

Diseño de un sistema automatizado para la medición de amperajes de los motores eléctricos de la bancada de molienda del molino C, para seguimiento preventivo de motores eléctricos y conjunto de cilindros de molienda en la empresa Molinos del Atlántico SAS

Kevin Yesid Arciniegas Hernandez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Francisco José Saldivia Saldivia

Magister Scientiarum en Mantenimiento Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Los sacrificios y esfuerzos realizados en la vida se ven recompensados con los logros alcanzados, pero aún más destacados son aquellos sacrificios hechos por otras personas para ayudarnos a conseguirlos. Quiero expresar mi dedicación a cada uno de aquellos que, por encima de sus propias necesidades, sacrificaron mucho para hacer posible esto y permitirme avanzar un paso más.

Agradecimientos

A Dios por ayudarme con diferentes personas que se acercan a mi vida.

A mi director de trabajo el ingeniero Francisco Saldavia por su apoyo en el proceso.

Al ingeniero Mauricio Aguilar por su dirección en las metodologías de análisis de fallas.

Al ingeniero Carlos Tamayo por su apoyo en diferentes metodologías aplicadas.

Al profesor Octavio Andrés Estrada por sus correcciones y revisiones iniciales del proyecto.

A la ingeniera Lina Marín por su apoyo incondicional en el transcurso del proyecto y por su continuo aliento.

Al ingeniero Orlando Pradilla por su apoyo como profesional y amigo.

Al ingeniero Diego Flórez por su gran aporte en la programación y simulación del proyecto.

A mis padres, Hernando Arciniegas, Mónica Hernandez y a mi hermana Jessica Arciniegas, por su motivación, por su cariño y por mostrarme los pequeños detalles de la vida.

A la empresa Molinos del Atlántico por brindarme ayudas y espacios para poder realizar mis estudios, en especial a Alberto Guarín.

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Objetivos	15
1.1. Objetivo General.....	15
1.2. Objetivos Específicos	15
2. Marco Teórico.....	16
2.1. Antecedentes de la investigación.....	16
2.2. Proceso productivo de los granos de trigo.....	18
2.3. Transformación del trigo	20
2.4. Proceso de molienda	21
2.5. Cilindros Molienda	24
2.6. Clasificación de pasajes	24
2.7. Motor eléctrico.....	26
2.8. Transformador de corriente	27
2.9. PLC S7-1200 (controlador lógico programable).....	28
2.10. Pantalla HMI.....	29
2.11. Metodología RCA.....	30
3. Fichas técnicas de pasajes	35
4. Mecanismos de falla en los bancos de molienda	39
4.1. Definición de sistemas	40
4.2. Análisis de criticidad	44
4.3. Análisis 5W + 1H y 5W Múltiple.....	55

5. Seguimiento de Corrientes	72
6. Programación del proceso de control	75
6.1. Pantalla de simulación	78
6.2. Ejemplo de simulación.....	79
7. Análisis costo beneficio de la implementación	81
8. Cálculo del ROI (Retorno de la Inversión)	88
9. Conclusiones	92
10. Recomendaciones.....	95
Referencias bibliográficas.....	96

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Pasos para RCA	32
Tabla 2 Técnicas RCA	34
Tabla 3 Códigos según planta para la identificación de bancos de molienda.....	35
Tabla 4 Identificación de pasajes de molienda	36
Tabla 5 Metodología 5W + 1H.....	40
Tabla 6 División de sistemas para los bancos de molienda	43
Tabla 7 Matriz de análisis de criticidad para los sistemas del pasaje de molienda	47
Tabla 8 Matriz de análisis de criticidad para sistema de soporte y rodillos de molienda.....	48
Tabla 9 Matriz de análisis de criticidad para sistema de transmisión.....	48
Tabla 10 Matriz de análisis de criticidad para sistema neumático.....	49
Tabla 11 Análisis de 5W + 1H para daño en motor de potencia de los pasajes de molienda.....	56
Tabla 12 Plan de acción para motor eléctrico	58
Tabla 13 Análisis de 5W + 1H para daño en correa de potencia de los pasajes de molienda	59
Tabla 14 Plan de acción para correas de potencia	61
Tabla 15 Análisis de 5W + 1H para daño en electroválvula de embrague y desembrague	62
Tabla 16 Plan de acción para electroválvula de embrague y desembrague	64
Tabla 17 Análisis de 5W + 1H para daño en rodamientos de los rodillos.....	65
Tabla 18 Plan de acción para rodamientos de rodillos	67
Tabla 19 Medición de corrientes eléctricas de motores del molino c.....	72
Tabla 20 Definición de columnas para cargas laborales.....	83
Tabla 21 Análisis de cargas para la toma de corrientes	84

