



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN LOS EQUIPOS DE ENSACADO DE LA LÍNEA UNO DE
UNA PLANTA CEMENTERA EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

Angel Alberto Quelex Vicente

Asesorado por la Mtr. Ing. Victor Hugo Cuevas Aguilar

Guatemala, julio de 2025

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN LOS EQUIPOS DE ENSACADO DE LA LÍNEA UNO DE
UNA PLANTA CEMENTERA EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ANGEL ALBERTO QUELEX VICENTE

ASESORADO POR MTR. ING. VICTOR HUGO CUEVAS AGUILAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2025

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. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Dr. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO (a. i.)	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortíz
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
SECRETARIO	Dr. 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 INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN LOS EQUIPOS DE ENSACADO DE LA LÍNEA UNO DE
UNA PLANTA CEMENTERA EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 26 de febrero de 2025.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Angel Alberto Quelex Vicente', with a large, stylized circular flourish at the end.

Angel Alberto Quelex Vicente



EEPFI-PP-9349-2025

Guatemala, 3 de mayo de 2025

Director

Gilberto Enrique Morales Baiza
Escuela De Ingenieria Mecanica
Presente.

Estimado Gilberto Enrique Morales Baiza

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 INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN LOS EQUIPOS DE ENSACADO DE LA LÍNEA UNO DE UNA PLANTA CEMENTERA EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión del Mantenimiento - Control de efectividad de mantenimiento basado en indicadores (disponibilidad, tiempo entre fallas, criticidad, tiempo medio entre fallas, entre otros)**, presentado por el estudiante **Angel Alberto Quelex Vicente** carné número **200313113**, 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 Ingeniería De Mantenimiento.

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. Victor Hugo Cuevas Aguilar
Asesor(a)

Victor Hugo Cuevas Aguilar
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 9735

Mtra. Rocio Carolina Medina Galindo
Coordinador(a) de Maestría

Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Oficina Virtual





EEP-EIM-8857-2025

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 INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN LOS EQUIPOS DE ENSACADO DE LA LÍNEA UNO DE UNA PLANTA CEMENTERA EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Angel Alberto Quelex Vicente**, 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 Enrique Morales Baiza
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica

Guatemala, mayo de 2025

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte de la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN LOS EQUIPOS DE ENSACADO DE LA LÍNEA UNO DE UNA PLANTA CEMENTERA EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**, presentado por: **Angel Alberto Quelex Vicente** 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, julio de 2025



Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2025 Correlativo: 577 CUI: 1979885390110

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por tus infinitas bendiciones a lo largo de mi vida, por ser la luz en mi camino y regalarme la sabiduría, entendimiento, consejo, fortaleza, piedad y temor de su grandeza para alcanzar mis objetivos.
Mi madre	Marta Cotzoyay, como recompensa a su sacrificio y amor incondicional.
Mi padre	Margarito Quelex, por ser mi soporte y dirección en los momentos difíciles.
Mis hijos	Alejandro y Sofía, para que este esfuerzo sea ejemplo de perseverancia para lograr todo lo que se propongan.
Mi esposa	Claudia, por tu esfuerzo y apoyo durante el proceso de formación académica superior, pero sobre todo por creer en mí.
Mis hermanos	Gabriel y Edgar, por ser parte de mi vida y brindarme su ayuda en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haber proporcionado los recursos para mi formación académica profesional, en especial a la facultad de Ingeniería quien forjó mi crecimiento intelectual al pasar por sus aulas.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por haber brindado la oportunidad de desarrollar mi crecimiento profesional al aportar los conocimientos necesarios para la realización del presente diseño de investigación.
Mi Asesor	Por su orientación durante la elaboración del presente trabajo de graduación.
Mi familia	Por ser la motivación que permite superar todas las dificultades.
Ingeniero	Juan Luis García Castellanos, por su confianza al promover mi desarrollo profesional.
Mis primos y amigos	Por los buenos momentos que hemos vivido y por brindarme su amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3.1. Contexto general	5
3.2. Descripción del problema	6
3.3. Formulación del problema	6
3.3.1. Pregunta central	7
3.3.2. Preguntas auxiliares	7
3.4. Delimitación del problema	7
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	13
7. MARCO TEÓRICO.....	17

7.1.	Gestión del mantenimiento industrial	17
7.1.1.	Tipos de mantenimiento	19
7.1.2.	Análisis de criticidad	20
7.2.	Definición del TPM	20
7.2.1.	Pilares del TPM	20
7.3.	Mantenimiento autónomo (AM)	21
7.3.1.	Principios del mantenimiento autónomo.....	22
7.3.2.	Beneficios del mantenimiento autónomo.....	22
7.3.3.	Factores clave	23
7.4.	Etapas del mantenimiento autónomo	23
7.4.1.	Limpieza inicial	23
7.4.2.	Eliminación de focos de contaminación y áreas de difícil acceso	24
7.4.3.	Estándares de limpieza y lubricación	24
7.4.4.	Inspección general	25
7.4.5.	Inspección autónoma	26
7.4.6.	Organización y orden	26
7.5.	Auditoría del mantenimiento autónomo.....	28
8.	METODOLOGÍA	29
8.1.	Características del estudio	29
8.1.1.	Diseño	29
8.1.2.	Tipo de estudio.....	29
8.1.3.	Alcance.....	30
8.2.	Unidades de análisis	30
8.3.	Variables	30
8.4.	Fases de estudio	32

9.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	35
10.	CRONOGRAMA.....	37
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	39
	REFERENCIAS	41
	APÉNDICES	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Esquema de solución.....	15
Figura 2.	Esquema del modelo de gestión del mantenimiento	18
Figura 3.	Evolución del mantenimiento	19
Figura 4.	Pilares del TPM	21
Figura 5.	Cronograma de actividades	37

TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variables para diagnóstico, implementación y capacitación en mantenimiento autónomo.....	31
Tabla 2.	Técnicas de análisis de la Información	35
Tabla 3.	Detalle del presupuesto de la investigación	40

GLOSARIO

Autónomo	Algo o alguien que tiene la capacidad de gobernarse, controlarse o funcionar por sí mismo sin depender de otro.
Disponibilidad	Capacidad de algo o alguien para estar accesible o utilizable cuando se necesita.
Ensacado	Es el proceso de llenar, sellar y preparar sacos o bolsas con un producto determinado, generalmente para su almacenamiento, transporte y comercialización.
Falla funcional	Se refiere a la incapacidad de un equipo, sistema o componente para desempeñar su función principal de acuerdo con los requisitos operacionales establecidos. No necesariamente implica un daño físico, sino que el equipo ya no cumple con su propósito de manera efectiva.
Paletizado	Es el proceso de organizar y apilar mercancías, productos o sacos sobre un palet (plataforma de madera, plástico o metal) para facilitar su manipulación, almacenamiento y transporte.
Rutina	Conjunto de acciones o actividades que se realizan de manera habitual o periódica, siguiendo un orden establecido.

LISTA DE SÍMBOLOS

RACI	Herramienta de gestión de proyectos que define y clarifica los roles y responsabilidades de cada miembro del equipo para cada tarea o actividad del proyecto.
h	Hora
MA	Mantenimiento autónomo
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i> o tiempo medio entre fallas
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i> o tiempo medio para reparar
Q	Quetzales
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> o mantenimiento productivo total

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación se define como una innovación en el ámbito del mantenimiento industrial, ya que promueve una nueva cultura organizacional por medio de la integración de uno de los pilares de la filosofía del TPM con el mantenimiento preventivo. Busca involucrar a los operadores para que realicen tareas que promuevan renovar su rol operativo y generar participación en el mantenimiento.

La problemática se presenta en el área de envasado y despacho de una planta cementera guatemalteca, debido al requerimiento de una operación continua de alta calidad y seguridad. Cuenta con equipos de ensacado y paletizado en los que se han identificado fallas funcionales persistentes que pueden ser mitigadas por los operadores que demandan prioridad de intervención a los técnicos de turno, los cuales son limitados, y que también atienden equipos de alta criticidad. De igual manera, el departamento de mantenimiento requiere que los operadores realicen ajustes precisos y reportes de falla certeros que permitan priorizar oportunamente las tareas.

El proyecto beneficiará el proceso de ensacado de cemento y la industria guatemalteca que emplea equipos automatizados para envasado de productos, al reducir paros no planificados, minimizar fallas, aumentar la eficiencia, mejorar la calidad y disminuir costos de mantenimiento y producción. Además, busca fomentar una nueva cultura organizacional mediante la aplicación de conocimientos adquiridos en la maestría, en áreas como Administración del mantenimiento, Seminario de mantenimiento predictivo, Análisis de fallas mecánicas y Seguridad y Medio ambiente en el mantenimiento.

