjunto con las áreas de apoyo como logística y compras.

8. CONCLUSIONES

La empresa no posee un sistema de gestión de mantenimiento adecuado que integre y complemente de manera efectiva el estado óptimo de sus máquinas con respecto al uso y la salud y seguridad de los trabajadores debido al poco compromiso que se tiene por parte de los operadores, esto dejando brechas en cuanto a la calidad del servicio a los clientes y a la confiabilidad de los equipos durante su presencia en las obras.

El mantenimiento que se realiza dentro de la empresa es netamente correctivo, y en los equipos con horómetros se lleva una gama de mantenimiento la cual a pesar de tener claridad en lo que se debe realizar, no se cumple en los tiempos establecidos debido al uso productivo que se tiene de la máquina y la necesidad del cliente.

Es por ello que se logra implementar un sistema de gestión de mantenimiento como lo es el TPM, el cual vincula a los operadores de las maquinas a ser el primer filtro en la confiabilidad que deben tener los equipos en obra. Todo esto con el apoyo de la jefatura de mantenimiento, y la creación de listas de chequeo y recomendaciones de uso, las cuales le permiten al operador como al cliente llevar un control más clarificado del estado en el que se encuentra la máquina, reduciendo tiempos de parada y costos por mantenimientos correctivos.

Se recomienda implementar un software conteniendo toda la información levantada por medio del sistema de gestión y control, para mejorar la integración de las áreas, teniendo un mejor control de sus materiales y del estado de sus máquinas y desempeño laboral.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta Martinez, Sandra Liliana, and Laura Gonzalez Acendaño, 'Propuesta de Mantenimiento Productivo Total (TPM), En El Proceso de Sacrificio de Equinos En La Empresa Finda Los Cristales LTDA Ubicada En Mosquera.', *Universidad Agustiniana* (Universidad Agustiniana, 2017)
- Aguiar, Leonardo, and Hender Rodríguez, 'Análisis de Modos y Efectos de Falla Para Mejorar La Disponibilidad Operacional En La Línea de Producción de Gaseosa N°3' (Universidad Libre de Colombia, 2014)
- Amfe, Antecedentes D E L, 'Análisis de Modos de Falla y Sus Efectos', ed. by Fernando Scarpatti (Cordoba, Argentina: Scarpatti y Asociados, 2010), p. 22
- Arango, Jhonatan, 'Diseño de Un Plan de Mantenimiento Preventivo Para Maquinaria Pesada y Vehículos de La Empresa Nema Ingeniería' (Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, 2018)
- Ardila Marín, Juan Gonzalo, María Isabel Ardila Marín, David Rodríguez Gaviria, and Diego Andrés Hincapié Zuluaga, 'La Gerencia Del Mantenimiento: Una Revisión', *Dimensión Empresarial*, 14 (2016), 129
<<https://doi.org/10.15665/rde.v14i2.480>>
- Becerra, Maledis, and Yira Bohorquez, 'Diseño e Implementación de Un Programa de Mantenimiento Preventivo Para La Maquinaria de La Empresa Mejías Villegas Constructores S.A.' (Universidad de Cartagena, 2007)
- Bravo, Hernando, and Luis Castro, 'Plan de Mantenimiento Preventivo de Maquinaria Pesada de La Empresa INSER S.A.S.' (Universidad Tecnológica de

Bolivar, 2012)

Buelvas, Camilo, and Kevin Martinez, 'Elaboración de Un Plan de Mantenimiento Preventivo Para La Maquinaria Pesada de La Empresa L&L' (Universidad Autónoma del Caribe, 2014)

Espinosa, Fernando, 'Pequeñas Charlas Para Gestión Del Mantenimiento, Fernando Espinosa Fuentes.', in *Pequeñas Charlas Para Gestión Del Mantenimiento.*, ed. by Fernando Espinosa (Cali, 2013), p. 17

Jara Chevez, Julio Issac, 'Diseño de Un Sistema de Gestión y Control de Operaciones Basado En Metodología TPM, Para La Compañía Soldadura & Montaje Moscos S. A.' (Universidad Politecnica Salesiana Sede Gayaquil, 2015)

Maldonado, Hernan, and Luis Siguensa, 'Propuesta de Un Plan de Mantenimiento Para Maquinaria Pesada de La Empresa Minera Dynasty Mining Del Catón Porto Veló' (Unviersidad Politecnica Salesiana, 2012)

Mansilla Del Valle, Natalia Leandra, 'Aplicación De La Metodología De Mantenimiento Productivo Total (Tpm) Para La Estandarización De Goma De Mascar En Una Industria Nacional' (Universidad de Chile, 2011)

MUÑOZ, HERNANDO VERA, 'Aplicación de La Metodología Análisis Causa Raíz (RCA). Para La Eliminación de Un Mal Actor En Equipos Críticos de La SOM - ECOPETROL S.A' (Universidad Industrial de Santander, 2011)
<<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>>

Pomorski Thomas R., 'Mantenimiento Productivo Total', 2014, 28

Rojas Rangel, Maria Fernanda, 'IMPLEMENTACIÓN DE LOS PILARES TPM (Mantenimiento Total Productivo) DE MEJORAS ENFOCADAS Y MANTENIMIENTO AUTÓNOMO, EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN OFIXPRES S.A.S.' (Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2011) <<https://doi.org/10.1007/s00271-007-0088-6>>

SCO, 'Metodología de Análisis Causa Raíz (ACR).', *Aprendizaje Virtual*, 3 (2012), 31

Suzuki, Tokutarö, *TPM En Industrias de Proceso*, ed. by Marques de Cubas, TGP Hoshin (Madrid, 1995)