Tabla 22 Gastos por personal para la toma de las mediciones	85
Tabla 23 Elementos eléctricos y electrónicos necesarios para la implementación.....	86
Tabla 24 Gastos totales del proyecto	87
Tabla 25 Valores para cálculo del ROI.....	89
Tabla 26 Gastos y compras de motores eléctricos	91

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Diagrama de un grano de trigo	19
Figura 2 Identificación de bancos	22
Figura 3 Bancos de molienda del molino C.....	23
Figura 4 Banco de molienda Bühler	25
Figura 5 Banco de molienda Ocrim	26
Figura 6 Partes de un motor eléctrico	27
Figura 7 Transformadores de corriente.....	28
Figura 8 PLC S7-1200	29
Figura 9 Pantalla HMI	30
Figura 10 Entradas y salidas del RCA	33
Figura 11 Ficha técnica del pasaje de molienda B1A del molino C.....	38
Figura 12 Matriz de criticidad y riesgo de la empresa.....	45
Figura 13 Daño en motor de potencia.....	49
Figura 14 Daño en correa de potencia	51
Figura 15 Daño en electroválvula de embrague	52
Figura 16 Daño de rodamientos de los rodillos de molienda.....	53
Figura 17 Análisis de 5 porques múltiples para el problema del motor eléctrico.....	57
Figura 18 Análisis de 5 porques múltiples para el problema de las correas de potencia.....	60
Figura 19 Análisis de 5 porques múltiples para el problema de la electroválvula de embrague y desembrague	63
Figura 20 Análisis de 5 porques múltiples para el problema de los rodamientos de los rodillos.	66

Figura 21 Corriente eléctrica medida en cada semana para el pasaje B1A	74
Figura 22 Diagrama de automatización	75
Figura 23 Bloques Main OB1	76
Figura 24 Bloques Main OB1 rango.....	77
Figura 25 Pantalla de simulación para los bancos de molienda.....	78
Figura 26 Proceso de simulación para el pasaje R4.....	79

Lista de Apéndices

Ver apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca

UIS

Apéndice A. Fichas técnicas

Apéndice B. Análisis de 5W + 1H, 5W múltiple y plan de acción

Apéndice C. Tabla de toma de corrientes

Apéndice D. Gráficas de comportamiento de corriente por pasaje

Apéndice E. Tabla de Variables de programación

Apéndice F. Bloques de programación

Resumen

Título: Diseño de un sistema automatizado para la medición de amperajes de los motores eléctricos de la bancada de molienda del molino C, para seguimiento preventivo de motores eléctricos y conjunto de cilindros de molienda en la empresa Molinos del Atlántico SAS*

Autor: Kevin Yesid Arciniegas Hernandez**

Palabras Clave: AUTOMATIZACIÓN, RCA, ANALISIS DE CAUSA RAIZ, MOLINOS DEL TRIGO.

Descripción: Los molinos de trigo tienen como función principal la producción de harina y productos derivados del trigo, estos molinos tienen maquinas especializadas para sus procesos de producción las cuales son los bancos de molienda estos son el corazón del procesamiento del trigo, aquí es donde se lleva a cabo la transformación del trigo en harina por medio de diferentes etapas que son la trituración, reducción y compresión. Con base en esto la empresa Molinos del Atlántico sas, busca garantizar la confiabilidad y disponibilidad de esta bancada, pero por lo general están sometidos a correcciones y arreglos parciales. El presente proyecto diseñara un sistema automatizado de medición de amperaje de los motores eléctricos ya que el cambio en el consumo de corriente llevara a la toma de decisiones para realizar acciones preventivas, analizar variables y programaciones de mantenimientos de los motores eléctricos y el conjunto de cilindros de molienda. Esto se realizará por medio de sensores de corriente que entreguen una señal de 4 a 20 ma a un controlador lógico programable (PLC S7-1200) y que se aprecie en una pantalla HMI, mostrando valores y alarmas diariamente para la toma de decisiones. Además, se realizará la ficha técnica de cada uno de los pasajes de los bancos de molienda para identificación de motores y partes claves de cada pasaje, se analizarán las fallas más repetitivas y catastróficas por medio de matrices de criticidad para aplicarles la metodología RCA y hallar sus causas raíz. Por último, se plantea un estudio de análisis de cargas laborales en comparación con la medición de corrientes manualmente y la medición automatizada para llegar a un costo beneficio de esta propuesta.

