



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LOS
ENFOQUES TPM Y RCM, PARA OPTIMIZAR LAS OPERACIONES Y PROCESOS DE UNA
PLANTA DE TRANSFORMACIÓN DE GRANOS BÁSICOS UBICADA EN LA
REGIÓN NORTE DE GUATEMALA**

Edwin Alfonso Fuentes Fuentes

Asesorado por Mtro. Mario Francisco Rousselin Sandoval

Guatemala, octubre 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LOS
ENFOQUES TPM Y RCM, PARA OPTIMIZAR LAS OPERACIONES Y PROCESOS DE UNA
PLANTA DE TRANSFORMACIÓN DE GRANOS BÁSICOS UBICADA EN LA
REGIÓN NORTE DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDWIN ALFONSO FUENTES FUENTES

ASESORADO POR MTRO. MARIO FRANCISCO ROUSSELIN SANDOVAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alvaro Antonio Avila Pinzón
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortíz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LOS
ENFOQUES TPM Y RCM, PARA OPTIMIZAR LAS OPERACIONES Y PROCESOS DE UNA
PLANTA DE TRANSFORMACIÓN DE GRANOS BÁSICOS UBICADA EN LA
REGIÓN NORTE DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha noviembre de 2022.

Edwin Alfonso Fuentes Fuentes



EEPFI-PP-1887-2022

Guatemala, 11 de noviembre de 2022

Director
Gilberto Morales Baiza
Escuela De Ingenieria Mecanica
Presente.

Estimado Ing. Morales

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LOS ENFOQUES TPM Y RCM PARA OPTIMIZAR LAS OPERACIONES Y PROCESOS DE UNA PLANTA DE TRANSFORMACIÓN DE GRANOS BÁSICOS UBICADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Área de Operaciones - Optimización de operaciones y procesos**, presentado por el estudiante **Edwin Alfonso Fuentes Fuentes** carné número **200313109**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestion Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

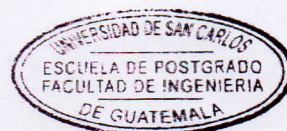
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Mario Francisco Rousselin Sandoval
Asesor(a)



Mtro. Carlos Humberto Aroche Sandoval
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIM-1532-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LOS ENFOQUES TPM Y RCM PARA OPTIMIZAR LAS OPERACIONES Y PROCESOS DE UNA PLANTA DE TRANSFORMACIÓN DE GRANOS BÁSICOS UBICADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Edwin Alfonso Fuentes Fuentes**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Gilberto Morales Baiza
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica

Guatemala, noviembre de 2022

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.693.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LOS ENFOQUES TPM Y RCM, PARA OPTIMIZAR LAS OPERACIONES Y PROCESOS DE UNA PLANTA DE TRANSFORMACIÓN DE GRANOS BÁSICOS UBICADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA**, presentado por: **Edwin Alfonso Fuentes Fuentes**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.

Guatemala, octubre de 2023

JFGR/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Ser Supremo y Amoroso, en quién regocijo mi corazón. Manantial de inspiración, sabiduría y fortaleza en mi vida.
Mis amados padres	Alfonso Avelino Fuentes y Elida Celeste Fuentes, pilares de mi vida, mi razón de ser. Por su inmenso amor, ejemplo, consejo, enseñanzas, comprensión, paciencia y apoyo incondicional. Los Amo.
Mis queridos hermanos	Francisco, Fredy y Cristhiam Fuentes, piezas fundamentales en mi vida que están siempre a mi lado apoyándome.
Mis adorables sobrinos	Lindsay, Victoria, Jeremy y Jessica Fuentes, fuente de vida y alegría en nuestro hogar.
Denzel y Pablo Marroquín Sintuj	Personas importantes en mi vida, para que este logro sea fuente de inspiración y superación.
Mis tíos y primos	Por su apoyo y consejo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	<i>Alma mater</i> que me abrió sus puertas para brindarme educación profesional.
Facultad de Ingeniería	Casa de estudios en cuyas aulas y pasillos recibí la formación y conocimiento para desarrollarme en el ámbito laboral.
Grupo de Oración Central Inmaculada Concepción	Por ser la guía espiritual que me dio a conocer el amor de Dios desde mi niñez.
Mis amigos de facultad	Por la ayuda y experiencias vividas durante nuestra época estudiantil, en especial a José Portillo, Allan Cantoral, Luis Gaborit, Luis Mario López y Luisa Yat.
Lilia Sintuj Catalán	Por el aprecio y apoyo en momentos difíciles.
Ing. Mario Rousselin	Por su asesoría en el presente trabajo de graduación.
Licda. Lesly Mujo	Por su amistad y cariño, brindándome su apoyo incondicional y consejo que fueron claves para la obtención de este logro.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Descripción de problema.....	9
3.2. Formulación del problema	10
3.2.1. Pregunta central	10
3.2.2. Preguntas de investigación.....	10
3.3. Delimitación del estudio.....	10
3.3.1. Límite temporal	11
3.3.2. Límite geográfico	11
3.3.3. Límite espacial.....	11
3.4. Viabilidad	11
3.5. Consecuencias de realizar la investigación	12
3.5.1. De realizarse.....	12
3.5.2. De no realizarse.....	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15

5.1.	General	15
5.2.	Específicos.....	15
6.	NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7.	MARCO TEÓRICO	19
7.1.	Antecedentes de la empresa.....	19
7.1.1.	Ubicación.....	19
7.1.2.	Giro de negocio	20
7.2.	Mantenimiento.....	20
7.2.1.	Finalidad del mantenimiento.....	21
7.2.2.	Sistema de mantenimiento	22
7.2.3.	Tipos de mantenimiento	24
7.2.3.1.	Mantenimiento no planificado o emergente	25
7.2.3.2.	Mantenimiento planificado.....	26
7.2.3.2.1.	Mantenimiento preventivo	27
7.2.3.2.2.	Mantenimiento correctivo planificado	28
7.2.3.2.3.	Mantenimiento predictivo	29
7.3.	Herramientas y enfoques de gestión de mantenimiento	30
7.3.1.	Metodología 5S	31
7.3.2.	Mantenimiento productivo total (TPM).....	32
7.3.2.1.	Pilares del TPM	35
7.3.3.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	36
7.3.3.1.	Pasos para implementar el RCM.....	38

7.3.4.	Indicadores clave de desempeño (KPI) en el área de mantenimiento	39
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	43
9.	METODOLOGÍA.....	47
9.1.	Enfoque	47
9.2.	Diseño	47
9.3.	Tipo	48
9.4.	Alcance.....	48
9.5.	Variables e indicadores	48
9.6.	Matriz de consistencia	51
9.7.	Fases de la investigación	52
9.8.	Población y muestra	53
9.9.	Técnicas y metodología.....	54
9.9.1.	Observación.....	54
9.9.2.	Entrevistas	54
9.9.3.	Grupos de enfoque	55
9.10.	Resultados esperados	55
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	57
10.1.	Diagrama de Pareto	57
10.2.	Diagrama de Ishikawa	57
10.3.	Distribuciones de frecuencia, histogramas y gráficas de tendencia.....	57
11.	CRONOGRAMA.....	59
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	61

REFERENCIAS63

APÉNDICES.....67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de la empresa.....	20
2.	Sistema típico de mantenimiento	22
3.	Relación de mantenimiento–producción	23
4.	Clasificación de mantenimiento.....	25
5.	Las seis grandes pérdidas	33
6.	Relación entre indicadores.....	41
7.	Cronograma de actividades	59

TABLAS

I.	Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo	30
II.	Las 5S	31
III.	Los doce pasos para implementar el TPM	34
IV.	Beneficios del RCM.....	37
V.	Matriz de consistencia.....	51
VI.	Recursos necesarios para la investigación.	61

GLOSARIO

Avería	Falla que impide el funcionamiento de un equipo.
Confiabilidad	Es el grado en el que un equipo produce resultados coherentes y consistentes.
Disponibilidad	Tiempo durante el cual un equipo puede operar adecuadamente.
Eficientizar	Optimizar o mejorar la eficiencia de un equipo.
Equipo	Se denomina así a la maquinaria de la empresa que se utiliza para producir.
KPI	<i>Key Performance Indicator.</i>
Mantenibilidad	Capacidad de un equipo para conservar o ser restaurado para que pueda realizar su función requerida.
Orden de trabajo	Documento que contiene las tareas de mantenimiento, ya sean rutinarias o no, para realizar en un equipo.

**Rutina de
mantenimiento**

Conjunto de actividades de mantenimiento que realiza un equipo.

RCM

Mantenimiento basado en la confiabilidad.

TPM

Mantenimiento productivo total.

RESUMEN

La presente investigación trata la problemática existente en una planta de transformación de granos básicos, ubicada en la región norte de Guatemala, con respecto a la falta de gestión y control de mantenimiento realizado en los equipos productivos. Esto implica efectuar un mantenimiento emergente por la repentina aparición de averías que afectan la disponibilidad de dichos equipos.

Dentro de la investigación se llevará a cabo la revisión documental existente, se observará la metodología utilizada para ejecutar las tareas de mantenimiento y a través del diseño. Se harán entrevistas a los colaboradores y reuniones en grupos de enfoque; se hará uso de estadística descriptiva para determinar el nivel y tipo de mantenimiento aplicado en la referida industria.

Se presentan los fundamentos teóricos referentes al mantenimiento, así como la herramienta de las 5S y los enfoques TPM y RCM, que servirán de base para desarrollar los elementos necesarios para llevar a cabo una adecuada gestión de mantenimiento, tales como, el catálogo de equipos, procedimientos y planes de mantenimiento, perfiles de puesto adecuados para el área de mantenimiento y el establecimiento de KPI para medir la eficiencia y eficacia de la gestión.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación de sistematización se lleva a cabo dentro de la línea de investigación de optimización de operaciones y procesos, en el área de operaciones de la Maestría en Gestión Industrial de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tiene como objetivo hacer un análisis de la problemática que se presenta en una planta de transformación de granos básicos, por la falta de registros y control en los mantenimientos realizados a los equipos operativos.

Es de vital importancia darle solución a este problema, ya que si no se tiene un seguimiento adecuado sobre el mantenimiento de los equipos, se puede incurrir en paros de producción de manera continua, que causarán tiempos altos de reparación que impactarán en la disponibilidad para producir y, por ende, en la rentabilidad de la empresa.