Los resultados esperados serán los documentos que detallan el diagnóstico de los equipos, las rutinas de inspección, limpieza y lubricación de los operadores y matriz de responsabilidades, así como también el programa de capacitación para la implementación del mantenimiento autónomo.

El esquema de solución propone realizar un diagnóstico inicial de los equipos, análisis de fallas, plantear objetivos del plan, estandarizar rutinas, asignación de roles, la implementación del plan y evaluar los resultados.

El proyecto se desarrollará en cinco fases: primero, la revisión documental, en la cual se realizará un diagnóstico de los equipos de ensacado mediante análisis de criticidad e indicadores de mantenimiento; luego, la planificación del muestreo, donde se realizará un análisis de fallas recurrentes a través de un diagrama de Pareto, el cual definirá que instrumentos de recolección de datos serán empleados para obtener los resultados del proyecto; seguido del diseño de instrumentos de recolección de información y documentación de inspecciones que darán origen al plan de mantenimiento. Posteriormente, en el trabajo de campo, se implementará un programa de capacitación y la implementación del plan. Por último, se presentarán los resultados en la elaboración del informe final.

Los capítulos que conforman el informe final serán: primero, la descripción del marco referencial; es decir, la descripción del área de envasado y despacho de cemento y el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos, las necesidades por cubrir, la metodología, técnicas de investigación y la factibilidad del estudio; segundo, marco teórico, donde se desarrollará la teoría necesaria para elaborar el plan; tercero, desarrollo de la investigación.

Como cuarto capítulo, se presentarán los resultados obtenidos y finalmente, en el quinto se discutirán los resultados.

2. ANTECEDENTES

Algunos trabajos de investigación actuales, concernientes al mantenimiento autónomo, que generan soporte a la presente investigación se detallan a continuación:

En el artículo de la revista brasileña *Brazilian Journal of Production Engineering* se describe la aplicación de tres pasos del mantenimiento autónomo en una fábrica de papel corrugado en un periodo de noventa días, donde Borges et al. (2024) proponen que, para mejorar la eficiencia, aumentar la productividad y minimizar costos, la estrategia más acertada es la capacitación del equipo en una metodología validada y adoptada por importantes empresas multinacionales. Esto genera una cultura organizacional, implementación de actividades clave como limpieza, inspección, lubricación y ajuste estandarizado, reducción de paradas no planificadas y prevención de acumulación de anomalías.

Seguidamente, Lazo (2023) desarrolla una tesis que describe la implementación del mantenimiento autónomo en un proceso de manufactura de ladrillos, con el propósito de reducir los paros de máquina no programados. Detalla el proceso de manufactura y destaca la mejora en la efectividad global del equipo (OEE) en un 13%. También describe procedimientos operativos, instrumentos para la recolección de datos, como parte de un plan para la mejora continua y entrenamiento de personal, los cuales aporta herramientas importantes para la elaboración de esta investigación.

En el contexto nacional, López (2023) propone un estudio de factibilidad donde se evalúa la viabilidad técnica y operativa de la implementación del plan

de mantenimiento en una exportadora de vegetales. Este diseño de investigación estructurado permite la planificación y análisis previo a la implementación, en el cual, mediante observación, entrevistas y análisis documental plantea los requisitos técnicos y operativos para la reducción de tiempos de inactividad, mejora de la eficiencia operativa y reducción de costos por mantenimientos correctivos. Así mismo, identifica los recursos necesarios para la implementación como, por ejemplo, la asignación de responsabilidades.

Por su parte, Silva (2020) desarrolla una propuesta orientada a la implementación del mantenimiento autónomo, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa de los equipos en las líneas de embolsado del área de producción de la empresa Cementos Pacasmayo, en su planta ubicada en Piura. Es una investigación descriptiva con diseño no experimental, enfocada en tres equipos en los que se evidencian fallas y paradas recurrentes. Por medio de entrevistas, análisis documental y observación establece que la aplicación del mantenimiento autónomo puede reducir fallas en los equipos y evitar pérdidas económicas. Propone programas de capacitación y documentación técnica orientados a fortalecer las competencias del personal operativo.

Finalmente, otra referencia indica que al implementar un plan de mantenimiento autónomo con tareas específicas de limpieza, inspección y lubricación realizadas por los operadores se incrementa de manera significativa la disponibilidad de los equipos a través del análisis de los principales indicadores del mantenimiento. Toma en cuenta la importancia del entrenamiento de los operadores para garantizar la efectividad del mantenimiento autónomo (Alcázar, 2019).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

El cemento es uno de los principales materiales utilizados en la industria de la construcción y, como mezcla de uso universal, posee ciertos elementos y características que lo hacen singular frente a una gran variedad de materiales presentes en la naturaleza y entre los elaborados a través de procedimientos industriales simples o complejos.

La demanda y producción a nivel mundial tiene diferentes comportamientos de acuerdo con la región y el desarrollo de los diferentes países. A través de toda la historia de la producción de cemento, este ha evolucionado y se ha convertido en un material que responde a la mayoría de las necesidades mecánicas que las construcciones modernas exigen.

La problemática por desarrollar se enfoca en el área de envasado y despacho de una planta cementeras de Guatemala ubicada en el municipio de San Juan Sacatepéquez, la cual presenta la oportunidad de innovar en la gestión del mantenimiento al considerar la participación del personal operativo.

Para el departamento de envasado y despacho es necesario contar con una alta disponibilidad de los equipos que intervienen en el proceso, desde la extracción hasta el paletizado, las veinticuatro horas del día, los siete días de la semana. Por consiguiente, se requiere de un plan de mantenimiento enfocado en la productividad que permita aumentar la disponibilidad, reducir los defectos

de calidad, reducir costos de producción, garantizar la seguridad en la operación, minimizar costos de mantenimiento.

3.2. Descripción del problema

La problemática se centra en la búsqueda de una estrategia para la gestión del mantenimiento que aumente la disponibilidad de los equipos de ensacado y paletizado. Los paros recurrentes afectan la producción y en algunos casos prolongan los tiempos de despacho al poner en riesgo el *stock* en bodega y tiempos de despacho, que impacta la calidad del servicio. Así mismo, el departamento de mantenimiento cuenta con personal de turno limitado para atender fallas emergentes en todo el proceso de producción del cemento, que derivan en tiempos altos de respuesta, requerimiento de reportes de fallas precisas para la oportuna programación de mantenimientos, rutinas de inspección operativas certeras que eviten fallas críticas por desgaste prematuro en los elementos de máquina y criterios unificados para ajustes de máquina por parte de los operarios.

3.3. Formulación del problema

La problemática se presenta debido al requerimiento de una operación continua de alta calidad y seguridad de los equipos de ensacado y paletizado, en los que se han identificado fallas funcionales persistentes que pueden ser detectadas prematuramente por los operadores y que demandan prioridad de intervención a los técnicos de turno. Estos son limitados, ya que también atienden equipos de alta criticidad distribuidos en otros procesos productivos del cemento. Así mismo, el departamento de mantenimiento requiere que los operadores generen reportes certeros e intervenciones precisas para los ajustes de máquina

que permitan priorizar las tareas preventivas o correctivas sin afectar la producción.

3.3.1. Pregunta central

¿Cómo implementar un plan mantenimiento preventivo para optimizar la confiabilidad y minimizar costos de reparación para los equipos de ensacado y paletizado de la línea uno en una planta cementera ubicada en el municipio de San Juan Sacatepéquez, Guatemala?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuál es el estado actual en los equipos de ensacado de cemento de la línea uno?
- ¿Qué procedimientos deben implementarse en el plan de mantenimiento autónomo para los equipos de ensacado de cemento?
- ¿Cuál es el programa de capacitación destinado a que los operadores apliquen el mantenimiento autónomo en los equipos de ensacado de cemento?
- ¿Qué indicador de mantenimiento permiten evaluar la efectividad del mantenimiento autónomo en los equipos de ensacado de cemento?

3.4. Delimitación del problema

Tras la descripción y determinación de la disponibilidad de los equipos de ensacado y paletizado de la línea uno, se definirán los pasos para desarrollar la propuesta del plan de mantenimiento autónomo y su respectivo programa de capacitación. El periodo objeto de estudio corresponde a un periodo de seis meses, los cuales corresponden al segundo semestre del año 2025.

4. JUSTIFICACIÓN

El trabajo de investigación pertenece a la línea de Gestión del mantenimiento correspondiente al área administrativa de la maestría en Ingeniería de mantenimiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala, debido a que se plantea aumentar la efectividad del mantenimiento por medio del mantenimiento autónomo, pilar fundamental del TPM. Está orientado a optimizar la disponibilidad de los equipos y enfocada en resolver las fallas funcionales que puedan prevenirse en la fase inicial por los operarios al realizar rutinas básicas de mantenimiento.