* Trabajo de Grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Francisco José Saldivia Saldivia. Magister Scientiarum en Mantenimiento Industrial.

Abstract

Title: Design of an automated system for measuring amperages of the electric motors of the grinding bed of mill C, for preventive monitoring of electric motors and set of grinding cylinders in the company Molinos del Atlántico SAS*

Author(s): Kevin Yesid Arciniegas Hernandez **

Key Words: AUTOMATION, RCA, ROOT CAUSE ANALYSIS, WHEAT MILLS

Description: The wheat mills have as their main function the production of flour and wheat-derived products. These mills have specialized machines for their production processes, which are the grinding banks that are the heart of wheat processing. This is where the transformation of wheat into flour takes place through different stages that include crushing, reduction, and compression. Based on this, the company Molinos del Atlántico sas seeks to guarantee the reliability and availability of this equipment, but they are generally subjected to corrections and partial repairs. The present project will design an automated system for measuring the amperage of the electric motors since changes in current consumption will lead to decision-making for preventive actions, analyzing variables, and scheduling maintenance of the electric motors and the set of cylinders. This will be done through current sensors that deliver a signal of 4 to 20 mA to a programmable logic controller (PLC S7-1200) and will be displayed on an HMI screen, showing values and alarms daily for decision-making. Additionally, a technical data sheet will be made for each of the passages of the grinding banks for the identification of motors and key parts of each passage. The most repetitive and catastrophic failures will be analyzed through criticality matrices to apply the RCA methodology and find their root causes. Finally, a study of workload analysis will be proposed in comparison with manual current measurement and automated measurement to arrive at a cost-benefit of this proposal.

* Degree Work

** School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: Francisco José Saldivia Saldivia. Master Scientiarum in Industrial Maintenance.

Introducción

La empresa Molinos del Atlántico SAS, es una empresa dedicada a la comercialización de harinas de trigo, harinas precocidas de maíz y pastas alimenticias. Esta empresa tiene maquinas especializadas para sus procesos de producción tales como los procesos de limpia, humectación, transporte, molienda de trigo y empackado en diferentes presentaciones. La empresa se compone de tres molinos de producción de trigo, los cuales son, el molino A, molino B y el molino C. Cada uno de estos molinos tiene una producción en toneladas por día, el molino A de 120 Ton/día, el molino B de 120 Ton/día y el molino C de 240 Ton/día. Como corazón principal de cada molino se encuentran los bancos de molienda los cuales trituran, comprimen y reducen el trigo en diferentes etapas hasta convertirlos en harina, estos bancos de molienda son equipos críticos dentro del proceso porque son los encargados de la transformación principal del trigo. Actualmente se realizan cambio de rodillos correctivamente cuando se baja la extracción de trigo o cuando se deben apretar más los rodillos para moler, forzando los motores eléctricos y el sistema de transmisión, aumentando su corriente de funcionamiento y provocando tanto el deterioro prematuro de los rodillos, el motor eléctrico y el sistema de transmisión, lo que ocasiona medidas correctivas para los equipos y pérdidas de producción para la empresa.

Para el presente proyecto se analizará la bancada del molino C que se compone de doce bancos de molienda, los cuales once bancos son sencillos y uno es un banco doble, cada banco sencillo se compone de dos pasajes y el banco doble de cuatro pasajes, dando un total de veintiséis pasajes por donde pasa el trigo y 26 motores eléctricos. Para la empresa Molinos del Atlántico es de vital importancia tener en óptimas condiciones los rodillos que generan la

transformación del trigo en harina, generando así buenos estándares de calidad en sus productos finales y ahorro energético. El objetivo del mantenimiento es garantizar la disponibilidad y confiabilidad de sus equipos, pero en los últimos años estos bancos de molienda han presentado fallas en sus motores eléctricos, desgaste prematuro de los cilindros de molienda y los subsistemas que componen el banco, esto debido a que no se tiene un mantenimiento preventivo y/o se lleva un seguimiento continuo de las variables, llevando a fallas prematuras y paradas de planta.