Se espera que con la realización de la investigación, el área de mantenimiento adquiera las herramientas indispensables para llevar a cabo una gestión de mantenimiento eficaz, que obtenga como resultado la conservación de los equipos en un estado óptimo de operación y confiabilidad; que cuente con los parámetros necesarios para medir su desempeño y eficientizarlo mediante la mejora continua.

Derivado del estudio de factibilidad y la metodología a seguir, se ha determinado que la investigación es viable, ya que se cuenta con todos los recursos necesarios para llevarla a cabo y se realizará en cuatro fases: una fase inicial, en la que se hará una revisión documental referente al área de

mantenimiento aplicado. En la segunda fase se realizará un diagnóstico de la situación de mantenimiento mediante recorridos en planta, entrevistas y grupos de enfoque; en la tercera fase se realizará el análisis de la información mediante estadística descriptiva y, una fase final, donde se desarrollará la solución a la problemática.

A continuación se presenta un breve extracto de lo presentado en cada capítulo del índice propuesto. En el capítulo uno, se define la importancia que tiene el mantenimiento en una planta industrial, así como los tipos de mantenimiento que se pueden aplicar, siendo el mantenimiento planificado el más recomendado para la conservación de los activos de la empresa. Se describen herramientas como la metodología 5S y los enfoques de Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), que complementan y permiten gestionar adecuadamente la ejecución, seguimiento y control de las actividades de mantenimiento que se realicen a los equipos. Adicionalmente, se describen los indicadores clave de desempeño (KPI), aplicables al área de mantenimiento que permiten medir el desempeño del área.

En el capítulo dos, se describe el desarrollo de la investigación desde la revisión documental, recopilación y análisis de la información hasta la propuesta de solución, la cual se basará en la estructuración del mantenimiento planificado. Se realizará el procedimiento de mantenimiento, catálogo de equipos y las rutinas de mantenimiento, así como el establecimiento de la periodicidad de las actividades, para obtener el programa de mantenimiento de los equipos de planta. Además, se establecerán los indicadores clave de desempeño, según las necesidades del área de mantenimiento.

En el capítulo tres se analizará y presentará la información resultante del desarrollo de la investigación. Por último, en el capítulo cuatro se discutirán los resultados y los beneficios obtenidos derivados de esta investigación.

2. ANTECEDENTES

Existen varias investigaciones de maestrías, enfocadas en metodologías para obtener métodos de gestión de mantenimiento óptimos, que proporcionan un control adecuado de las tareas relacionadas con la conservación de los equipos. A continuación, se hará referencia a algunas de ellas, que serán de gran aporte para la presente investigación.

En su investigación, Acevedo (2019) cita lo siguiente: “Como primer objetivo del mantenimiento preventivo, se encuentra mitigar las fallas que provoquen la discontinuidad de operación de los equipos, logrando prevenir las incidencias antes de que estas ocurran” (p. 9). Además, menciona los tipos de mantenimiento más comunes aplicados en la industria, tales como mantenimiento preventivo, mantenimiento de clase mundial y mantenimiento bajo condiciones, entre otros; así como los beneficios, ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo, lo cual es un aporte importante a esta investigación, ya que es uno de los temas centrales para el desarrollo de la misma.

Anaya (2020) diseñó en su tesis una propuesta para poner en práctica el TPM, para una entidad llamada Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, y concluyó que “el sistema de Mantenimiento Productivo Total, TPM, es una herramienta de mejora continua hacia un alto impacto en la reducción de las fallas de los equipos (...)” (p. 105). Este trabajo es de gran aporte a esta investigación porque brinda diferentes aspectos relevantes en la

implementación de este enfoque, tales como los pilares del TPM, 5S y los 12 pasos para la implementación del TPM.

De igual manera, la investigación de Castillo (2019) presenta los 12 pasos para establecer un sistema de gestión con base en el enfoque TPM, que servirá como aporte en esta investigación, para definir la secuencia que se debe seguir en el diseño del método de gestión de mantenimiento de este trabajo.

Asimismo, Herrera (2018) concluyó que por medio de la puesta en marcha de la metodología 5S en dos líneas de producción, tomadas como piloto, hubo una mejoría de 31 y 38 %, respectivamente, en la eficiencia global del equipo, lo cual sirve como base para demostrar que la utilización de esta herramienta es necesaria para eficientizar los procesos. Dicha herramienta será objeto de estudio en la investigación, ya que es parte fundamental de una gestión de mantenimiento exitosa.

La investigación de Zepeda (2018) es un valioso aporte para esta investigación, ya que hace énfasis en los indicadores clave de desempeño (KPI) en el proceso de mantenimiento. Es valioso mencionar la relevancia que tiene el contar con metas que permitan determinar el desempeño, conocer el rendimiento y tomar acciones, según los resultados obtenidos.

Adicionalmente, el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y las fases para implementarlo es abordado por Maya (2018), quien concluye:

Finalmente, la importancia de un sistema de mantenimiento adecuado puede verse traducida en grandes cifras de ahorro y rentabilidad para una empresa. Ya que permite reducir las pérdidas de una cadena productiva y optimizando el desempeño de los equipos y, además, facilita

cuantificar los gastos de mantenimiento, para llevar un control sobre ellos. (p. 76)

De manera que aporta una base estructurada para tomar en cuenta en el análisis del diseño de esta investigación, que busca obtener un método de gestión de mantenimiento eficaz.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

No se evidenció la existencia de registros y control de mantenimiento realizado en los equipos operativos, en una planta de transformación de granos básicos, ubicada en la región norte de Guatemala. Esto representa un alto riesgo de padecer tiempos de demora prolongados, por averías repentinas que afecten la disponibilidad de los equipos productivos.

3.1. Descripción de problema

Se detectó que durante el primer semestre del año 2022 no se llevó a cabo una adecuada gestión de mantenimiento para los equipos de la planta de transformación de granos, por la inexistencia de un departamento de mantenimiento, que permita establecer los parámetros necesarios para la conservación de los equipos de la planta. Esto ha evitado que se realicen rutinas de mantenimiento preventivo, lo que causa que los equipos sean intervenidos en el momento que se produce una falla. Estas fallas no están registradas en ninguna bitácora que contenga el historial, por lo que pueden darse de manera repetitiva sin atacar el problema de raíz.

A causa de lo anterior, no existen indicadores clave de desempeño que permitan tener una métrica y un parámetro establecido de tiempo y recursos a utilizar durante la ejecución de mantenimientos, ni una estrategia que permita la mejora continua en el área de mantenimiento. De igual forma, no existe un *stock* básico de repuestos críticos, lo cual incrementa el tiempo de paro en producción al producirse una falla en los equipos.

3.2. Formulación del problema

A continuación, se presentan las preguntas que ayudan a formular el problema, así como la ubicación y delimitación del problema.

3.2.1. Pregunta central

¿Cuál es el modelo de gestión de mantenimiento para optimizar las operaciones y procesos de una planta de transformación de granos básicos?

3.2.2. Preguntas de investigación

- ¿Cómo se lleva a cabo el control y ejecución de mantenimiento preventivo de los equipos de la planta de transformación de granos básicos?
- ¿Cuáles son los factores que influyen en la falta de ejecución y control de mantenimiento en los equipos?
- ¿Cuáles son los indicadores clave de desempeño en el área de mantenimiento de la empresa de transformación de granos básicos?

3.3. Delimitación del estudio

A continuación, se presenta la delimitación temporal, geográfica y espacial de la investigación a efectuar.

3.3.1. Límite temporal

La investigación se llevará a cabo a partir del mes de noviembre de 2022, y se finalizará en el agosto de 2023.

3.3.2. Límite geográfico

El estudio de investigación se realizará en una empresa de transformación de granos básicos, ubicada en la región norte de Guatemala.

3.3.3. Límite espacial

Se llevará a cabo en el área de mantenimiento de la empresa de transformación de granos básicos.

3.4. Viabilidad

Después de hacer el estudio de factibilidad y desarrollar la metodología que se utilizará para analizar la ejecución del mantenimiento de la planta de transformación de granos, se comprueba que se tienen todos los recursos necesarios para llevar a cabo la investigación, por lo cual se concluye que la investigación es viable.

3.5. Consecuencias de realizar la investigación

Las consecuencias de llevar a cabo la investigación son favorables, ya que permitirá tener una gestión adecuada para la conservación de los equipos.

3.5.1. De realizarse

De llevarse a cabo la investigación, se obtiene una estrategia adecuada para gestionar apropiadamente la ejecución y control del mantenimiento de los equipos, así como el establecimiento de indicadores clave de desempeño, que permitan medir el rendimiento e implementar la mejora continua en el departamento.

3.5.2. De no realizarse

De no realizarse la investigación, se incrementa el riesgo de aumentar el porcentaje de tiempos de paro de producción por mantenimiento correctivo, que ya se encuentra en un 85 % del total de actividades de mantenimiento, así como el deterioro prematuro de los equipos y largos tiempos de espera por compra de repuestos e insumos. Esto conllevará a obtener costos elevados por reparaciones y sustitución de equipos.

4. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se sitúa en la línea de optimización de operaciones y procesos, en el área de operaciones de la Maestría en Gestión Industrial de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ya que se enfocará en diseñar un modelo de gestión de mantenimiento, para optimizar las operaciones y procesos de una planta de transformación de granos básicos.

La necesidad de desarrollar esta investigación surge por la falta de control y ejecución de mantenimiento preventivo en los equipos, ya que posibilita el riesgo de tener paros de equipos por fallas mecánicas emergentes durante tiempos de producción, los cuales perjudicarían de manera súbita la operación de la planta.

La importancia de esta investigación radica en que es primordial contar con un modelo de gestión de mantenimiento, que permita la conservación de los equipos productivos mediante herramientas que brinden la confiabilidad necesaria, para operar sin riesgos de tener paros de producción. Si bien es imposible erradicar al 100 % todas las fallas, un modelo de gestión diseñado adecuadamente puede coadyuvar a minimizarlas.

La motivación para hacer esta investigación se basa en contar con un modelo de gestión, que brinde los estándares para efectuar un mantenimiento adecuado de los equipos, logrando así, reducir el porcentaje de mantenimiento correctivo, que se encuentra en un 85 % del total del mantenimiento realizado. De esa manera, se obtendrán periodos de producción con la menor cantidad de interrupciones por fallas mecánicas.