Se aportará un beneficio directo a las operaciones de ensacado de cemento y a la industria guatemalteca asociada a procesos de ensacado o envasado de diversos productos por medio de equipos automatizados. De tal manera que, a través de la integración de un nuevo enfoque del mantenimiento preventivo, como el mantenimiento autónomo, se obtenga la reducción de la inactividad de los equipos por paros no planificados. Además, minimizar fallas funcionales, aumentar la eficiencia de los equipos, mejorar la calidad de los productos y generar una reducción de costos tanto para mantenimiento como para la producción.

La expectativa para el siguiente proyecto de investigación es la implementación de una estrategia de mantenimiento que aporte a la industria en general las bases de una nueva cultura organizacional a través de la aplicación de los siguientes cursos de la maestría: administración del mantenimiento, seminario de mantenimiento predictivo, análisis de fallas mecánicas, seguridad y medio ambiente en el mantenimiento.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un plan de mantenimiento autónomo para los equipos de ensacado de la línea uno en una planta cementera ubicada en San Juan Sacatepéquez, Guatemala.

5.2. Específicos

1. Diagnosticar el estado actual de los equipos de ensacado de la línea uno.
2. Desarrollar los procedimientos para la implementación del plan de mantenimiento autónomo de los equipos de ensacado de cemento.
3. Establecer el programa de capacitación de los operadores para mantenimiento autónomo de los equipos de ensacado.
4. Evaluar la efectividad del mantenimiento autónomo de los equipos de ensacado por medio del porcentaje de disponibilidad.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En el sector de la construcción de Guatemala, uno de los insumos más importantes es el cemento. Para su distribución requiere ser ensacado, proceso que es automatizado y preciso. Inicia con el transporte de cemento desde los silos hacia las ensacadoras, las cuales están equipadas con boquillas llenadoras que introducen el material a los sacos de papel multicapa, colocados por un aplicador automático. Posteriormente, los sacos llenos son transportados hacia la etapa de control de calidad, donde son pesados y fechados. Los sacos llenos y sellados se paletizan en tarimas mediante equipos automáticos para luego ser despachados o almacenados según sea el caso. Este proceso asegura que el cemento llegue a su destino en óptimas condiciones y listo para su uso en la construcción.

Debido al crecimiento de la demanda en el sector de la construcción se requiere de una óptima disponibilidad de los equipos que intervienen en el proceso de ensacado. Para ello se plantea un plan de mantenimiento autónomo enfocado en la optimización de la disponibilidad, que derive en alta eficiencia productiva y reduzca los costos de mantenimiento mediante la intervención oportuna de los operarios al realizar actividades básicas de mantenimiento.

Durante un periodo de 6 meses se realizará el diagnóstico de las condiciones actuales de los equipos de ensacado, se analizarán las fallas, tiempos de reparación y disponibilidad. Así mismo, se definirán los factores para la implementación y gestión de un plan de mantenimiento autónomo para los equipos de ensacado.

El estudio se llevará a cabo bajo un esquema de cinco fases, las cuales conllevan al cumplimiento de los objetivos planteados.

En la fase uno, revisión documental, se llevará a cabo un diagnóstico de las condiciones actuales de los equipos de ensacado mediante la descripción de los equipos, análisis criticidad (2 semanas).

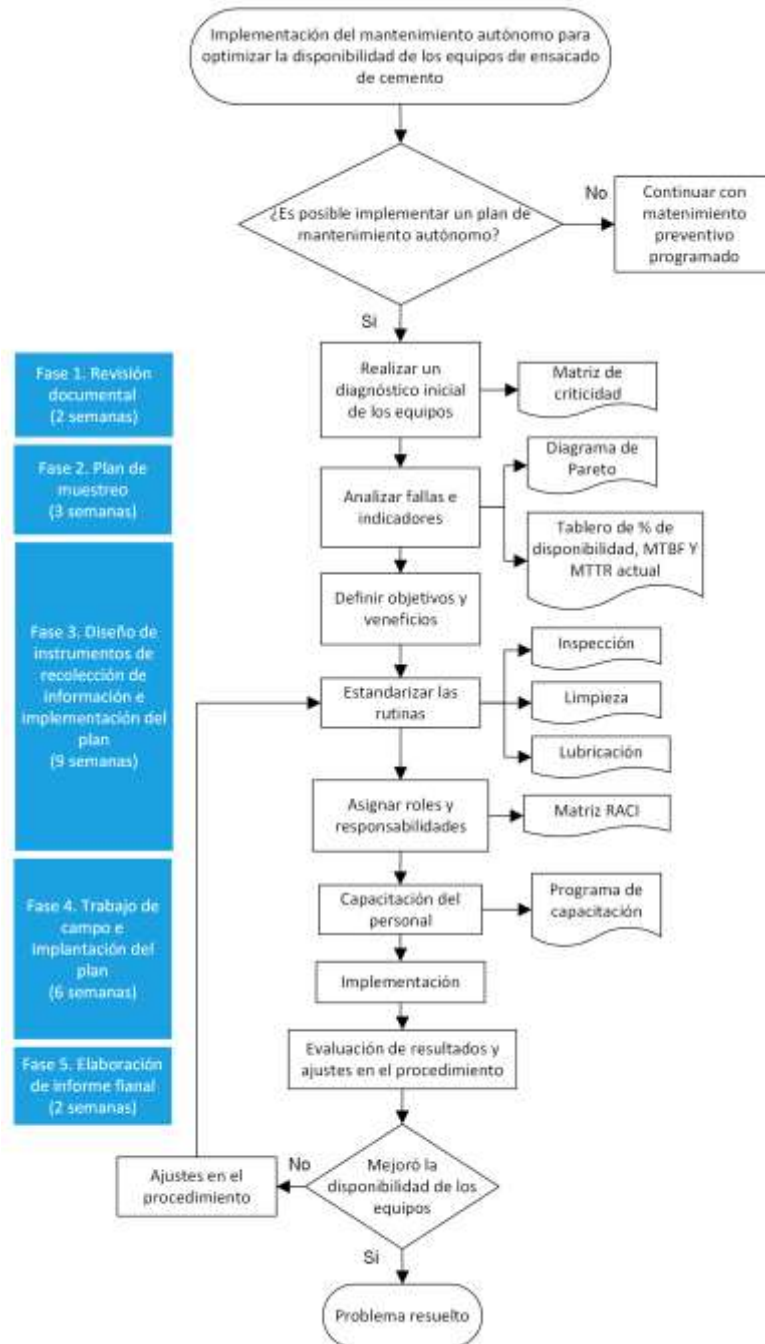
Para la fase dos, plan de muestreo, se planificará la recolección de datos, se realizará un análisis de fallas y se establecerá un tablero de indicadores productivos y de mantenimiento (3 semanas).

En la fase tres, diseño de instrumentos de recolección de la información e implementación del plan, se definirán el alcance del plan de mantenimiento y se elaborará la documentación pertinente para las rutinas operativas y la asignación de roles y responsabilidades (9 semanas).

En la cuarta fase, trabajo de campo e implantación del plan, se establecerá un programa de capacitación y se trabajará en la implantación del mantenimiento autónomo para los equipos de ensacado de cemento (6 semanas).

Finalmente, la quinta fase donde se plasmarán los resultados será la elaboración de informe final (2 semanas).

Figura 1.
Esquema de solución



Nota. Descripción del esquema de solución del problema. Elaboración propia, realizado con Microsoft Visio.

7. MARCO TEÓRICO

Para abordar la problemática se revisarán los conceptos y teorías que dan soporte a la investigación. Se proporciona de esta manera el fundamento teórico y práctico que sustenta la propuesta de solución.

7.1. Gestión del mantenimiento industrial

En el ámbito industrial, el mantenimiento se define como un conjunto de actividades de aspecto técnico, administrativo y organizacional que se aplican durante el ciclo de vida útil de los activos físicos, con el propósito de conservar sus condiciones de operación o restablecerlas cuando han sido afectadas. Estas acciones son sumamente importantes para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y sistemas, así como para prevenir fallas que puedan generar paros no programados o afectar la calidad del producto final (European Committee for Standardization, 2010).