Es por esto por lo que se hace necesario diseñar un seguimiento continuo de corrientes en motores eléctricos por medio de la automatización con PLC (Controlador lógico programable), que reciba las señales medidas por medio de sensores de corriente (transformadores de corriente) y sean visibles y proyectados para el personal de producción. Con esto se establecerían umbrales de alarma, definiendo los niveles de corriente máximos y mínimos que se consideran normales para el motor y el sistema del banco, ya que por medio de estas mediciones se puede ver si los rodillos de molienda tienen alto ajuste y por lo tanto tienen su desgaste, lo cual se ve reflejado en un aumento de corriente del motor eléctrico. Si la corriente medida excede estos umbrales el PLC debe activar alarmas visibles para poder tomar medidas y decisiones sobre los sistemas. Un seguimiento continuo de corrientes en motores eléctricos automatizado ayuda a prevenir fallos inesperados, a optimizar el consumo de energía y a mantener la eficiencia operativa de los procesos industriales.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Diseñar un sistema automatizado para la medición de amperajes de los motores eléctricos de la bancada de molienda del molino C, para seguimiento preventivo de motores eléctricos y conjunto de cilindros de molienda en la empresa Molinos del Atlántico SAS.

1.2. Objetivos Específicos

- Describir e identificar los bancos de molienda para realizar la ficha técnica de cada banco del molino C
- Caracterizar naturaleza de fallas o identificación de problemas de los equipos identificados mediante el análisis RCA
- Proponer un sistema de alarma automatizado para indicar cuando un banco presenta cambios en el amperaje de su motor.
- Realizar un análisis de costo beneficio con el sistema propuesto de la medición de amperajes manual y automatizado.

2. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

A continuación, se presentan varios proyectos centrados en la resolución de problemas mediante el monitoreo de variables físicas para facilitar la toma de decisiones. Estos proyectos abordan la necesidad de mantener un control efectivo sobre las condiciones operativas de maquinaria, infraestructuras o sistemas, utilizando tecnologías de monitoreo en tiempo real para detectar anomalías, prevenir fallos y optimizar la eficiencia operativa, estos proyectos demuestran el valor crucial del monitoreo continuo de variables físicas para mejorar la fiabilidad, prolongar la vida útil de los activos y reducir los costos de mantenimiento.

Camilo Muñoz de la Universidad Antonio Nariño de Villavicencio, a través de su proyecto de grado: “Diseño y simulación de un sistema de monitoreo para un proceso de control de temperatura mediante PLC e IoT para la empresa Educatia”, realizó la arquitectura y simulación de un banco de procesos de control de temperatura con integración de PLC S7-1200 siemens y su programa en Tia Portal e IoT, los cuales son cargados en una plataforma en la nube, registrando todos estos datos en plataformas como Ubidots, con esto busco analizar y tomar decisiones sobre los procesos en tiempo real (Muñoz, 2021).

De igual forma, Lisbeth Rivera de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga, en su proyecto: “Solución IoT para la optimización del proceso de piscicultura en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal”, Observaron estanques de peces con el propósito de supervisar factores tales como la temperatura, la alcalinidad y el pH mediante una placa

electrónica Arduino, la tecnología Lora WAN y el software de análisis Weka, empleando el protocolo de comunicación HTTP, con esto se busco monitorear y controlar las variables de las piscinas (Rivera, 2020).

Asimismo, Edwin Marcillo de la Universidad Técnica de Cotopaxi en Ecuador, en su proyecto: “Implementación y desarrollo de práctica de automatización a través de un módulo didáctico con el PLC S7-1200 para la simulación de un sistema de control de tránsito vehicular”, desarrollo por medio de la aplicación del PLC una automatización para el funcionamiento de los semáforos, este módulo educativo de automatización tiene como objetivo promover una iniciativa para satisfacer la necesidad de señales de tráfico y reducir los accidentes en las carreteras (Marcillo, 2017).