Los beneficios que se obtendrán con esta investigación son: tener rutinas de mantenimiento adecuadas para cada equipo, un *stock* de repuestos que permita que los tiempos de mantenimiento sean eficientes, áreas de trabajo ordenadas, indicadores clave de desempeño que proporcionen parámetros de medición y los conceptos básicos de la mejora continua en el proceso.

Los beneficiarios de contar con un modelo de gestión de mantenimiento serán: el personal del área de producción, ya que al tener un adecuado control del mantenimiento tendrán más tiempo disponible de máquina para producir; y el personal de mantenimiento, ya que podrán intervenir los equipos oportunamente y de forma eficiente y eficaz.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un modelo de gestión de mantenimiento basado en los enfoques TPM y RCM, para optimizar las operaciones y procesos de una planta de transformación de granos básicos, ubicada en la región norte de Guatemala.

5.2. Específicos

- Realizar un diagnóstico del control y ejecución de mantenimiento preventivo de los equipos de la planta de transformación de granos básicos.
- Definir los factores que influyen en la falta de ejecución y control de mantenimiento en los equipos.
- Determinar los indicadores clave de desempeño, en el área mantenimiento de la empresa de transformación de granos básicos.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Este estudio surge por la necesidad de contar con un diseño de modelo de gestión de mantenimiento, que permita tener registro, control y mejora continua en los mantenimientos realizados en los equipos operativos, de tal manera que la conservación de estos sea eficaz. Esto brinda la oportunidad de contar con mayor tiempo de máquina disponible para producir.

Lo anterior expuesto se debe a que en la metodología utilizada no se tiene control ni registro de las intervenciones realizadas a dichos equipos, dando como resultado acciones correctivas emergentes con tiempos elevados de reparación por la falta de planificación, lo cual disminuye su disponibilidad y compromete la operación de la planta de producción.

El esquema de solución de la presente investigación abarcará cuatro fases que se describen brevemente a continuación: en la fase uno se llevará a cabo la revisión documental del área de mantenimiento; la fase dos consiste en realizar un diagnóstico del control y ejecución de mantenimiento, que se realiza a los equipos mediante la observación y entrevistas al personal involucrado; en la fase tres se determinarán las herramientas necesarias para tener un modelo de gestión de mantenimiento eficaz y, en la fase cuatro, se establecerán los indicadores que permitirán evaluar el desempeño del departamento.

7. MARCO TEÓRICO

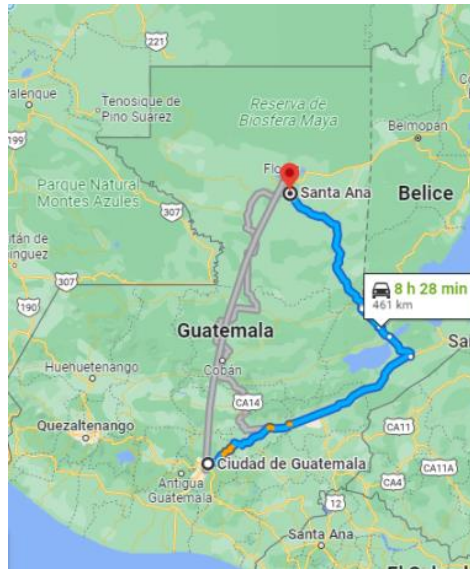
7.1. Antecedentes de la empresa

La empresa nace ante la necesidad que tienen los agricultores de proteger las cosechas de la humedad del ambiente, frecuentes lluvias y mal estado de los caminos, que plantean un serio desafío para cosechar, secar y almacenar los granos básicos. Inicia operaciones hace ocho años, como un aliado comprometido con los agricultores, conociendo los retos que estos afrontan.

7.1.1. Ubicación

Se encuentra ubicada a 461 kilómetros de la ciudad de Guatemala, con domicilio en la región norte del país, en el municipio de Santa Ana, departamento de Petén, como se puede observar en la figura 1.

Figura 1. **Ubicación de la empresa**



Fuente: *Mapa de Guatemala*. Google Maps (2023).

7.1.2. Giro de negocio

El principal giro de negocio es el servicio de laboratorio, secado, limpieza, almacenaje, ensacado y triturado de maíz. Adicionalmente, se tiene la venta de maíz blanco, amarillo y molido. Insumos para ganadería: harina de soya, sal y manía molida. Unidades de negocio adicionales: fabricación y empaque de cereales de desayuno y planta procesamiento de agua purificada.

7.2. Mantenimiento

El mantenimiento es de suma importancia y como tal, se conoce o se refiere al ejercicio de mantener o preservar algo en buen estado, que pueden ser equipos, maquinaria, instalaciones o cualquier objeto que pueda estar sujeto a tareas de mantenimiento. Según García (2003), lo define como “El conjunto

de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible y con el máximo rendimiento” (p.1). En este caso, el mantenimiento se enfocará exclusivamente en maquinaria o equipos industriales utilizados en plantas de producción.

Duffuaa, Raouf y Dixon (2000) establecen el mantenimiento como un conjunto de tareas que conllevan a los equipos a operar adecuadamente, cumpliendo con la calidad necesaria de los productos. Además, el mantenimiento también es vital dentro de la estrategia organizacional de las empresas, ya que al tener una alta disponibilidad en los equipos, los niveles de producción incrementarán, lo que permitirá tener mayor presencia en el mercado.

7.2.1. Finalidad del mantenimiento

A través del tiempo, las industrias que están bajo una creciente presión de la competencia se encuentran obligadas a alcanzar altos valores de producción, con exigentes niveles de calidad, cumpliendo con los plazos de entrega. Por tal razón, la finalidad del mantenimiento es restablecer y conservar los equipos operativos en un nivel óptimo, que permita la mayor efectividad en un sistema productivo.

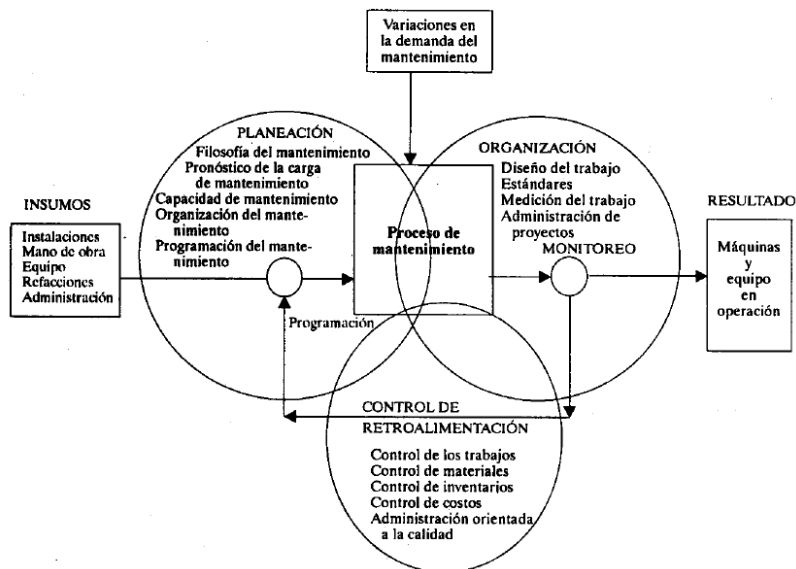
Para lograr lo anterior, el departamento de mantenimiento debe tener como objetivos: minimizar la frecuencia y severidad de las averías, eficientizar los tiempos de reparación, reducción de costos, fiabilidad y disponibilidad de los equipos, así como una adecuada higiene y el cumplimiento con los requerimientos de calidad al ejecutar las actividades.

7.2.2. Sistema de mantenimiento

El mantenimiento ya no solamente se limita al hecho de ejecutar tareas dispersas para restaurar o mantener operativo un equipo, sino que engloba mucho más que eso. Es todo un proceso sistematizado que implica un conjunto de actividades ordenadas, con objetivos claramente definidos para lograr conservar los equipos en condiciones óptimas de operación.

Duffuaa et al. (2000) menciona que las entradas de un sistema de mantenimiento puede ser, entre otras, el recurso humano, la maquinaria y los repuestos; el resultado será que la maquinaria operará adecuadamente, capaz de entregar productos que cumplan con los estándares de calidad necesarios, para satisfacer las exigencias del cliente. En la figura 2 se muestra la configuración del mantenimiento como un sistema.

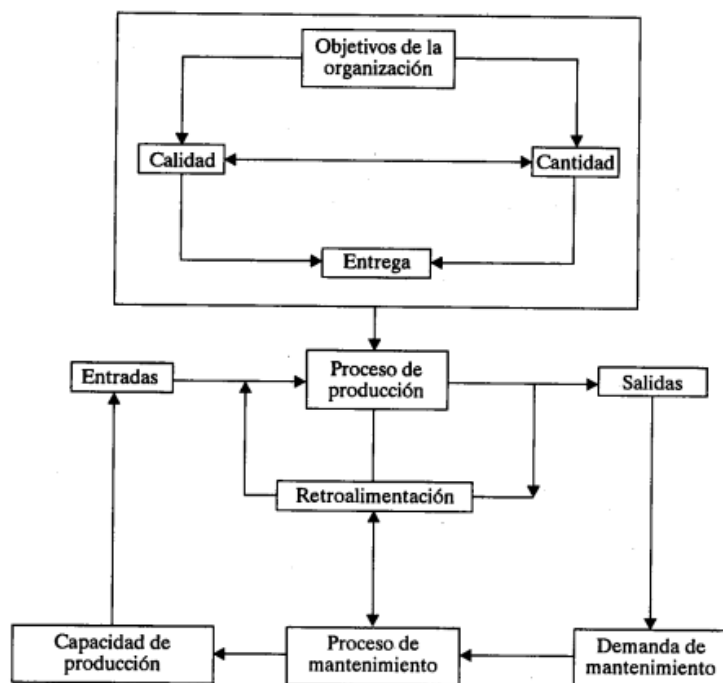
Figura 2. Sistema típico de mantenimiento



Fuente: Duffuaa et al. (2000). *Sistemas de mantenimiento planeación y control*.

Es importante aclarar que el mantenimiento no funciona como un ente aislado, sino que tiene relación directa con producción y está alineado a la consecución de objetivos basados en el tiempo, cantidad y calidad requeridos para lograr altos valores de competitividad. Bajo este concepto, se establece que el proceso de mantenimiento es un proceso de apoyo y el área de producción es su cliente interno, el cual demanda que los equipos funcionen adecuadamente. En la figura 3 se puede observar la relación de los procesos.