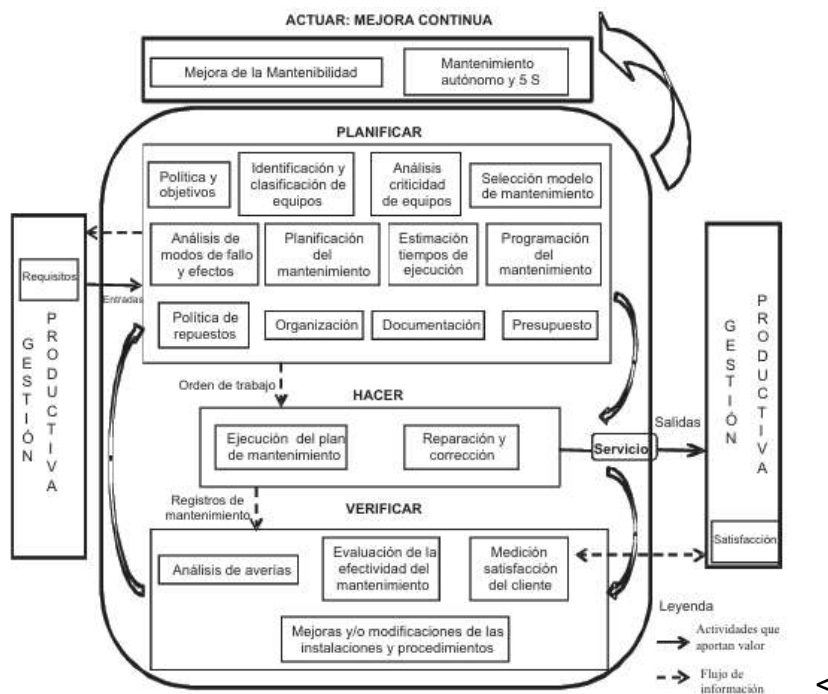
El objetivo principal de la gestión de mantenimiento en general se basa en aumentar la disponibilidad de los activos y optimizar costos, que deriva en que dichos activos funcionen con eficacia y confiabilidad (Amendola, 2006).

En su *Modelo de gestión de mantenimiento*, figura 2, Ortiz (2010) explica lo siguiente: de izquierda a derecha, representando al cliente, se encuentra la gestión productiva quien genera con sus requisitos las entradas al sistema, bloque Planificar. A continuación, se representa el flujo principal del proceso por medio de las órdenes de trabajo hacia el bloque Hacer, el cual permite el servicio de mantenimiento. Seguidamente, el bloque Verificar comprende el seguimiento

y la medición comparada con los objetivos, planes y tomas de acciones correctivas y preventivas. Finalmente, en el bloque superior se encuentran las acciones para la mejora continua de la eficiencia de la gestión del mantenimiento, donde se encuentra el mantenimiento autónomo.

Figura 2.

Esquema del modelo de gestión del mantenimiento



Nota. Imagen del esquema de funcionamiento del modelo de gestión de mantenimiento. Obtenido de A. Ortiz (2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista Venezolana de Gerencia.* (p. 101)

7.1.1. Tipos de mantenimiento

Pinzón (2023) identifica que los tipos de mantenimiento que pueden ser implementados en diversas organizaciones incluyen: el correctivo, preventivo, predictivo, el productivo total (TPM), el centrado en la confiabilidad (RCM) y el mantenimiento basado en el riesgo (RMB).

Figura 3.

Evolución del mantenimiento



Nota. Imagen del esquema de evolución del mantenimiento. Obtenido de Instituto Tecnológico de Castilla y León. (2020). *Evolución de la gestión del mantenimiento hacia el mantenimiento 4.0* [Imagen]. En *Hacia el mantenimiento 4.0*. <https://itcl.es/blog/hacia-el-mantenimiento-40/>

7.1.2. Análisis de criticidad

Según Mendoza (2005), un análisis de criticidad tiene como propósito crear un método que proporcione una herramienta para identificar la jerarquía de procesos, sistemas y equipos en una planta compleja, que permite la clasificación de los componentes en secciones gestionables y auditables.

Matemáticamente, la criticidad resulta del producto de la frecuencia de eventos o fallas de un sistema o proceso y la consecuencia vinculada con el impacto operacional y productivo, costos operacionales y de mantenimiento, impacto en la seguridad y ambiente.

7.2. Definición del TPM

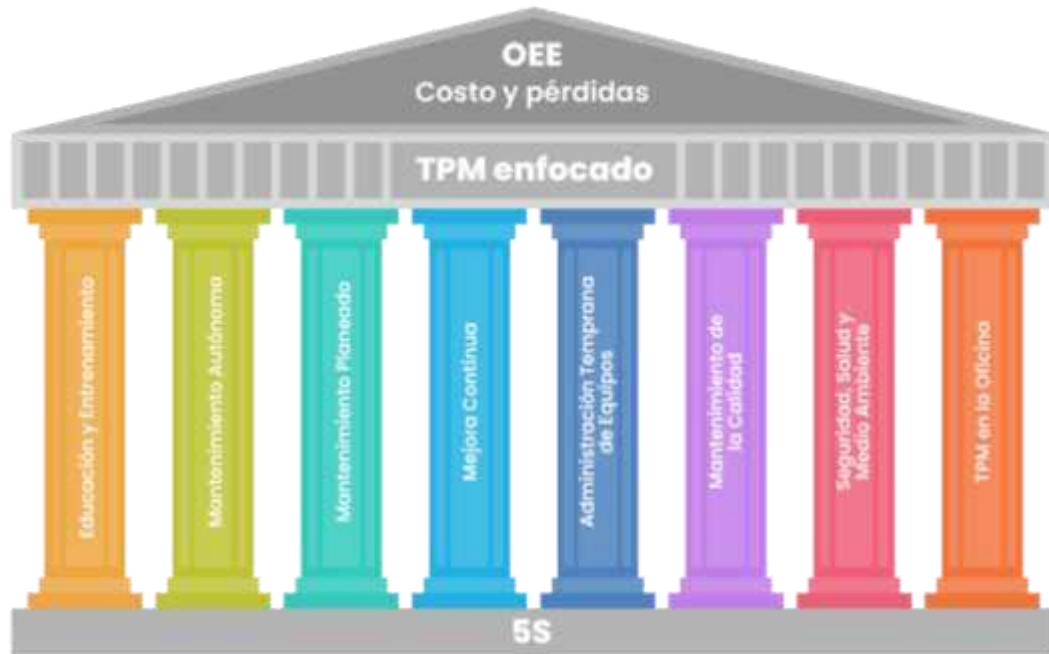
El TPM es una metodología industrial que originada en Japón en la década de 1970, como respuesta a la necesidad de mejorar la calidad de los productos y servicios. Promueve la integración entre los operadores, los equipos y la organización en su conjunto (Nakajima, 1988).

7.2.1. Pilares del TPM

Calle (2019) define que la implementación de la metodología TPM se fundamenta en ocho pilares, los cuales generan la ruta para lograr los objetivos como integrar el mantenimiento preventivo, predictivo y autónomo, eliminar fallas, tiempos muertos, accidentes y productos defectuosos, promover una nueva cultura organizacional.

Figura 4.

Pilares del TPM



Nota. Imagen de los pilares del TPM enfocado en los principios de manufactura esbelta.

Obtenido de SPC Consulting Group. (2024). Implementación TPM.

(<https://spcgroup.com.mx/producto/implementacion-tpm/>)

7.3. Mantenimiento autónomo (AM)

El mantenimiento autónomo puede definirse como un proceso mediante el cual los operadores asumen responsabilidades básicas de mantenimiento en sus equipos, como inspección, limpieza, lubricación, ajuste y detección de fallas (Osada, 1991).

Por otra parte, Nakajima (1988) indica que este enfoque permite que los equipos mejoren su disponibilidad y mitigan costos relacionados a paros de máquina imprevistos.

7.3.1. Principios del mantenimiento autónomo

Para iniciar la implementación deben considerarse los siguientes principios fundamentales:

- Empoderamiento del operador: la capacitación y entrenamiento de los operadores es primordial para la implementación mantenimiento autónomo, ya que deben comprender cómo llevar a cabo las tareas de forma efectiva y segura (Fractal 2023).
- Desarrollo de la autonomía: es importante minimizar la dependencia de los técnicos de mantenimiento, pero estos deben ser entrenado para la supervisión y apoyo (Fractal 2023).
- Prevención de fallas: para evitar fallas críticas es importante identificar los equipos críticos y su respectivo plan de mantenimiento preventivo (Fractal 2023).
- Implementación de las 5S: según Nakajima (1989), los principios básicos para la gestión de operaciones son la clasificación, el orden, la limpieza, la estandarización y la disciplina.

7.3.2. Beneficios del mantenimiento autónomo

Algunos de los veneficios identificados de la implementación del MA en el ámbito industrial se listan a continuación:

- Aumenta la disponibilidad de los equipos (Nakajima, 1989).
- Mayor eficiencia en el manejo de los recursos destinados mantenimiento y producción (Kaizen Institute, s.f.).
- Mayor seguridad y orden en el entorno de trabajo (Kaizen Institute, s.f.).
- Incremento en la eficiencia operativa y productividad (Swanson, 2001).