De igual forma, Nicolas Guanoquiza de la Universidad Técnica de Cotopaxi en Ecuador, en su proyecto: “Implementación y desarrollo de prácticas de automatización a través de un módulo didáctico con el PLC S7-1200 para el control y funcionamiento de motores trifásicos”, en el cual se implemento y desarrollo un banco didáctico por medio de un PLC, para controlar el funcionamiento de los motores trifásicos en el laboratorio de la universidad, mostrando la importancia y lo fundamental de comprender el funcionamiento de los motores trifásicos, los cuales son ampliamente empleados en diversos entornos laborales como fábricas, industrias y edificaciones (Guanoquiza, 2017).

Asimismo, Yenny Porras de la Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia en su proyecto: “Desarrollo de metodología para la elaboración de RCA aplicado a fallas de techos flotantes en tanques de almacenamiento de crudo”, propuso una metodología para realizar un análisis de causa raíz (RCA), adaptada a las condiciones de operación de los tanques de techo flotante, centrándose en la creación de un árbol de fallas y una matriz de recursos para examinar y valorar diversas suposiciones (Porras, 2019).

De igual forma, Andrés Martínez de la Universidad Industrial de Santander, en su proyecto: “Modelo de un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para la caldera EB1292 de la estación mito 1 del campo caño sur Ecopetrol S.A”, se desarrolló la recopilación de los sistemas y subsistemas con información técnica detallada sobre los componentes de cada sistema de la caldera. Esto permitió la creación de un árbol de equipos que sirvió como base para la implementación del RCM (Martinez, 2021).

2.2. Proceso productivo de los granos de trigo

El proceso de producción de harina, comienza con la transformación de los granos de trigo, granos principalmente compuestos por cascara y vellosidades, e internamente por el endospermo y el germen.

El grano de trigo es una estructura compleja compuesta por tres partes distintas, las cuales se pueden apreciar en la figura 1. Diagrama de un grano de trigo, el salvado, el endospermo y el germen. El salvado es la capa exterior del grano, rica en fibra y nutrientes, que

protege al endospermo y al germen. Tiene un gran contenido de fibra y vitamina B, compuestos por pequeñas cantidades de proteína, es un 14% de la semilla (Araneda, 2022). El endospermo es la parte central del grano, que contiene la mayor parte del almidón y proporciona energía para la planta en desarrollo. Contiene grandes cantidades de almidones, esta es la parte para la elaboración de harinas refinadas, es un 83% aproximadamente de la semilla (Araneda, 2022). Finalmente, el germen es la parte más interna del grano, que contiene una alta concentración de vitaminas, minerales y grasas saludables, y es la base para el crecimiento futuro de una nueva planta (Pruthi, 2022, párr.6). Estas tres partes trabajan en conjunto para proporcionar una nutrición completa y son fundamentales en la producción de harina de trigo y otros productos derivados.

Figura 1

Diagrama de un grano de trigo



Nota. Representa la composición de un grano de trigo en su interior. (Araneda, 2022)

2.3. Transformación del trigo

Para la transformación del trigo hay varios procesos productivos que se siguen, por los cuales pasa la semilla de trigo, empezando desde la recepción del trigo hasta su empaque y venta hacia los clientes (Segovia, 2015), estas se enuncian a continuación:

- Recepción y toma de muestras
- Almacenamiento en silos de recibo
- Limpieza
- Humectación
- Reposo
- Molienda
- Clasificación
- Almacenamiento
- Empacado/ Envasado

El trigo llega por importación de diferentes partes del mundo y es despachado a la empresa por medio de carros de carga, carros que pesan en una báscula camionera en donde se toma su peso de taraje y se revisa cuanto trigo está despachando cada carro. Luego son descargados en una zona de recibo y transportados a los silos de almacenamiento, este trigo almacenado sigue su proceso por máquinas de limpieza las cuales ayudan a separar diferentes elementos que no son granos de trigo, los cuales son, partículas ferrosas, pajilla, granos diferentes, piedras, mugre y demás elementos que no son granos de trigo.