Figura 3. **Relación de mantenimiento–producción**



Fuente: Duffuaa et al. (2000). *Sistemas de mantenimiento planeación y control*.

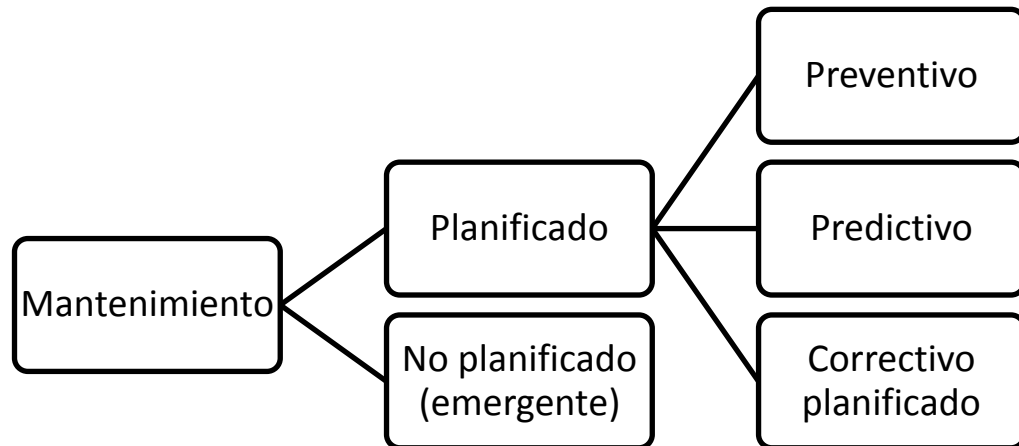
7.2.3. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento realizado a los equipos se puede clasificar en dos grupos: mantenimiento planificado, en el cual se encuentran todas aquellas actividades que se pueden planear sin afectar el tiempo operativo de los equipos; y mantenimiento no planificado o emergente, que abarca todas las intervenciones debido a emergencias presentadas por averías en los equipos que comprometen su operación normal.

El mantenimiento no planificado es aquel que se hace cuando se presenta una falla repentina, que genera un paro inminente del equipo. Por otra parte, según Duffuaa et al. (2000), el mantenimiento planificado conlleva la tarea de obtener los recursos requeridos para la ejecución de los trabajos, así como tener las actividades incluidas en la programación de mantenimiento a realizar. También establece que durante un mantenimiento emergente, aunque se cuente con personal disponible y los repuestos necesarios para llevar a cabo la reparación, la intervención no cumple con la condición de una planificación previa, por lo tanto no se considera como un mantenimiento planificado.

El mantenimiento según su ejecución, como se ya se ha establecido, se puede clasificar en mantenimiento no planificado, también conocido como emergente, y mantenimiento planificado, el cual se clasifica en mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y mantenimiento correctivo planificado, clasificación que se observa en la figura 4:

Figura 4. **Clasificación de mantenimiento**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

7.2.3.1. Mantenimiento no planificado o emergente

Esta clase de mantenimiento tiene la finalidad de reparar una falla o avería que ya se ha presentado y que ha tenido como consecuencia la detención de producción del equipo. Duffuaa et al. (2000) establece que el mantenimiento emergente conlleva toda actividad no prevista, que debe realizarse en el momento en que se produce la falla e indica que este tipo de eventos deben reducirse de tal manera que no exceda el 10 % del total de actividades de mantenimiento.

Por otra parte, García (2003) establece que mantenimiento no planificado “es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos” (p. 17). De tal manera, que al momento de recibir la notificación de un problema, el área de mantenimiento

tiene que intervenir inmediatamente con la finalidad de reparar en el menor tiempo posible.

Debido a que la avería se presenta de manera repentina, no se tiene previsto el recurso humano, repuestos, materiales e insumos necesarios para intervenir el equipo, por lo que su disponibilidad se verá afectada en el incremento del tiempo de espera de la reparación. Por otra parte, tener el personal necesario para atender emergencias dará como resultado el incremento de los costos de mantenimiento. (Navarro, Pastor y Mugaburu, 1997)

Por todo lo expuesto, el mantenimiento emergente es el menos recomendado y el más perjudicial en una planta industrial, debido a los largos tiempos de espera en compra de repuestos, planificación y reparación, así como el deterioro prematuro de los equipos. Esto produce un incremento sustancial de gastos que afectan directamente la entrega a tiempo de productos, costos de producción y, por ende, la rentabilidad de la organización.

7.2.3.2. Mantenimiento planificado

“El mantenimiento planeado se refiere al trabajo de mantenimiento que se realiza con una planeación, previsión, control y registros por adelantado” (Duffuaa et al., 2000, p. 87). Este mantenimiento es el más recomendado para implementar en una planta industrial, puesto que permite tener un control y gestión adecuada de las actividades a realizar. Dentro de esta modalidad se encuentra: mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo planificado y mantenimiento predictivo.

7.2.3.2.1. Mantenimiento preventivo

La finalidad del mantenimiento preventivo es alcanzar un nivel óptimo de operación en los equipos, mediante la ejecución de actividades programadas sin afectar su disponibilidad. (García, 2003). Este tipo de mantenimiento también es definido por Duffuaa et al. (2000) “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” (p. 77-78).

El mantenimiento preventivo es uno de los más adecuados y aceptados en la industria, porque permite gestionar efectivamente las tareas de mantenimiento efectuadas a los equipos, logrando así el propósito de conservarlos operativamente y, mediante la ejecución de dichas tareas, rutinariamente prolongar su vida útil porque minimiza la ocurrencia de fallas repentinas.

Para una adecuada administración e implementación de mantenimiento preventivo se deben tomar en cuenta los siguientes elementos:

- Creación de los procedimientos de mantenimiento, en donde se detallarán las actividades al ejecutar una labor de mantenimiento.
- Creación del catálogo de equipos que incluya todas sus características y especificaciones técnicas.
- Creación de rutinas donde se listarán todas las actividades a realizar en los equipos, por especialidad, por ejemplo, tareas mecánicas y eléctricas, entre otras.

- Definición de la periodicidad de las actividades que se ejecutarán, la cual puede ser determinada en horas de operación o períodos de tiempo establecidos (semanas, meses, años).
- Creación del catálogo de repuestos y consumibles a utilizar.
- Definición de la criticidad de equipos que permita establecer prioridad de intervención.

Otro aspecto importante a considerar es la creación del programa de mantenimiento, el cual contiene el cronograma de ejecución de las rutinas, basado en las periodicidades establecidas; dicho programa se llevará a cabo mediante un sistema de órdenes de trabajo, que permitirá controlar el nivel de cumplimiento de todas las tareas programadas.

7.2.3.2.2. Mantenimiento correctivo planificado

Se presenta cuando ocurre una avería en un equipo, pero permite que siga operando sin producir un paro de producción, lo cual permite planificar la reparación e incluirla en el programa de mantenimiento, para no comprometer la disponibilidad del equipo. Dicha planificación comprende el análisis detallado de la falla presentada, la determinación de la solución, la adquisición de repuestos y materiales necesarios, así como la proyección del tiempo y personal requerido. Cuando todos estos elementos ya han sido cubiertos, entonces se procede a planificar con el área de producción la detención del equipo para corregir el problema.

Mantenimiento correctivo planificado: “Se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos

necesarios para realizarla correctamente” (Prando, 1996, p. 20). De esta forma, la tarea se llevará a cabo bajo parámetros controlados, según la planificación previa.

Es importante hacer énfasis en la programación y reparación cuando se presenten este tipo de fallas, ya que si no se presta la atención debida y el equipo continúa operando en esas condiciones por mucho tiempo, la avería puede empeorar y convertirse en una emergencia y, en consecuencia, producir el paro repentino del equipo.

7.2.3.2.3. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo se basa en la inspección de los equipos, monitoreando su condición mediante la utilización de diferentes técnicas, tales como: análisis de vibraciones, análisis de lubricantes, ultrasonido, líquidos penetrantes y termografía, entre otros. Esto revela el estado y las características bajo las cuales se encuentran operando los equipos, para compararlos con los parámetros estandarizados de operación, y así predecir si en algún determinado momento se presentará una avería, permitiendo intervenir anticipadamente.

Mora (2009) establece que:

El mantenimiento predictivo estudia la evolución temporal de ciertos parámetros para asociarlos a la ocurrencia de fallas, con el fin de determinar en qué periodo de tiempo esa situación va a generar escenarios fuera de los estándares, para planificar todas las tareas proactivas con tiempo suficiente, para que esa avería no cause

consecuencias graves ni genere paradas imprevistas de equipos.
(p. 433)

El mantenimiento predictivo tiene varias ventajas (ver tabla I), puesto que no se necesita intervenir el equipo para conocer el estado del mismo; pero llegar a este nivel de mantenimiento representa una inversión sustancial en las industrias, lo que representa, en el mayor de los casos, el desistimiento y que finalmente no se implemente.

Tabla I. **Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo**

Ventajas	Desventajas
Reducir el paro de la maquinaria al conocer la falla con antelación	Alto costo de los equipos, para la realización de los análisis
Seguimiento a la evolución de la falla	Capacitación constante del personal en tópicos específicos, referentes a los análisis a realizar
Verificación de la condición del equipo en tiempo real	
Permite tomar decisiones sobre la detención de un equipo en situaciones críticas	
Una bitácora de las condiciones del equipo	
Optimización de la gestión de los colaboradores de mantenimiento	

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

7.3. Herramientas y enfoques de gestión de mantenimiento

Existen diversas herramientas y enfoques para gestionar el mantenimiento, que permiten aplicar estándares coherentes con los objetivos organizacionales; dentro de estas se citan a continuación: metodología 5S,

mantenimiento productivo total (TPM), mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) e indicadores clave de desempeño (KPI).

7.3.1. Metodología 5S

“Las 5S son instrumentos avanzados que permiten elevar la productividad y mejorar el ambiente de trabajo, tanto en mantenimiento como en producción” (Mora, 2009, p. 299).