7.3.3. Factores clave

Para que el mantenimiento autónomo tenga éxito en un proceso industrial, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Compromiso de la alta dirección: fundamental para garantizar la implementación efectiva del programa (Wireman, 2004).
- Capacitación continua: la formación del personal debe ser constante (Moubray, 1997).
- Monitoreo y mejora continua: uso de indicadores clave para evaluar el impacto del mantenimiento autónomo (Smith, 2003).

7.4. Etapas del mantenimiento autónomo

Para evitar que el mantenimiento autónomo sea solamente un programa de limpieza superficial, el Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) recomienda que se adopte un enfoque de siete pasos, los cuales contienen el dominio progresivo de las 5's (Nakajima, 1988).

7.4.1. Limpieza inicial

En esta etapa se considera la limpieza a fondo como un proceso educativo, el cual tiene la finalidad de desarrollar en los operadores el sentido de pertenencia hacia sus equipos. De aquí se deriva la premisa “limpiar es inspeccionar”. También es necesario aunar el aprendizaje de técnicas básicas de lubricación y ajustes, lo cual permite que se genere la habilidad de detectar problemas en los equipos de manera prematura (Nakajima, 1988).

Algunos problemas que se pueden detectar a través de la inspección son: fugas, pizas sueltas, desgastes y otras anomalías que deterioran la salud de los equipos (Kaizen Institute, s.f.).

7.4.2. Eliminación de focos de contaminación y áreas de difícil acceso

Para esta etapa, los operadores deben apropiarse de medidas para la eliminación de las causas de suciedad y residuos de producción, con el fin de evitar su dispersión y adherencia, y minimizar de esta manera los tiempos de ejecución. En el caso de las zonas de difícil acceso, los ingenieros de mantenimiento deben diseñar procedimientos de limpieza e inspección especializados en la que puedan cooperar los técnicos y los operadores (Nakajima, 1988).

7.4.3. Estándares de limpieza y lubricación

Como consecuencia de las primeras dos etapas se deben estandarizar los procedimientos para que el mantenimiento autónomo se realice de forma rápida y eficaz. Evidentemente, el tiempo disponible para las rutinas es limitado, por lo que los supervisores deben asignar a los operadores periodos razonables para realizar dichas rutinas. Por ejemplo, se sugiere dedicar diez minutos diarios antes y después de la operación; treinta minutos durante los fines de semana o una hora al finalizar el mes para actividades de mantenimiento. Si estos tiempos no pueden cumplirse, deben promoverse soluciones creativas como el uso de controles visuales para los niveles de aceite, la reubicación de engrasadores o la implementación de métodos de lubricación más eficientes. Estos cambios deben planearse en colaboración con todas las partes involucradas (Nakajima, 1988).

7.4.4. Inspección general

Las etapas de uno a tres se realizan para prevenir el desgaste y controlar las condiciones básicas del mantenimiento del equipo. En el paso cuatro se pretende evaluar dicho desgaste de los activos a través de una revisión integral de sus condiciones, a la competencia de los operadores al trabajar para restaurar sus equipos a buenas condiciones de operación (Nakajima, 1988).

En un principio los líderes deben ser entrenados haciendo uso de un manual de inspección inicial preparado por mantenimiento, categoría por categoría. Posteriormente, los líderes deberán compartir los aprendizajes al resto del equipo, que trabajará de forma conjunta y esforzándose para aplicar lo aprendido. Finalmente, el departamento de mantenimiento y los líderes del MA optimizan las inspecciones y las mejoran (Nakajima, 1988).

Para que los resultados sean positivos, el entrenamiento debe ser auditado y reforzado con aplicaciones prácticas ya que este cuarto paso es extenso y cada operador debe desarrollar la capacidad de detectar anomalías. Los resultados serán paulatinos, pero al final de la implementación del cuarto paso, se verán cambios sorprendentes, como la reducción del 80 % de fallas de los equipos. Sin embargo, si no se han obtenido resultados para este momento, se deben retomar los primeros pasos hasta que las habilidades hayan sido dominadas por completo o puede ser indicio de que se debe trabajar en elevar el nivel técnico (Nakajima, 1988).

7.4.5. Inspección autónoma

Los estándares establecidos en las tres primeras etapas del MA y los estándares de inspección provisionales deben ser comparados y reevaluados para mejorarlos, para garantizar de esta manera el cumplimiento de los plazos y las metas establecidas para el MA (Nakajima, 1988).

7.4.6. Organización y orden

Seiri, términos japones que se traduce como “organización”, hace referencia al proceso de identificar aquellos factores del entorno laboral que deben ser gestionados y priorizados. Involucra directamente a los gerentes y supervisores, quienes deben minimizar y simplificar los objetos, materiales o condiciones innecesarios. *Seiton*, traducida como “orden”, implica apegarse a los estándares establecidos, responsabilidad que recae sobre los operadores, los cuales deben enfocarse en mejoras que faciliten alcanzar los estándares. En resumen, ambas actividades aseguran la implementación de la estandarización y el control visual del entorno productivo (Nakajima, 1988).

En el paso 6, los supervisores y gerentes toman la iniciativa en completar la implementación del mantenimiento autónomo al evaluar el rol de los operadores y aclarar sus responsabilidades. ¿Qué deben hacer los operadores para prevenir pérdidas por fallas y defectos, por ejemplo, y qué habilidades adicionales deben poseer? Con base en la experiencia de los operadores hasta este punto, los gerentes pueden querer ampliar el alcance de sus actividades relacionadas con el equipo. (Nakajima, 1988, p. 84)

Nakajima (1988) indica que los operadores, además de mantener las condiciones básicas de inspección, pueden tener las siguientes responsabilidades:

- Ajustes operacionales y verificación de la calidad del producto.
- Identificar y corregir de condiciones anormales de funcionamiento de los equipos.
- Registro y seguimiento de la información asociada a la operación, calidad y parámetros del proceso.
- Realizar ajustes y reparaciones básicas de maquinaria, moldes, plantillas y herramientas.

Implementación total del mantenimiento autónomo: en este último paso, Nakajima (1988) menciona que los involucrados desarrollan motivación y competencia, lo que genera independencia, capacitación y competencia. Así mismo, las actividades lideradas por mantenimiento y supervisores deben enfocarse en eliminar las seis grandes pérdidas, las cuales se listan a continuación:

- Paradas inesperadas debido a averías.
- Cambios de producto o ajustes.
- Atascos, sensores, piezas mal colocadas, etc.
- Operación de la máquina debajo de su velocidad óptima.
- Pérdida por productos defectuosos o reprocesos.
- Pérdidas por productos no conformes durante el arranque o calentamiento del equipo.

7.5. Auditoría del mantenimiento autónomo

Para que las auditorías sean efectivas, es primordial que el personal y los supervisores tengan conocimiento profundo del entorno laboral, brinden instrucciones claras y el apoyo necesario para motivar a los trabajadores, permitiéndoles experimentar la sensación de progreso y satisfacción conforme avanza cada etapa (Nakajima, 1988).

8. METODOLOGÍA

A continuación, se desarrolla la metodología para el presente trabajo de investigación:

8.1. Características del estudio

Las características del estudio se detallan a continuación.

8.1.1. Diseño

El diseño de esta investigación es no experimental, ya que no se realizarán manipulaciones ni intervenciones sobre las variables. En el proceso de ensacado de cemento se analizarán las siguientes variables: mediciones de incidencia de fallas, tiempo medio entre fallas, tiempo de reparación y disponibilidad de los equipos.

8.1.2. Tipo de estudio

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo, ya que se evaluarán las tendencias y se definirá el estado de condición, los puntos por mejorar, las técnicas de inspección, indicadores de mantenimiento, las rutas de inspección y la periodicidad de las rutinas. El estudio será transversal debido a que los datos se recolectarán en una sola ocasión.

8.1.3. Alcance

El alcance de esta investigación es de tipo descriptivo, ya que tiene como propósito desarrollar un plan de mantenimiento autónomo orientado a optimizar la disponibilidad operativa y reducir los costos asociados al mantenimiento y a la producción. La propuesta se aplicará específicamente a los equipos de ensacado de cemento de la línea uno en una planta cementera, y abordará aspectos técnicos, operativos y organizacionales que permitan mejorar la eficiencia del sistema productivo. El estudio contempla el diagnóstico del estado actual de los equipos, la estandarización de rutinas de inspección, limpieza y lubricación, así como la capacitación del personal operativo, para contribuir al fortalecimiento de una cultura de mantenimiento proactiva y sostenible.