Luego de la limpieza este trigo pasa por un proceso de humectación para cambiar su porcentaje de humedad y que el agua llegue hacia dentro del grano, con esto se busca que sea mucho más fácil su trituración en los bancos de molienda. Seguidamente este trigo humectado es almacenado en silos de reposo para que se pueda homogenizar el agua adicionada para ellos. Después es entregado hacia los bancos de molienda en donde se encuentran diferentes pasajes que irán transformando el grano de trigo y por medio de cernedores/ plansifter ayudando a su clasificación y entrega a los diferentes pasajes, para luego ser almacenados en los silos de harina y envasados en diferentes presentaciones hacia el mercado.

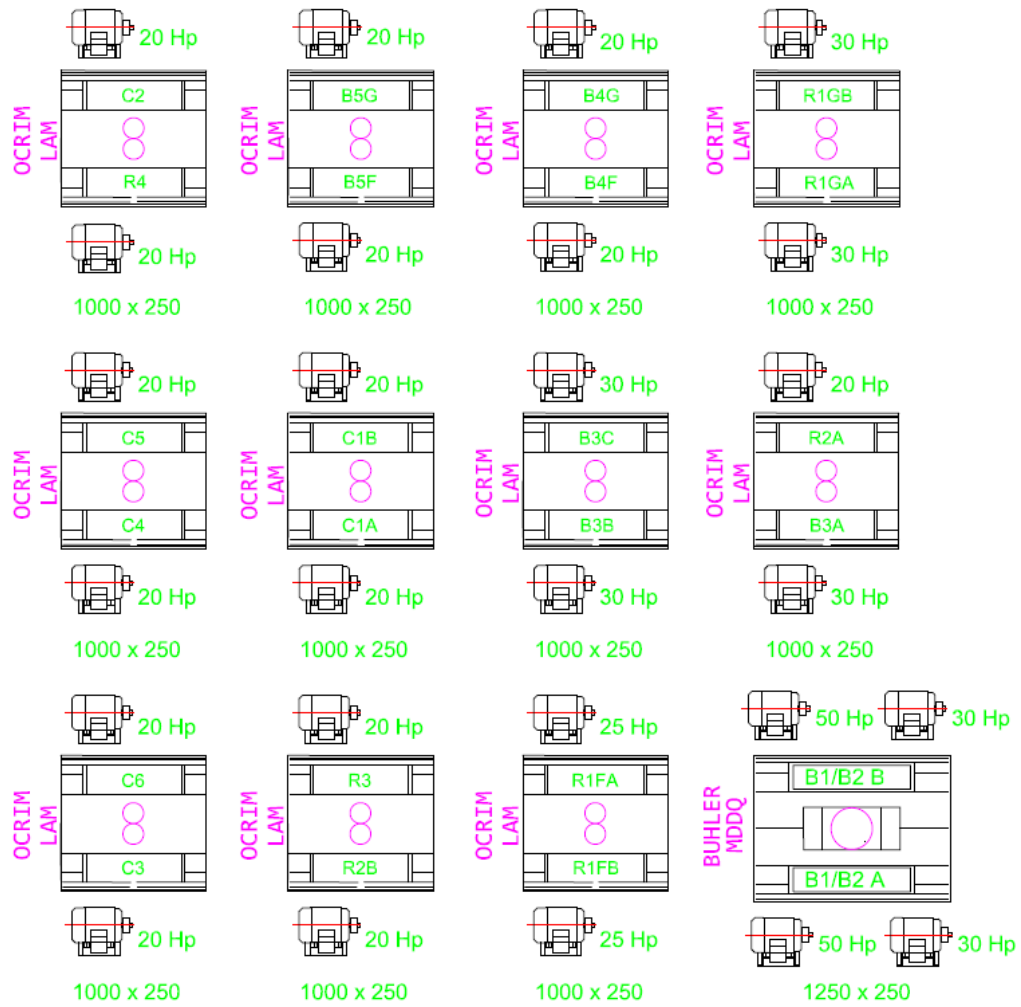
2.4. Proceso de molienda

La molinería se describe como una industria, que tiene como actividad principal la producción de harinas a partir de granos y cereales, en el caso de Molinos del Atlántico especialmente el trigo por medio de la transformación física de las partículas.