Según Tavares (1999), las 5S es una metodología japonesa, mediante la cual se trata de tener ambientes limpios y adecuados para la realización de actividades. Se derivan de cinco palabras que inician con la letra s, las cuales se describen a detalle en la tabla II:

Tabla II. Las 5S

5S	Descripción
SEIRI – Organización	Clasificar y eliminar todos aquellos artículos innecesarios en oficinas y área de trabajo
SEITON – Orden	Es el arreglo metódico de todos los objetos necesarios, de tal forma que sean fácil de ubicar
SEISO – Limpieza	Es la ejecución de la limpieza total del lugar de trabajo y maquinaria (eliminar polvo, derrames y suciedad)
SEIKETSU – Estandarizar	Mantener y monitorear la organización, orden y limpieza
SHITSUKE – Autodisciplina	Es el cumplimiento sistemático de todo lo implementado

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

“La práctica diaria de las 5S, lejos de ser una actividad meramente estética, ayuda a eliminar las averías y los accidentes en el trabajo y previene futuros fallos” (Cuatrecasas y Torrell, 2010, p. 39). Es una herramienta

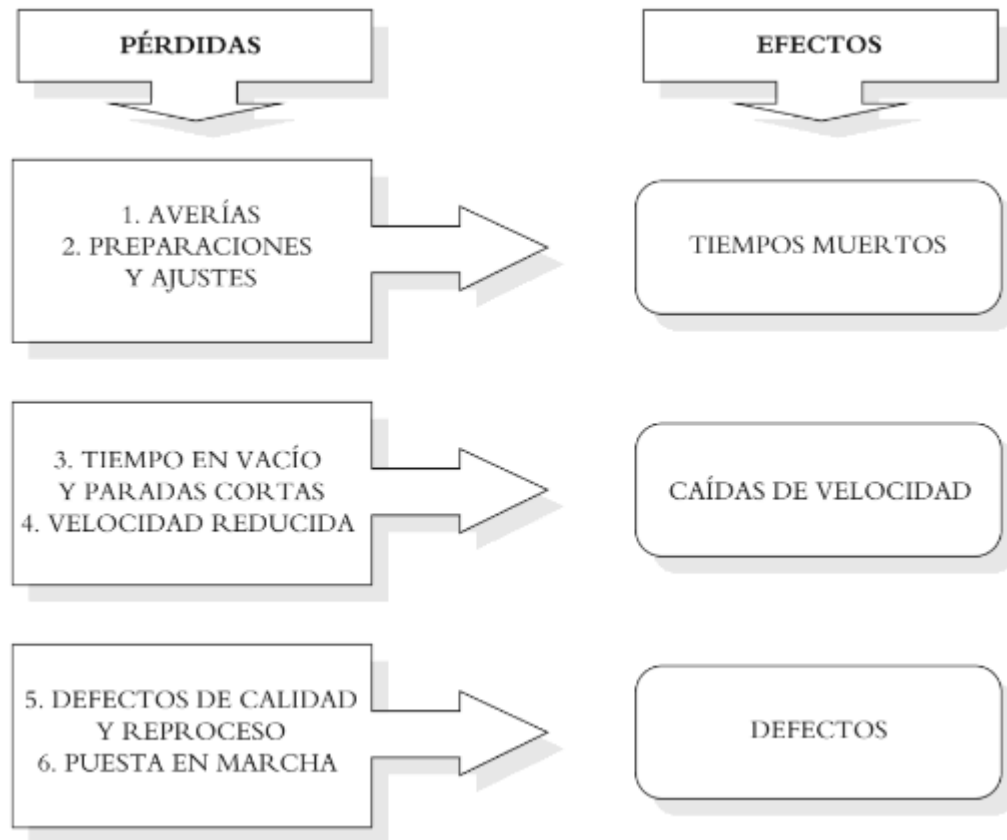
fundamental utilizada en la industria, ya que además presenta otras ventajas, tales como: lugares limpios y ordenados, operaciones más seguras, reducción de tiempos de actividades porque todo está a la mano y ordenado, entre otras. Estos resultados están visibles para todos, tanto personal interno como externo, y se forma una empatía en todo el grupo porque todos se comprometen a tener ambientes más agradables.

7.3.2. Mantenimiento productivo total (TPM)

El TPM es un enfoque del mantenimiento que permite mejorar la eficiencia de los equipos, busca eliminar las paradas de las máquinas, reduce las averías menores y promueve el mantenimiento autónomo ejecutado por el operador. Está basado en la participación de todas las personas de la organización, desde la Alta Gerencia, quienes brindan los recursos, hasta el personal operativo, quienes ejecutan las tareas.

Como establece Cuatrecasas y Torrell (2010), “los principales factores que impiden lograr maximizar la eficiencia de un equipo se han clasificado en seis grandes grupos y son conocidos como las Seis Grandes Pérdidas” (p. 63), las cuales son unas de las principales razones por las que se implementa el TPM, ya que lo primordial para una industria es contar con la mayor disponibilidad y eficiencia de sus equipos. En la figura 5 podemos observar la clasificación de éstas pérdidas.

Figura 5. Las seis grandes pérdidas



Fuente: Cuatrecasas y Torrel (2010). *TPM en un entorno Lean Management*.

Como se ha visto, el TPM es un enfoque que propicia la participación de todos los colaboradores de la organización, convirtiendo a los operarios en el punto principal puesto que son ellos quienes están día a día en contacto con los equipos. Son las personas idóneas para la aplicación del mantenimiento autónomo, ya que también crean el sentido de pertenencia y responsabilidad con el equipo que operan. Al ser partícipes del mantenimiento de sus equipos, los tiempos de pérdidas se reducen puesto que hay un conocimiento previo de la condición de la maquinaria y así obtener la mayor eficiencia.

El objetivo principal del TPM es incrementar la eficacia de la maquinaria lo más alto posible, para que se conserve estable a través de la erradicación de pérdidas, tales como, fallas recurrentes, reducción de velocidad de producción e imperfecciones, entre otras. (Duffuaa et al., 2000). Suzuki (1995) menciona que “El TPM se implanta normalmente en cuatro fases (preparación, introducción, implantación y consolidación), que pueden descomponerse en doce pasos” (p. 8). Dichas fases se pueden observar a detalle en la tabla III.

Tabla III. **Los doce pasos para implementar el TPM**

Fase	Paso
Preparación	1- Informar la decisión de implementar el TPM
	2- Capacitación introductoria de TPM a los colaboradores
	3- Crear organización de promoción interna de TPM
	4- Establecer políticas y objetivos del TPM
	5- Diseñar el plan para implementar el TPM
Introducción	6- Lanzamiento de introducción del proyecto empresarial TPM
Implantación	7- Crear la organización dentro de la corporación y maximizar eficacia de producción
	8- Desarrollar un programa autónomo de mantenimiento
	9- Generar el sistema de mantenimiento basado en la calidad
	10- Capacitar al personal para mejorar sus destrezas en operación y mantenimiento
	11- Desarrollar un programa eficaz de administración
Consolidación	12- Consolidar el TPM y elevar sus niveles

Fuente: elaboración propia, realizada con Microsoft Word. Adaptada de Suzuki (1995). *TPM en industrias de proceso*.

7.3.2.1. Pilares del TPM

Es importante mencionar que además de las cuatro fases que comprenden los doce pasos para implementar el TPM, también se deben tomar en cuenta ocho actividades nucleares, mejor conocidas como Los 8 Pilares del TPM, los cuales serán la base sobre los cuales se fundamentará la implementación del plan maestro.

Mora (2009) define los ocho pilares del TPM de la siguiente manera:

- Mejoras enfocadas: son todas aquellas actividades que tienen como finalidad, optimizar la eficiencia.
- Mantenimiento autónomo: es la participación del personal operativo en las tareas de mantenimiento.
- Mantenimiento planificado: son todas las tareas de mantenimiento (preventivo, correctivo planificado, predictivo) encaminadas a la disminución de la presencia de fallas en la maquinaria.
- Educación y formación: conlleva la capacitación del personal para que fortalezcan constantemente los conocimientos adquiridos.
- Mantenimiento temprano: incluye las actividades a realizar durante el diseño, instalación y operación, que den como resultado un alto desempeño en los equipos.
- Mantenimiento de calidad: encaminado a las tareas de mantenimiento que garanticen la calidad.
- Mantenimiento en áreas administrativas: enfocado en la manutención de todas las áreas involucradas mediante herramientas como las 5S.
- Gestión de salud, seguridad ocupacional y medio ambiente: además de las 5S, se debe asegurar la prevención de riesgos laborales, tomando también en cuenta la salud de los colaboradores.

7.3.3. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

“El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento, para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos, en función de su diseño y de su construcción” (Mora, 2009, p. 444). Se debe tener claro que la capacidad y la confiabilidad inherente del equipo limita sus funciones; es decir, el mantenimiento solamente puede optimizar un equipo cuando el estándar esperado está dentro de sus límites de capacidad.

Es un enfoque de mantenimiento con base en la necesidad real de mantenimiento dentro de la organización, tomando en consideración la seguridad del personal y equipos, el medio ambiente, las operaciones y la razón costo-beneficio. Su filosofía de funcionamiento se fundamenta en un equipo multidisciplinario, encargado de optimizar la confiabilidad operacional, determinando las tareas de mantenimiento propicias y basándose en la criticidad. Debido a sus características, el RCM brinda diversos beneficios, los cuales se presentan en la tabla IV.

“La aplicación del RCM es muy útil en empresas con un gran clima organizacional, donde el recurso humano es motivado y consciente de la importancia del trabajo en equipo de mantenimiento y producción alrededor de las máquinas” (Mora, 2009, p. 450). Es por eso que es de vital importancia prestar atención a la capacitación constante del personal puesto que ellos son una pieza fundamental para que este enfoque tenga el éxito esperado.