ANEXOS

Anexo 1. Lista de Chequeo de Mantenimiento Clientes, Fuente Propia

		LISTA DE CHEQUEO MANTENIMIENTO		Mmto - 011
FECHA:		MOTOR: Diesel		
EQUIPO: Minicargador New Holland L220		CLIENTE:		
SERIAL:		OBRA:		
# INTERNO:				
Descripción	CHECK		OBSERVACIONES	
	SI	NO		
1. Revisión del panel de instrumentos (Equipo encendido)				
2. Revisión Nivel de aceite de motor				
3. Revisión Nivel de aceite Hidráulico				
4. Nivel de combustible (Indicar si es aceptable)				
5. Revisión tapa de combustible (No exista derrame)				
6. Revisión Nivel de Refrigerante				
7. Revisión filtro de aire: Libre de partícula				
8. Revisión Filtro de Combustible				
9. Revisión correas (Libre grietas y ajustada)				
10. Revisión de Baterías				
11. Revisión de Guarda de Seguridad (Ventilador)				
12. Inspección de estructura general (Tornillos, pernos, etc.)				
13. Inspección visual de mangueras internas				
14. Revisión de Llantas (Presión 35PSI)				
15. Revisión de Porta Herramientas (Seguros)				
16. Revisión de Luces (Encendido y apagado)				
17. Revisión de Pito de reversa				
18. Prueba de funcionamiento y puesta a punto.				
OBSERVACIONES				
Inspección elaborado por:			V.B.	
C.C.			C.C.	
Equicaribe comprometidos en su seguridad y en el apoyo del sistema de gestión (SG-SST) le enviamos este formato " Lista de Chequeo de Mantenimiento " para el control, seguridad del operador y el buen uso de la maquina. (NTC N°4114)				

Anexo 2. Lista de Chequeo de Mantenimiento Operador. Fuente Propia

 LISTA DE CHEQUEO MANTENIMIENTO - OPERADOR																															Mmto - 011	
FECHA:																																
EQUIPO: Minicargador New Holland L220																															MOTOR: DIESEL	
SERIAL:																															CLIENTE:	
# INTERNO:																															OBRA:	
	MES:																															
Descripción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	OBSERVACIONES
1. Revisión del panel de instrumentos (Equipo encendido)																																
2. Revisión Nivel de aceite de motor																																
3. Revisión Nivel de aceite Hidraulico																																
4. Nivel de combustible (Indicar si es aceptable)																																
5. Revisión tapa de combustible (No exista derrame)																																
6. Revisión Nivel de Refrigerante																																
7. Revisión filtro de aire: Libre de partícula																																
8. Revisión Filtro de Combustible																																
9. Revisión correas (Libre grietas y ajustada)																																
10. Revisión de Baterías																																
11. Revisión de Guarda de Seguridad (Ventilador)																																
12. Inspección de estructura general (Tornillos, pernos, etc.)																																
13. Inspección visual de mangueras internas																																
14. Revisión de Llantas (Presión 35PSI)																																
15. Revisión de Porta Herramientas (Seguros)																																
16. Revisión de Luces (Encendido y apagado)																																
17. Revisión de Pito de reversa																																
18. Prueba de funcionamiento y puesta a punto.																																
OBSERVACIONES																																
Inspección elaborado por:																															V.B	
C.C.																															C.C.	
<i>Equicaribe comprometidos en su seguridad y en el apoyo del sistema de gestión (SG-SST) le enviamos este formato " Lista de Chequeo de Mantenimiento " para el control, seguridad del operador y el buen uso de la maquina. (NTC N°4114)</i>																																

Anexo 3. Recomendaciones para el buen uso. Cliente Fuente Propia.

 EQUICARIBE S.A.	Recomendaciones para el buen uso. Aceptación del equipo.
Equipo: Compresor Kaeser M-50/M-57.	
	
En línea con la responsabilidad de nuestra compañía estamos enviando un Recordatorio con respecto al buen uso y aceptación de los compresores que usted está utilizando en su obra.	
Características Generales:	
• Motor diésel de 41 hp 3000 rpm(M-50) 42.9 hp 2600 rpm (M-57). • Capacidad tanque de combustible 21 gal (M-50) 28 gal (M-57). • Unidad compresora con caudal de 185/210 cfm (M-50/M-57) presión de trabajo 100psi.	
Recomendaciones para su uso.	
• Revise el nivel de aceite del motor, refrigerante, aceite unidad, agua para batería y/o combustible (a.c.p.m) diariamente. Se deben nivelar de acuerdo al indicador requerido (no encienda el motor puede causar daños al equipo). • Accione el switch (1/0) que se encuentra dentro de la cabina. • Para encender el motor accionar el switch en modo precalentamiento por un tiempo de 5 a 10 segundos luego dar START. • Nunca abra las válvulas de salida (Aire) al momento de encender el equipo ya que causa desgaste prematuro en las partes internas del motor. • Deje el motor por lo menos 5 minutos en baja revolución antes de comenzar su operación. • Accione el botón impulsador este libera el aire de la unidad por las válvulas. • Conecte los acoples de las mangueras correctamente para que no haya pérdida de presión en el sistema. • El equipo debe ser operado por personal de EQUICARIBE. • Evite colocar las manos en las válvulas cuando estén abiertas esto puede causar lesiones. • Si el equipo presenta ruido y averías se debe apagar e informar a nuestra compañía de inmediato. • El compresor se debe operar con las puertas cerrada así evitaremos entradas de objetos que causen daños en su interior. • Revisar medidas preventivas del martillo neumático antes de su uso.	
En caso que este equipo sea regresado en defectuosas condiciones técnicas y de aseo, se generarán costos de servicio técnico desde \$217,300, por día.	
Recibido a satisfacción.	
• Cliente: • Fecha de entrega: • No. Remisión: • No. Equipo: • Firma y sello:	