8.2. Unidades de análisis

La población en estudio serán los activos de la línea uno de ensacado de cemento, la cual se encuentra dividida en subpoblaciones dadas por los equipos de aplicación automática, equipos de ensacado, sistema de bandas de pesaje y control de calidad, bandas de transporte y paletizado de sacos de cemento, la cual será estudiada en su totalidad.

8.3. Variables

A continuación, se describen las variables según su vinculación con cada objetivo:

Para el diagnóstico del estado actual de los equipos de ensacado, se consideran variables cuantitativas relacionadas con el porcentaje de criticidad, tipos de fallas más frecuentes, el tiempo medio entre fallas (MTBF) y la

disponibilidad operativa. Estos indicadores serán recolectados mediante herramientas como la matriz de criticidad, diagramas de Pareto y tableros de indicadores mensuales.

En lo que respecta a la implementación de rutinas de mantenimiento autónomo, se identifican variables cualitativas vinculadas a los tipos de rutinas asignadas a los operadores, su frecuencia, y el nivel de conocimientos técnicos necesarios para su ejecución. Estas serán documentadas a través de listas de verificación, cronogramas y matrices de responsabilidades.

Finalmente, para establecer el programa de capacitación del personal operativo, se consideran variables cualitativas como el tipo de entrenamiento requerido, los contenidos de los cursos y el costo estimado en horas hombre. Los datos se obtendrán mediante el análisis del temario de formación y el presupuesto asignado.

Tabla 1.

Operacionalización de variables para diagnóstico, implementación y capacitación en mantenimiento autónomo

Objetivo	Variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica / Instrumento
Diagnosticar el estado actual de los equipos de ensacado de la línea uno	Estado actual de los equipos	Cuantitativa	Porcentaje de criticidad	Matriz de criticidad
	Tipos de fallas	Cuantitativa	Clasificación de fallas mediante diagrama de Pareto (1er trimestre 2025)	Diagrama de Pareto
	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Cuantitativa	Valor promedio mensual	Tablero de indicadores mensual
	Disponibilidad operativa	Cuantitativa	Porcentaje de disponibilidad mensual	Tablero de indicadores mensual

Continuación de Tabla 1.

Desarrollar los procedimientos para la implementación del plan de mantenimiento autónomo de los equipos de ensacado de cemento	Rutinas de inspección, limpieza y lubricación para operadores	Cualitativa	Tipo de rutina aplicada (MA)	Listas de verificación
	Periodicidad de la rutina	Cualitativa	Frecuencia: diaria, semanal o quincenal	Cronograma de mantenimiento
	Nivel de conocimientos técnicos del operador	Cualitativa	Grado de dominio por responsabilidad asignada	Matriz de responsabilidades
Establecer el programa de capacitación de los operadores para mantenimiento autónomo de los equipos de ensacado	Programa de capacitación	Cualitativa	Tipo de entrenamiento (mecánico, automatización, etc.)	Temario de formación
	Contenidos de los cursos	Cualitativa	Nombre de los módulos o unidades formativas	Temario
	Costo de capacitación	Cuantitativa	Horas hombre estimadas	Presupuesto
Evaluar la efectividad del mantenimiento autónomo de los equipos de ensacado por medio del porcentaje de disponibilidad	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Cuantitativa	Valor promedio mensual	Tablero de indicadores mensual
	Disponibilidad operativa	Cuantitativa	Porcentaje de disponibilidad mensual	Tablero de indicadores mensual

Nota: Operacionalización de variables a partir de objetivos específicos y diseño metodológico del estudio. Elaboración propia, realizado en Microsoft Word.

8.4. Fases de estudio

El proceso para el cumplimiento de los objetivos del diseño de investigación se llevará a cabo de la siguiente forma:

- Fase 1. Revisión documental

Se llevará a cabo una descripción inicial de los equipos mediante una matriz de criticidad, construida a partir del análisis de la base de datos histórica de mantenimiento, la evaluación de los manuales técnicos proporcionados por el

fabricante y el estudio de las tendencias de los indicadores de mantenimiento correspondientes al primer trimestre del año 2025.

- Fase 2. Plan de muestreo

Se establecerán las directrices metodológicas para la recolección de información relevante. Posteriormente, se continuará con la evaluación del estado actual de los equipos, mediante el análisis de fallas, con el propósito de identificar aquellas que pueden ser mitigadas a través de la intervención directa de los operadores. Los resultados se representarán a través de un diagrama de Pareto correspondiente al primer trimestre del año 2025, complementado con un tablero de control que muestre los indicadores MTBF, MTTR y el porcentaje de disponibilidad. Para ello, se empleará la herramienta de hoja de cálculo y la generación de gráficos mediante Microsoft Excel.

- Fase 3. Diseño de instrumentos de recolección de la información e implementación del plan de mantenimiento

A partir de los objetivos definidos conjuntamente por las áreas de producción y mantenimiento, y considerando los beneficios proyectados de la implementación del mantenimiento autónomo, se establecerán los estándares operativos necesarios para las rutinas básicas de inspección, limpieza y lubricación en los equipos de ensacado de cemento. Estos estándares se plasmarán en listas de verificación estructuradas en Microsoft Word, adaptadas a las condiciones del área de ensacado y a los equipos de la línea uno.

Paralelamente, se desarrollará una matriz RACI como herramienta de gestión para la asignación clara de roles y responsabilidades, en la que se delimitará quiénes serán los responsables, los encargados de ejecutar, los

consultados y los informados durante la aplicación del mantenimiento autónomo. Esta estructura permitirá asegurar la participación del personal operativo y técnico, fomentar el sentido de pertenencia, la disciplina operativa y la sostenibilidad del plan a mediano y largo plazo.

- Fase 4. Trabajo de campo

En esta fase se definirá el programa de capacitación dirigido a los operadores, con el objetivo de prepararlos para participar activamente en la implantación del plan de mantenimiento autónomo en los equipos de ensacado de cemento de la línea uno. Para ello, se utilizarán listas de verificación que permitirán registrar información clave durante las actividades diarias. A partir de estos registros, los propios operadores generarán reportes que facilitarán la identificación de necesidades de intervención en los equipos. Toda la información recopilada se organizará en una base de datos que servirá para calcular indicadores importantes como el MTBF, MTTR y la disponibilidad, mediante herramientas de hoja de cálculo en Microsoft Excel.

- Fase 5. Elaboración de informe final

Se documentará el plan de mantenimiento autónomo aplicado a los equipos de ensacado de cemento de la línea uno. Además, se evaluarán los resultados obtenidos en términos de disponibilidad, mediante el análisis de la tendencia central de los indicadores de mantenimiento, desde el inicio de la implementación de las rutinas hasta la finalización del periodo de recolección de datos.

9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se emplearán diversas técnicas de análisis de la información para lograr los objetivos propuestos en este trabajo de investigación, con el fin de obtener los resultados de la implementación del plan de mantenimiento autónomo para la línea uno de ensacado de cemento.

Tabla 2.

Técnicas de análisis de la Información

Objetivo	Variable/Indicador	Tipo de presentación final	Tipo de análisis
Diagnosticar el estado actual de los equipos de ensacado de la línea uno	Estado operativo de los equipos Indicadores: MTBF, MTTR, disponibilidad	Tablero de control de indicadores Diagrama de Pareto del primer trimestre	Análisis de criticidad Estadística descriptiva (tendencia central) Interpretación del diagrama Pareto
Desarrollar los procedimientos para la implementación del plan de mantenimiento autónomo de los equipos de ensacado de cemento	Rutinas de inspección, limpieza y lubricación Cumplimiento por operador	Tendencia de cumplimiento de inspecciones y criticidad de los equipos	Análisis de la correlación entre el cumplimiento de las rutinas y la disponibilidad de los equipos
Establecer el programa de capacitación para los operadores de los equipos de ensacado	Programa de capacitación Contenido, duración y costo por curso	Tabla descriptiva del programa Resumen de costos por capacitación	Análisis de cobertura del programa Relación entre formación y participación en mantenimiento
Evaluar la efectividad del mantenimiento autónomo de los equipos de ensacado por medio del porcentaje de disponibilidad.	Estado operativo de los equipos Indicadores: MTBF, MTTR, disponibilidad	Tablero de control de indicadores	Estadística descriptiva (tendencia central)