Tabla IV. **Beneficios del RCM**

Calidad	Tipo de servicio	Costo	Tiempo	Riesgo
Incrementa en un 8% aproximadamente, la disponibilidad solo con el hecho implementarlo	Beneficia el trabajo en equipo a través de un mejor clima organizacional	Disminuye la cantidad de mantenimiento en un 40 % como mínimo	Optimiza la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad aproximadamente en un 25 %	Proporciona seguridad e integridad ambiental durante el desarrollo del proceso, a niveles muy superiores de los que se tienen antes de implementarlo
Erradica las averías recurrentes y elimina la causa raíz	Mejora la comprensión de las necesidades y obligaciones con los clientes.	Optimiza los programas de Mantenimiento	Incrementa la duración del funcionamiento de los equipos aproximadamente un 150 % promedialmente	Las averías con consecuencias sobre el medio ambiente y la seguridad son a las que mayor énfasis se hace para lograr erradicarlas
Incrementa la flexibilidad operacional	Minimiza los paros por emergencia	Disminuye los costos planificados o no planificados de mantenimiento aproximadamente un 40 %	Disminuye o erradica los tiempos de espera de recursos (insumos y repuestos)	
La ejecución y programación del mantenimiento se fundamenta en situaciones reales	Crea un clima De investigación y desarrollo mediante el análisis de averías	Prolonga la durabilidad de los equipos para funciones específicas		
Brinda la información a detalle de las averías presentadas y posibles averías a presentarse en la maquinaria, así como las causas que las provocan		Todas las actividades de mantenimiento se analizan en un contexto de costo/beneficio	Clasifica las actividades por prioridad, permitiendo la optimización del tiempo de intervención	Minimiza la probabilidad de averías consecutivas Su enfoque hacia el riesgo lo convierte en uno de los enfoques más seguros

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word, con información de Mora (2009).

Mantenimiento, Planeación, ejecución y control.

7.3.3.1. Pasos para implementar el RCM

Mora (2009) indica que para lograr la implementación del RCM es necesario seguir ciertos pasos, los cuales se enlistan a continuación:

- Crear el equipo que ejecutará el RCM.
- Determinar los lugares, equipos y restricciones donde se realizará la aplicación del RCM.
- Determinar la criticidad de los equipos, estableciendo también el tipo de función que realiza.
- Analizar las fallas en el funcionamiento o posibles fuentes de fallas para cada función.
- Realizar el análisis de modos y efectos de las fallas (AMEF).
- Determinar las estrategias y operaciones de mantenimiento.
- Realización del análisis confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (CMD) para cada equipo.
- Asignar técnicas y recursos apropiados, el nivel de criticidad asignado (RPN, siglas en inglés de Risk Priority Number).
- Observación y control constante del diseño general y específico implementado.

Algunas de las acciones que permiten diferenciar el RCM del resto de enfoques, según Mora (2009), son:

- Acción correctiva: son actividades de reparación o cambio basadas en averías, que se realizan cuando el control y seguimiento sobrepasa las ventajas costo/beneficio.
- Acción preventiva: son actividades de reparación o cambio, basadas en la periodicidad.

- Acción predictiva: son actividades de monitoreo de la condición para la detección de averías. Se realiza una reparación o cambio, basados en la condición.

7.3.4. Indicadores clave de desempeño (KPI) en el área de mantenimiento

Los indicadores clave de desempeño, también conocidos como KPI (siglas en inglés de Key Performance Indicators), son esenciales dentro del proceso de mantenimiento, puesto que permiten tener una métrica para establecer los resultados y desempeño del departamento. En esencia, brindan información relevante referente a:

- El nivel de implementación de mantenimiento como sistema de gestión
- El estado de los equipos
- El desempeño del personal de mantenimiento

Según Pérez (1996), los indicadores se utilizan para medir los objetivos y deben proveer la visión clara del desempeño de la organización e indica que dichos indicadores son transmitidos desde la Alta Gerencia. Están incluidos dentro de estrategia corporativa y deben cumplir con ciertos requisitos obligatorios bajo el concepto SMART:

- *Specific*: específicos
- *Measureable*: medibles
- *Attinable*: alcanzables
- *Realistic*: realistas
- *Time*: a tiempo

Es imperante tener claro que los indicadores no son más que datos recopilados y, solo mediante el análisis de los mismos, se convierten en referencias útiles que permiten tomar decisiones importantes para evaluar las estrategias a seguir en cada caso. Para el área de mantenimiento se pueden establecer cinco tipos generales de indicadores:

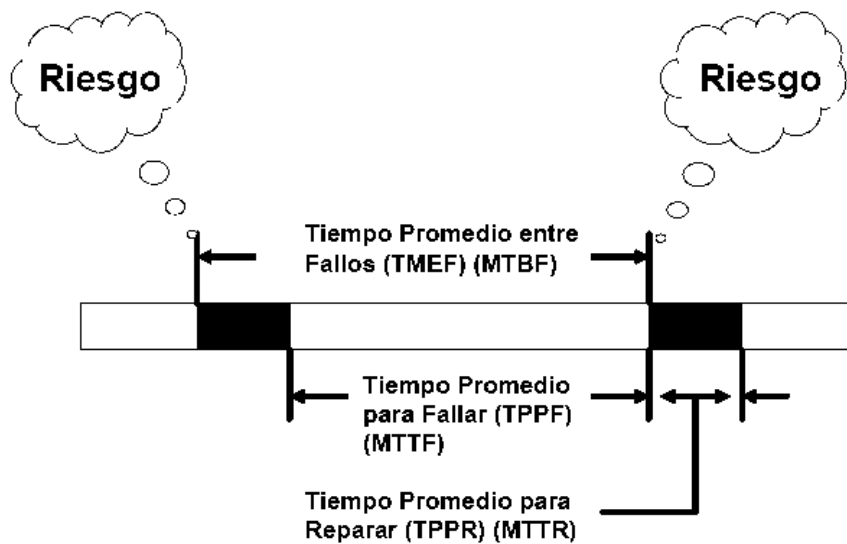
- Indicadores de planificación
- Indicadores de mano de obra
- Indicadores de gestión de mantenimiento
- Indicadores de inventario
- Indicadores de costos

Amendola (2004) subdivide los indicadores en técnicos y financieros, siendo los técnicos los más utilizados para gestionar el mantenimiento y que también impactan en la efectividad, permitiendo observar el desempeño del personal, el nivel de cumplimiento con la planificación de mantenimiento sin dejar atrás la calidad requerida en cada reparación, para garantizar una operación que genere productos bajo los estándares necesarios.

- Tiempo Promedio para Fallar (TPPF): *Mean Time To Fail* (MTTF). Indica el tiempo promedio en el que un equipo opera sin parar por alguna falla mecánica.
- Tiempo Promedio para Reparar (TPPR): *Mean Time To Repair* (MTTR). Establece el tiempo promedio en cual se realiza la reparación después de presentarse una avería.
- Tiempo Promedio entre Fallas (TMEF): *Mean Time Between Failures* (MTBF). Representa el tiempo promedio transcurrido desde que se presentó una avería hasta que se presenta una nueva.

La figura 6 detalla la relación entre estos tres indicadores para facilitar su comprensión, puesto que regularmente al aplicarlos se tiende a confundir el Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) (MTBF) y el Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) (MTTF), tal y como se puede observar, son conceptos distintos.

Figura 6. **Relación entre indicadores**



Fuente: Amendola (2004). Sistemas Balanceados de Indicadores en la Gestión de Activos Maintenance Scorecard.

Pérez (1996) también incluye otros indicadores que son de utilidad para establecer el cumplimiento con el programa de mantenimiento, así como la cantidad de trabajo en proceso o pendiente con respecto al programado, tomando como base las órdenes de trabajo emitidas. A continuación se mencionarán los que se consideran de mayor aplicación:

- Órdenes de trabajo en atraso: representa la razón entre las OT atrasadas y las OT abiertas.
- Órdenes de trabajo emergentes vs. programadas: define el porcentaje de horas empleadas en OT de mantenimiento emergente respecto a las horas utilizadas en la totalidad de OT realizadas.
- Cumplimiento con las horas hombre programadas: indica el porcentaje de horas hombre en órdenes de trabajo finalizadas respecto a las horas hombre en órdenes de trabajo programadas.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la empresa

1.1.1. Historia

1.1.2. Ubicación

1.1.3. Giro de negocio

1.2. Mantenimiento

1.2.1. Tipos de mantenimiento

1.2.1.1. Mantenimiento correctivo

1.2.1.2. Mantenimiento preventivo

1.2.1.2.1. Rutinas de mantenimiento

1.2.1.2.2. Órdenes de trabajo

1.2.1.3. Mantenimiento predictivo

1.3. Herramientas de gestión de mantenimiento

1.3.1. Metodología 5S

1.3.2. Mantenimiento productivo total (TPM)

- 1.3.3. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
- 1.3.4. Indicadores clave de desempeño (KPI) en el área de mantenimiento

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

- 2.1. Revisión documental
- 2.2. Diagnóstico de la situación
- 2.3. Análisis de datos
- 2.4. Definir el sistema de gestión de mantenimiento
- 2.5. Creación de procedimientos de mantenimiento
- 2.6. Creación del catálogo de equipos
- 2.7. Creación de rutinas de mantenimiento
- 2.8. Propuesta del organigrama de mantenimiento
- 2.9. Elaboración de perfiles de puesto
- 2.10. Diseño de entrevistas SMART
- 2.11. Realización de entrevistas SMART
- 2.12. Detección de las necesidades de capacitación
- 2.13. Capacitación e implementación de metodología 5S
- 2.14. Establecimiento de indicadores clave de desempeño del área de mantenimiento

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Análisis de la información
- 3.2. Interpretación de resultados

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 4.1. Beneficios obtenidos

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
REFERENCIAS
APÉNDICES
ANEXOS

9. METODOLOGÍA

La investigación utiliza un enfoque mixto, diseño no experimental, un alcance descriptivo y la recolección de datos será de tipo transversal. Esto debido a que se utilizarán métodos estadísticos para el análisis de la información y, además, se describirá el tipo de mantenimiento utilizado en la planta de transformación de granos básicos, mediante la observación durante un período de tiempo establecido.

9.1. Enfoque

El enfoque es mixto porque contiene análisis cuantitativo, en donde se realizará la verificación de la información obtenida de las órdenes de trabajo de mantenimiento (horas hombre, cantidad de trabajos realizados, nivel de mantenimiento no planificado, entre otros); y análisis cualitativo, donde se evaluará la calidad de ejecución del mantenimiento, orden y limpieza.

9.2. Diseño

El diseño es no experimental porque la información se producirá durante la realización de la investigación, no será manipulada por ningún medio. Se observará la forma en la que se realiza el control y ejecución de mantenimientos para posteriormente analizar los resultados observados y evaluar la integración de las metodologías TPM y RCM.

9.3. Tipo

El tipo de estudio es transversal, también conocido como tipo transeccional, ya que se llevará a cabo el análisis de la planificación, control y ejecución de las tareas de mantenimiento existente en la planta de transformación de granos básicos, para determinar las oportunidades de mejora e innovación de la misma.