El molino C de la empresa Molinos del Atlántico está compuesto por 26 pasajes de molienda, los cuales se aprecian en la figura 2. Identificación de bancos y figura 3. Bancos de molienda del molino C, estos son 11 bancos marca Ocrim Lam/CS y un banco doble marca Bühler MDDQ, se muestra en la gráfica su denominación, la potencia instalada por pasaje y la longitud y diámetro del cilindro de molienda que usa y una imagen representativa de los bancos de la empresa.

Figura 2

Identificación de bancos



Nota. Esta figura muestra la ubicación de cada uno de los bancos de molienda, con su respectiva marca, identificación del motor y longitud del rodillo de molienda.

Figura 3

Bancos de molienda del molino C



Nota. Se presentan dos figuras representativas de los bancos, desde la parte superior y frontal para el molino C de la empresa Molinos del Atlántico.

2.5. Cilindros Molienda

El Banco de Cilindros Horizontales modelo LAM CS tiene la función de quebrar gradualmente los granos de trigo (u otros productos granulados) y molerlos hasta transformarlos en harina (OCRIM, 2004, p,4). La función principal de los cilindros horizontales en un banco de molienda es reducir el tamaño de partícula de los materiales. Al pasar los materiales entre los cilindros, se aplica presión y fuerza de corte para romper y triturar los gránulos, granos o cualquier material que se esté procesando, estos también facilitan la trituración actuando como elementos que aplastan y rompen los materiales, facilitando así la trituración o molienda, esto es especialmente crucial en la producción de harina.

Al usar cilindros horizontales, los molinos pueden controlar y lograr una distribución de tamaño de partícula más uniforme. Esto es esencial en muchos procesos industriales donde la consistencia en el tamaño de partícula es un factor crítico. También se puede ajustar la fineza del producto final y esto depende de la distancia entre los cilindros y la presión aplicada, esto permite adaptar el proceso de molienda a los requisitos específicos del producto final deseado, todas estas características hacen que los materiales pueden alimentarse de manera constante entre los cilindros para lograr una producción continua.

2.6. Clasificación de pasajes

Los bancos de cilindros están clasificados por pasajes de trituración (rotura), reducción y compresión. Los bancos de cilindros para trituración tienen como trabajo principal romper e ir aplastando la semilla de trigo (OCRIM, 2004). Luego de quebrar inicialmente la semilla de trigo es enviado hacia los demás pasajes de compresión y reducción.

Los bancos de cilindros para la reducción, tienen un trabajo intermedio entre los empleados en la trituración y en la compresión (OCRIM, 2004, p.4). Estos bancos de reducción tienen cilindros lisos igualmente que los pasajes de compresión.

Los bancos de cilindros para las compresiones tienen como trabajo transformar los productos que vienen de la rotura y/o reducción, que han sido seleccionados por los cernedores/plansifter, en productos y subproductos (OCRIM, 2004. p.4). Estos pasajes usan cilindros lisos para su proceso.

En las figuras 4 y 5 se muestran los bancos de molienda que se usan en la empresa Molinos del Atlántico, un banco marca Bühler doble y once bancos marca Ocrim sencillos, los cuales son encargados de la transformación del trigo.

Figura 4

Banco de molienda Bühler



Nota. Bancos Bühler MDDQ, (Bühler, 2007)

Figura 5

Banco de molienda Ocrim



Nota. Bancos Ocrim Lam, (OCRIM, 2023)

2.7. Motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos que generan sus bobinas. Normalmente están compuestos por un rotor y un estator (Gananci, 2017), en la figura 6 se puede apreciar las partes principales de este. Las partes principales de un motor eléctrico son, la carcasa, este es el cuerpo del motor, puede estar constituido en hierro fundido, acero o diferentes aleaciones, el estator, esta es la parte fija de la carcasa, está formada por chapas metálicas en donde se ponen los alambres de bobinado y el rotor, formado por un eje y chapas unidas, es la parte giratoria del motor que descansa en los rodamientos y es la encargada de transmitir la energía mecánica (Marcillo, 2017).