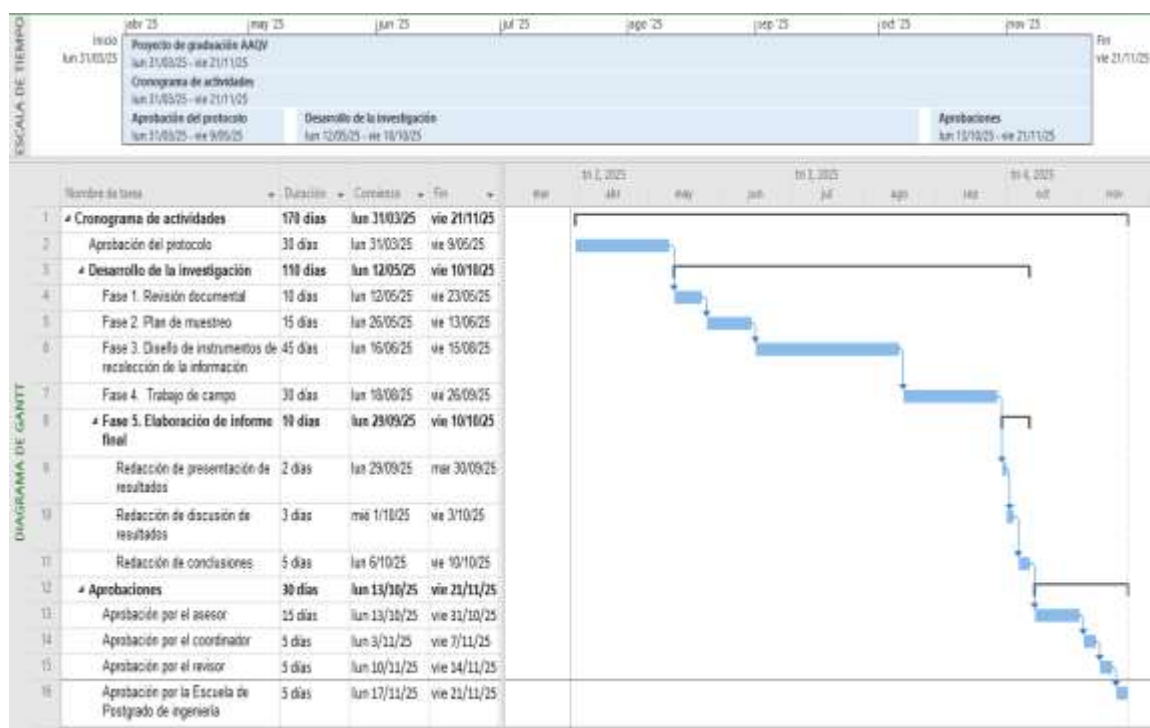
Nota: Técnicas de Análisis de la Información. Elaboración propia, realizado en Microsoft Word.

10. CRONOGRAMA

En el siguiente cronograma de trabajo se indica el tiempo necesario para realizar el trabajo de investigación.

Figura 5.

Cronograma de actividades



Nota. Cronograma de actividades para el desarrollo de la investigación. Elaboración propia, realizado en Microsoft Project.

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Este proyecto de investigación requiere diversos recursos que faciliten el acceso a la información necesaria como, por ejemplo, recursos humanos, tecnológicos y físicos.

- Recursos humanos: el investigador, el asesor y un operador experto que destine tiempo para la validación de las rutinas e instrumentos de recolección de datos.
- Recursos tecnológicos: se requiere de una impresora, tinta, computadora, acceso a internet y programas de Microsoft Office, los cuales serán utilizados para registrar y procesar la información necesaria para la investigación.
- Recursos de equipo: se cuenta con un vehículo que se empleará para desplazamiento del investigador al lugar de la investigación según sea necesario.
- Recursos físicos: es un espacio para el investigador con acceso a los servicios básicos para desempeñar las tareas requeridas y el espacio físico y tecnológico de la institución con acceso público para realizar la observación y registro de datos relevantes.

Tabla 3.*Detalle del presupuesto de la investigación*

Recursos	Descripción	Total	Fuente	Porcentaje
Humanos	Investigador	Q23,400.00	Propia	81.31%
	Asesor	Q0.00	Propia	0.00%
	Operador experto	Q1,500.00	Propia	5.21%
Tecnológicos	Impresora	Q500.00	Propia	1.74%
	Tinta	Q150.00	Propia	0.52%
	Computadora	Q500.00	Propia	1.74%
	Internet	Q150.00	Propia	0.52%
	Programas de Office	Q500.00	Propia	1.74%
	Vehículo	Q1,000.00	Propia	3.47%
Equipo				
Físicos	Oficina	Q1,000.00	Propia	3.47%
	Resma de hojas	Q80.00	Propia	0.28%
Total		Q28,780.00		100.00%

Nota. Detalle del presupuesto para la realización del proyecto de investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

El presupuesto para la investigación será cubierto en su totalidad por el investigador, quien asumirá el 100 % de los costos asociados al desarrollo del estudio.

REFERENCIAS

- Amendola, L. J. (2006). *Gestión de proyectos de activos industriales*. Ed. Univ. Politéc. Valencia.
- Alcázar Blanco, W., & Carbajal Martínez, H. J. (2019). *Implementación del plan de mantenimiento autónomo para mejorar la disponibilidad de los equipos en una industria gráfica, Lima – 2019*.
- Borges Junior, J. C., Souza Bortolin, J. P., Rampin, M., & Reis, R. (2024). *Implementação Da Manutenção Autônoma Em Máquinas De Corte E Vinco Em Uma Empresa De Papel Ondulado. Brazilian Journal of Production Engineering / Revista Brasileira de Engenharia de Produção*, 10(5), 1–8. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v10i5.46978>
- European Committee for Standardization. (2010). *EN 13306:2010 Maintenance terminology* [EN 13306:2010 Terminología del mantenimiento]. Brussels: CEN.
- Fractal. (2023, 9 de marzo). *El secreto del éxito en el TPM: Mantenimiento autónomo*. Fractal. <https://www.fractal.com/es/blog/que-es-el-mantenimiento-autonomo-en-tpm>
- Instituto Tecnológico de Castilla y León. (2020, 6 de agosto). *Hacia el mantenimiento 4.0*. <https://itcl.es/blog/hacia-el-mantenimiento-40/>

Kaizen Institute. (s.f.). *Mantenimiento autónomo: un pilar estratégico para la optimización del sistema de producción*. <https://kaizen.com/es/insights-es/mantenimiento-autonomo/>

Lazo Chávez, F. E. (2023). *Desarrollo del mantenimiento autónomo para reducir las paradas no programadas en un proceso de manufactura de ladrillos* [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/f0bad748-0051-43b8-88e3-a06213afa359>

López Ajxup, F. A. (2023). *Diseño de investigación de un estudio de factibilidad para la implementación de un plan de mantenimiento autónomo para las selladoras de bolsa del área de producción de una empresa exportadora de vegetales frescos* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/18741>

Mendoza, R. H. (2005). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Club de Mantenimiento, 12. https://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/de%20confiabilidad/ANALISIS%20DE%20CRITICIDAD.pdf

Montes, C. E. (2022). *Propuesta en gestión de mantenimiento para reducir los costos de una empresa agroindustrial, Ascope 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/32426>