9.4. Alcance

El alcance de la investigación es descriptivo, porque se detallará el procedimiento mediante el cual el personal operativo lleva a cabo las tareas de mantenimiento en los equipos de producción, verificando el nivel de cumplimiento, calidad, eficiencia y eficacia en el momento en que se realizan dichas actividades.

9.5. Variables e indicadores

A continuación describe conceptual y operativamente las variables e indicadores que se desarrollarán durante la investigación.

- Nivel de mantenimiento preventivo realizado al equipo.

Variable de tipo cuantitativa que determinará el nivel de mantenimiento planificado que se ha realizado a los equipos a lo largo del tiempo.

$$\text{Nivel de mantenimiento preventivo} = \frac{\text{Total de mantenimiento preventivo}}{\text{Total de actividades de mantenimiento}}$$

- Nivel de mantenimiento correctivo realizado al equipo

Variable de tipo cuantitativa que determinará el nivel de mantenimiento emergente que se ha realizado a los equipos a lo largo del tiempo.

$$\text{Nivel de mantenimiento emergente} = \frac{\text{Total de mantenimiento emergente}}{\text{Total de actividades de mantenimiento}}$$

- Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Variable de tipo cuantitativa que determina el tiempo promedio que transcurre entre dos averías de un mismo equipo

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de paradas}}$$

- Tiempo medio de reparación (MTTR)

Variable de tipo cuantitativa que determina el tiempo medio necesario para reparar una avería.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento emergente}}{\text{Número de reparaciones}}$$

- Cumplimiento del plan de mantenimiento

Variable de tipo cuantitativa que determina el nivel de cumplimiento de las tareas de mantenimiento programadas.

$$\text{Cumplimiento del plan} = \frac{\text{Ordenes de trabajo completadas}}{\text{Ordenes de trabajo planificadas}}$$

- Porcentaje de Mantenimiento Planificado (PMP)

Variable de tipo cuantitativa que determina la eficacia de las actividades de mantenimiento planificadas.

$$PMP = \frac{\text{Tiempo de mantenimiento planificado}}{\text{Tiempo real de mantenimiento realizado}}$$

9.6. Matriz de consistencia

En la siguiente tabla se muestra la matriz de consistencia, en la cual se muestra la relación de los objetivos específicos, variables, tipos de variable, indicadores y técnica de recolección de datos.

Tabla V. Matriz de consistencia

Objetivo	Variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica de recolección
Realizar un diagnóstico del control y ejecución de mantenimiento preventivo de los equipos de la planta de transformación de granos básicos	Nivel de mantenimiento realizado al equipo	Cuantitativa	Total de mantenimiento preventivo / Total de actividades de mantenimiento	Observación, Revisión de Ordenes de trabajo, tabulación de datos
Definir los factores que influyen en la falta de ejecución y control de mantenimiento en los equipos	Paros de equipos por averías	Cuantitativa	Total de mantenimiento emergente / Total de actividades de mantenimiento	Observación, Revisión de Ordenes de trabajo, tabulación de datos
Determinar los indicadores clave de desempeño en el área mantenimiento de la empresa de transformación de granos básicos	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Cuantitativa	(Tiempo total disponible – tiempo de inactividad) / número de paradas.	Observación, Toma de tiempos de trabajo, tabulación de datos
	Tiempo medio de reparación (MTTR)	Cuantitativa	Tiempo total de mantenimiento emergente / número de reparaciones.	Observación, Toma de tiempos de trabajo, tabulación de datos
	Cumplimiento del plan de mantenimiento	Cuantitativa	Ordenes de trabajo completadas / Ordenes de trabajo planificadas.	Observación, Revisión de Ordenes de trabajo, tabulación de datos
	Porcentaje de Mantenimiento Planificado (PMP)	Cuantitativa	tiempo de mantenimiento planificado / tiempo real de mantenimiento realizado	Observación, Toma de tiempos de trabajo, tabulación de datos

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

9.7. Fases de la investigación

La investigación consta de cuatro fases, las cuales se detallan a continuación:

- Fase uno: revisión documental

Se llevará a cabo el reconocimiento del área de mantenimiento, mediante la revisión de la existencia de manuales, procedimientos y rutinas de mantenimiento que se utilizan para realizar las tareas de mantenimiento, así como la revisión de la existencia del organigrama del departamento y perfiles de puestos del personal.

- Fase dos: diagnóstico de la situación de mantenimiento

Se realizarán recorridos en la planta de producción, para la observar el método de ejecución que el personal utiliza en cada una de las actividades de mantenimiento; de igual forma, se entrevistará a los colaboradores para determinar el nivel de experiencia que tienen respecto a las tareas que llevan a cabo y reuniones en grupos de enfoque para visualizar la perspectiva general del grupo.

- Fase tres: análisis de la información

Se analizará la información recopilada mediante distribuciones de frecuencias, para determinar la situación real del mantenimiento y así poder diseñar el sistema de gestión de mantenimiento a proponer, que se adapte a las necesidades de la planta de transformación de granos básicos, objeto de estudio en la siguiente fase de la investigación.

- Fase cuatro: definición de la propuesta de solución

Se definirá el diseño propuesto del sistema de gestión de mantenimiento y se establecerán los indicadores claves de desempeño del área, que permitirán tener la métrica necesaria, para la revisión mensual los resultados de las tareas de mantenimiento realizadas y su posterior análisis, para la detección de oportunidades de mejora al proceso.

9.8. Población y muestra

La población en estudio constara de 75 equipos que conforman las áreas de producción, secado, limpieza y almacenaje. Para el desarrollo de la investigación se utilizará el tipo de muestra probabilística, ya que todos los elementos tienen la posibilidad de ser elegidos; la ventaja principal de este método es que puede medirse el error en las predicciones. Para calcular el tamaño de la muestra de forma estadística se utilizará un nivel de confianza del 95 % y con un error del 5 %.

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{e^2 * (N - 1) + \sigma^2 Z^2}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

σ = desviación estándar de la población (0.5 por convención)

Z = Nivel de confianza (95 % para este estudio)

e = error de estimación máximo esperado (5 % para este estudio)

Tomando los 75 equipos como el tamaño de nuestra muestra, se tiene:

$$n = \frac{75 * (0.5)^2 (95\%)^2}{(5\%)^2(75 - 1) + (0.5)^2(95\%)^2} = 41.20$$

La muestra para utilizar será de 41 equipos.

9.9. Técnicas y metodología

Dentro de las técnicas, metodologías y herramientas a utilizar podemos mencionar las siguientes.

9.9.1. Observación

Dentro del día al día, realizando recorridos en planta, se observará el procedimiento mediante el cual el personal registra y lleva a cabo las tareas de mantenimiento de los equipos de las áreas de producción, secado, limpieza y almacenaje de producto, verificando el nivel de eficacia y eficiencia al momento de la ejecución.

9.9.2. Entrevistas

Se diseñarán y llevarán a cabo entrevistas personales a los encargados de realizar las tareas de mantenimiento de los equipos, para obtener información que se analizará para determinar y establecer las variables involucradas en el presente estudio de investigación. Se utilizará una guía de entrevistas semiestructurada, utilizando preguntas generales, preguntas para ejemplificar y preguntas estructurales.

9.9.3. Grupos de enfoque

Se llevarán a cabo pequeñas reuniones y discusiones de grupos de enfoque, con el interés de obtener y recolectar información. Según Sampieri (2010):

La recolección de datos ocurre en los ambientes naturales y cotidianos de los participantes o unidades de análisis. La información se recolecta con la finalidad de analizarla y comprenderla y así responder a las preguntas de investigación y generar conocimiento. (p. 583)

9.10. Resultados esperados

Se espera que al llevarse a cabo esta investigación, se obtenga una estrategia adecuada para gestionar apropiadamente la ejecución y control del mantenimiento de los equipos, así como el establecimiento de indicadores clave de desempeño, que permitan medir el rendimiento e implementar la mejora continua en el departamento.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de la información de mantenimiento recopilada, se utilizarán las técnicas de estadística descriptiva, puesto que los datos se organizarán, tabularán y presentarán en distribuciones de frecuencia y gráficos, tales como histogramas y gráficas de tendencia, entre otras, para facilitar su interpretación. Además, de la utilización de los diagramas de Ishikawa y Pareto.

10.1. Diagrama de Pareto

Utilizado para determinar el porcentaje de problemas más perjudiciales en la gestión de mantenimiento, que se lleva a cabo en la planta de transformación de granos.

10.2. Diagrama de Ishikawa

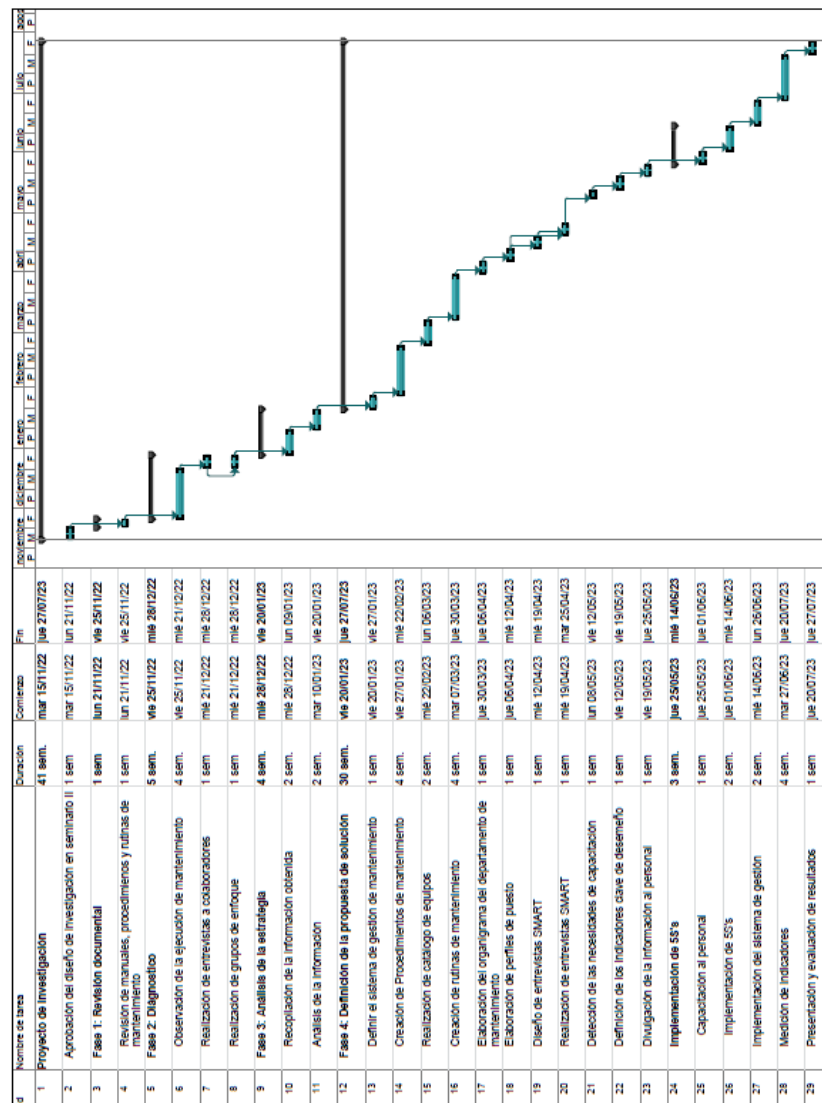
Se utilizará para identificar las causas de los problemas que se presentan en el área de mantenimiento, con la finalidad de minimizar o erradicar dichos problemas

10.3. Distribuciones de frecuencia, histogramas y gráficas de tendencia

Los datos recopilados en las fases uno y dos, se tabularán mediante distribuciones de frecuencia y se presentarán mediante histogramas y gráficas de tendencia, para facilitar la comprensión e interpretación de todos aquellos que las visualicen.

11. CRONOGRAMA

Figura 7. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La presente investigación, de tipo descriptivo, se llevará a cabo dentro de las instalaciones de la planta de transformación de granos básicos, con financiamiento cubierto en un 80 % por fuentes propias y un 20 % por la entidad que es objeto de estudio. En el presente análisis se evaluó la oportunidad de mejora del proceso de mantenimiento, determinando que es factible, ya que se cuenta con todos los recursos necesarios y más importantes, tales como recurso humano, material y tecnológico, los cuales se describen en la tabla VI.

Tabla VI. **Recursos necesarios para la investigación.**

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total	
Recurso humano			Q	2,400.00
Asesor		<i>Ad honorem</i>	Q	-
Capacitación del personal	6	Q 400.00	Q	2,400.00
Recursos materiales			Q	728.00
Resmas de papel bond	5	Q 50.00	Q	250.00
Cartapacio tamaño carta	3	Q 67.00	Q	201.00
Leitz tamaño carta	3	Q 60.00	Q	180.00
Perforador y engrapadora	1	Q 57.00	Q	57.00
Lapicero azul o negro	2	Q 5.00	Q	10.00
Resaltadores	2	Q 15.00	Q	30.00
Recursos tecnológicos			Q	11,175.00
Impresora	1	Q 1,700.00	Q	1,700.00
Computadora	1	Q 7,000.00	Q	7,000.00
Celular y servicio de internet	9	Q 275.00	Q	2,475.00
Total			Q	14,303.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

REFERENCIAS

1. Acevedo, J. (2019). *Gestión de un programa de mantenimiento preventivo para retroexcavadora Case 580 de 98 HP, en empresa dedicada a la renta de maquinaria y servicio de la construcción bajo la normativa ISO 9001* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12637/1/Jos%C3%A9%20Mar%C3%ADa%20Acevedo%20Dard%C3%B3n.pdf>
2. Amendola, L. (Septiembre, 2004). *Sistemas Balanceados de Indicadores en la Gestión de Activos Maintenance Scorecard. // Congreso Mundial de Mantenimiento*. Congreso llevado a cabo en Curitiba, Brasil. Recuperado de <http://mantenimientomundial.com/notas/SBI.pdf>
3. Anaya, G. (2020). *Diseño de la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Río Claro – Antioquia* (tesis de maestría). Universidad EAN, Bogotá, D.C., Colombia. Recuperado de <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/10058/AnayaGerman2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

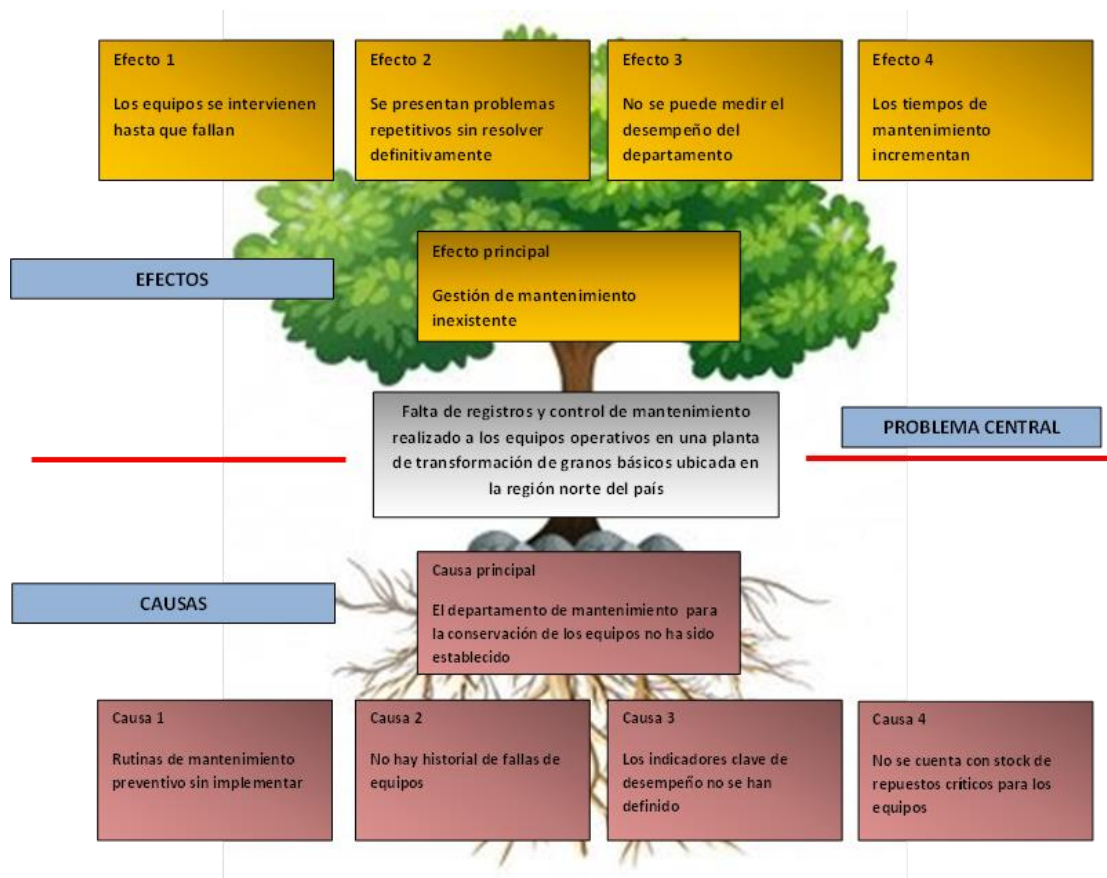
4. Castillo, J. (2019). *Desarrollo de un plan de mantenimiento, basado en el modelo de gestión de calidad TPM, con enfoque sistemático para equipos críticos dentro de una edificación y sus instalaciones* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12463/1/Jos%C3%A9%20Antonio%20Castillo%20Ch%C3%A1vez.pdf>
5. Cuatrecasas, L. y Torrell, F. (2010). *TPM en un entorno Lean Management: Estrategia competitiva*. Barcelona, España: Profit.
6. Duffuaa, S., Raouf, A. y Dixon, J. (2000). *Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control*. México DF, México: Limusa.
7. García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
8. Herrera, C. (2018). *Desarrollo de la metodología 5'S para el área de colonias como pilar del manejo productivo total (TPM) y mejora de la productividad, en una empresa cosmética* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10311/1/Carolina%20Herrera%20Rosales.pdf>

9. Maya, J. (2018). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/64727/98702383.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. Mora, A. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. México DF, México: Alfaomega Grupo Editor.
11. Navarro, L., Pastor, A. y Mugaburu, J. (2000). *Gestión integral de mantenimiento*. Barcelona, España: Marcombo.
12. Pérez, F. (1996). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*. Bucaramanga, Colombia: Ediciones USTA.
13. Prando, R. (1996). *Manual de Gestión de Mantenimiento a la Medida*. Guatemala, Guatemala: Piedra Santa.
14. Tavares, L. (1999). *Administración Moderna de Mantenimiento*. Sao Paulo, Brasil: Novo Polo Publicaciones.
15. Suzuki, T. (1995). *TPM en industrias de proceso*. Madrid, España: TGP Hoshin.

16. Zepeda, H. (2018). *Estudio para la implementación del modelo operativo: Área mantenimiento compañía minera Centinela* (tesis de maestría). Universidad de Chile, Santiago de Chile. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151970/Estudio-para-la-implementaci%C3%B3n-del-modelo-operativo-%C3%81rea-mantenimiento.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problema



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Línea de investigación	Título	Problema	Pregunta central	Preguntas secundarias	Objetivo central	Objetivos secundarios
Área de Operaciones: Optimización de operaciones y procesos	Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento basado en los enfoques TPM y RCM, para optimizar las operaciones y procesos de una planta de transformación de granos básicos ubicada en la región norte de Guatemala	Falta de registros y control de mantenimiento realizado a los equipos operativos en una planta de transformación de granos básicos en la región norte de Guatemala	¿Cuál es el modelo de gestión de mantenimiento para optimizar las operaciones y procesos de una planta de transformación de granos básicos?	¿Cómo se lleva a cabo el control y ejecución de mantenimiento preventivo de los equipos de la planta de transformación de granos básicos?	Diseñar un modelo de gestión de mantenimiento basado en los enfoques TPM y RCM, para optimizar las operaciones y procesos de una planta de transformación de granos básicos ubicada en la región norte de Guatemala	Realizar un diagnóstico del control y ejecución de mantenimiento preventivo de los equipos de la planta de transformación de granos básicos
				¿Cuáles son los factores que influyen en la falta de ejecución y control de mantenimiento en los equipos?		Definir los factores que influyen en la falta de ejecución y control de mantenimiento en los equipos
				¿Cuáles son los indicadores clave de desempeño en el área de mantenimiento de la empresa de transformación de granos básicos?		Determinar los indicadores clave de desempeño en el área de mantenimiento de la empresa de transformación de granos básicos

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.