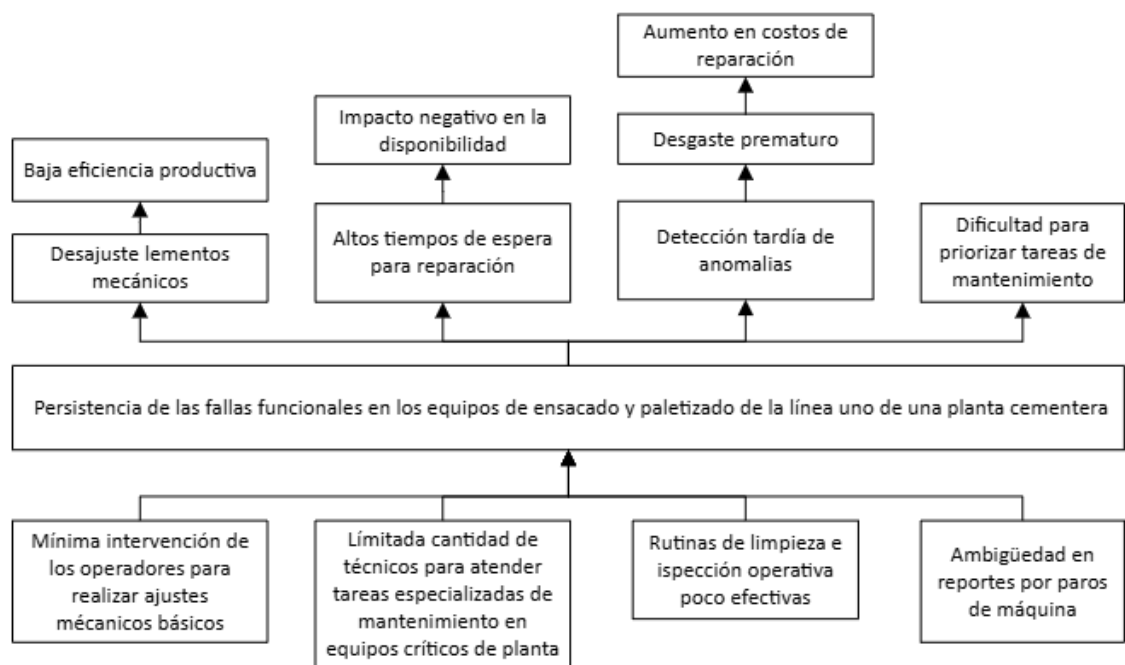
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)* [Introducción al Mantenimiento Productivo Total (TPM)]. Productivity Press.
- Nakajima, S. (1989). *TPM development program: Implementing total productive maintenance* [Programa de desarrollo TPM: Implementación del Mantenimiento Productivo Total]. Productivity Press.
- Ortiz Useche, A., Rodríguez Monroy, C., & Izquierdo, H. (2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista Venezolana de Gerencia*, 18(61), 86-104. <https://www.redalyc.org/pdf/290/29026161004.pdf>
- Osada, T. (1991). *The 5S's: Five keys to a total quality environment* [Las 5S: Cinco claves para un entorno de calidad total]. Asian Productivity Organization.
- Pinzón, C. (2023). *Tipos de mantenimiento*. Cmmshere. <https://cmmshere.com/wp-content/uploads/2023/01/art-CMMShere-tipos-mantenimiento.pdf>
- Silva Balmaceda, V. H. (2020). *Propuesta de mantenimiento autónomo, para mejorar la eficiencia de los equipos de las líneas de embolsado del área de producción de la empresa Cementos Pacasmayo, Piura, 2018*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/55578>
- SPC Consulting Group. (2024). *Implementación TPM*. <https://spcgroup.com.mx/producto/implementacion-tpm/>

Swanson, L. (2001). *Linking maintenance strategies to performance* [Vinculación de las estrategias de mantenimiento con el rendimiento]. *International journal of production economics*, 70(3), 237-244.

APÉNDICES

Apéndice 1.

Árbol del problema



Nota. Árbol del problema, empleado para el planteamiento del problema. Elaboración propia, realizado en Microsoft Visio.

Apéndice 2.

Matriz de coherencia entre los objetivos y las variables para diagnóstico, implementación y capacitación en mantenimiento autónomo

Objetivo	Variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica / Instrumento
Diagnosticar el estado actual de los equipos de ensacado de la línea uno	Estado actual de los equipos	Cuantitativa	Porcentaje de criticidad	Matriz de criticidad
	Tipos de fallas	Cuantitativa	Clasificación de fallas mediante diagrama de Pareto (1er trimestre 2025)	Diagrama de Pareto
	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Cuantitativa	Valor promedio mensual	Tablero de indicadores mensual
	Disponibilidad operativa	Cuantitativa	Porcentaje de disponibilidad mensual	Tablero de indicadores mensual
Desarrollar los procedimientos para la implementación del plan de mantenimiento autónomo de los equipos de ensacado	Rutinas de inspección, limpieza y lubricación para operadores	Cualitativa	Tipo de rutina aplicada (MA)	Listas de verificación
	Periodicidad de la rutina	Cualitativa	Frecuencia: diaria, semanal o quincenal	Cronograma de mantenimiento
	Nivel de conocimientos técnicos del operador	Cualitativa	Grado de dominio por responsabilidad asignada	Matriz de responsabilidades
Establecer el programa de capacitación de los operadores para mantenimiento autónomo de los equipos de ensacado	Programa de capacitación	Cualitativa	Tipo de entrenamiento (mecánico, automatización, etc.)	Temario de formación
	Contenidos de los cursos	Cualitativa	Nombre de los módulos o unidades formativas	Temario
	Costo de capacitación	Cuantitativa	Horas hombre estimadas	Presupuesto
Evaluar la efectividad del mantenimiento autónomo de los equipos de ensacado por medio del porcentaje de disponibilidad	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Cuantitativa	Valor promedio mensual	Tablero de indicadores mensual
	Disponibilidad operativa	Cuantitativa	Porcentaje de disponibilidad mensual	Tablero de indicadores mensual

Nota: Operacionalización de variables. Elaboración propia, realizado en Microsoft Word.

Apéndice 3.

Instrumento para la recolección de datos de los equipos y su respectiva ponderación para la evaluación de la criticidad

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMLA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO



Instrumento para la recolección de datos - Matriz de criticidad

CÓDIGO: _____
FECHA: _____

ENSACADORA LÍNEA 1			INCIDENCIA SOBRE LA PRODUCCIÓN			GRADO DE MANTENIBILIDAD			EXISTE ALGUN EQUIPO DE BACK-UP/ES EL EQUIPO REDUNDANTE		Sumatoria para el Criterio	% de criticidad	Criticidad de manto nueva
			Inmediato	<= 8 hrs.	> 8 hrs.	Alto	Medio	Bajo	SI	NO			
Núm.	CODIGO	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO	150	75	0	100	50	0	0	50			
1	SJ.611-BE1	UT Elevador de Cangilones 1	1			1			1		250.0	59%	A
2	SJ.611-BE2	UT Elevador de Cangilones 2		1			1		1		125.0	21%	B
3	SJ.611-BE3	UT Elevador de Cangilones 3			1			1		1	50.0	11%	C
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

Nota. Instrumento para recolección de datos y criticidad de los equipos. Elaboración propia, realizado en Microsoft Excel.

Apéndice 4.

Instructivo para el llenado de la tabla de criticidad para la ensacadora uno

Columna	Descripción	Acción	Valores posibles
Núm.	Número secuencial de los equipos en la lista.	Ingresar numeración continua	(1, 2, 3, ...)
CÓDIGO	Código técnico del equipo evaluado.	Ingresar el código interno	(ej. SJ.611-BE1).
DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO	Nombre técnico o funcional del equipo.	Especificar con claridad el nombre o función del equipo	(ej. UT Elevador de Cangilones)
INCIDENCIA SOBRE LA PRODUCCIÓN	Impacto que tiene la falla del equipo en la operación productiva.	Marcar solo una celda con "1" por fila:	• Inmediato = 150 pts. • ≤ 8 h = 75 pts. • > 8 h = 0 pts.
GRADO DE MANTENIBILIDAD	Dificultad para realizar tareas de mantenimiento.	Marcar solo una celda con "1" por fila:	• Alto = 100 pts. • Medio = 50 pts. • Bajo = 0 pts.
¿EXISTE BACK-UP O REDUNDANCIA?	Evalúa si existe otro equipo que pueda reemplazar al evaluado.	Marcar solo una celda con "1":	• Sí = 0 pts. • No = 50 pts.
SUMATORIA PARA EL CRITERIO	Suma de los puntos seleccionados por equipo según los criterios anteriores.	Automática: suma de los puntos seleccionados	ej. 425
% DE CRITICIDAD	Porcentaje de criticidad respecto al valor máximo posible (300 pts.).	Fórmula: $(\text{Suma} / 425) * 100$, donde 425 es el total acumulado actual	A (Alta): ≥ 50 %
CRITICIDAD DE MANTTO NUEVA	Categoría de criticidad asignada con base en el % de criticidad del equipo.	Interpretar el resultado	B (Media): 20–49 % C (Baja): < 20 %

Nota. Instructivo para recolección de datos y criticidad de los equipos. Elaboración propia, realizado en Microsoft Word

Apéndice 5.

Instrumento para la recolección de datos de los equipos para generación de diagrama de Pareto

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO



Instrucciones de llenado:

Campo	Descripción
N.º	Número correlativo del registro.
Fecha	Día en que ocurrió la falla.
Código del equipo	Código técnico o de inventario del equipo.
Nombre del equipo	Nombre funcional o técnico del equipo (ej. Ensacadora automática BE1).
Tipo de falla	Clasificación general (ej. mecánica, eléctrica, sensores, etc.).
Descripción de la falla	Breve descripción del problema detectado.
Cantidad de ocurrencias	Número de veces que ocurrió la falla durante el período analizado.
Tiempo perdido (min)	Tiempo total de parada causado por esa falla.
Observaciones	Comentarios adicionales relevantes.

Instrumento para la recolección de datos – Diagrama de Pareto

CÓDIGO: _____

FECHA: _____

Núm.	Fecha	Código del equipo	Nombre del equipo	Tipo de falla	Descripción de la falla	Cantidad de ocurrencias	Tiempo perdido (min)	Observaciones
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Nota. Instrumento para la recolección de datos para la generación del diagrama de Pareto.
Elaboración propia, realizado en Microsoft Excel.