Figura 6

Partes de un motor eléctrico



Nota. Componentes principales de un motor eléctrico, (Gananci, 2017)

2.8. Transformador de corriente

Los transformadores de corriente son sensores capaces de medir la corriente de los motores eléctricos, estos dispositivos permiten obtener una representación precisa de la corriente que está consumiendo el motor y dar señales al PLC S7-1200 para poder tomar decisiones y evitar fallas. En la figura 7, se muestra un transformador de corriente, también conocido como transformador de instrumentos, es un dispositivo utilizado para medir la corriente en circuitos de alta tensión. Su principal función es reducir la corriente de entrada a un nivel seguro y medible, que pueda ser utilizado por instrumentos de medición o protección ("Transformador de corriente: qué es y cómo funciona", s.f).

Figura 7

Transformadores de corriente



Nota. Se muestra un transformadore de corriente representativo, (BUTLER, s.f.).

2.9. PLC S7-1200 (controlador lógico programable)

Un PLC es un dispositivo electrónico programable, diseñado para automatizar y controlar procesos industriales y sistemas en tiempo real, este se muestra en la figura 8. Se usa ampliamente en la industria para monitorear, controlar y manejar diferentes máquinas y equipos en procesos de producción. Contiene entrada y salida digitales para conectarse a los sensores, interruptores, actuadores y diferentes lenguajes de programación.(Guanokuiza, 2017)

Figura 8

PLC S7-1200



Nota. Se muestra la figura de un PLC S7-1200, (SIEMENS, 2009).

2.10. Pantalla HMI

Es un elemento que combina el hardware y software para que el operar pueda interactuar con ella. Se usa comúnmente en procesos industriales en donde se necesite apreciar y realizar seguimientos a diferentes variables, se muestra una representación en la figura 9. En la actualidad, son una herramienta principal en la que confían los operarios industriales y los supervisores en la línea de producción para la coordinación y el control de los procesos de fabricación ("*¿Qué Es Un HMI y Cómo Funciona?*", 2021). En el presente proyecto se usará para visualizar los 26 bancos de molienda del molino c.

Figura 9*Pantalla HMI*

Nota. Representa imágenes representativas de pantallas HMI, (SIEMENS, 2023)

2.11. Metodología RCA

El análisis de causa raíz (ACR) o Root cause analysis (RCA por sus siglas en inglés) es un proceso sistemático en el cual se identifica la causa o causas que contribuyen a un fenómeno o evento. Por lo general la causa inmediata del fenómeno a menudo es un síntoma y no es la causa raíz, lo que se busca con el análisis RCA es hallar la causa o múltiples causas para impedir que ocurra el evento o fenómeno. (IEC, 2015). Con la implementación de acciones basadas en RCA se llegará a la causa raíz para prevenir eventos iguales con consecuencias negativas. Realizar un Análisis de Causa Raíz (RCA) ofrece varios beneficios que pueden ser fundamentales para la mejora continua y la gestión efectiva de problemas. Aquí algunos de los beneficios clave:

Identificación de Causas Fundamentales: El RCA ayuda a identificar no solo las causas inmediatas de un problema, sino también las causas subyacentes o fundamentales. Esto permite abordar la raíz del problema en lugar de simplemente tratar los síntomas.

Prevención de Recurrencias: Al comprender las causas fundamentales, las acciones correctivas pueden ser diseñadas y aplicadas para prevenir la repetición del problema en el futuro. Esto contribuye a una mejora continua y a la reducción de problemas recurrentes.

Optimización de Procesos: El proceso de RCA implica revisar a fondo los procesos y procedimientos existentes. Esto puede llevar a la identificación de áreas de mejora y a la optimización de procesos para aumentar la eficiencia y la efectividad operativa.

Aprendizaje Organizacional: El RCA fomenta un enfoque de aprendizaje organizacional. La organización adquiere conocimientos valiosos sobre sus sistemas, procesos y prácticas, lo que puede ser utilizado para mejorar la toma de decisiones y la planificación estratégica.

Mejora de la Calidad: La resolución de problemas a través del RCA contribuye a mejorar la calidad de productos o servicios al abordar las causas subyacentes de los defectos o problemas de rendimiento.

Toma de Decisiones Informada: Al comprender las causas de un problema, los líderes y los responsables de la toma de decisiones pueden tomar medidas informadas. Esto ayuda a evitar decisiones basadas en suposiciones o enfoques superficiales.

Mejora de la Cultura Organizacional: La implementación regular de RCAs fomenta una cultura organizacional centrada en la mejora continua y la responsabilidad. Los equipos se vuelven más proactivos en la identificación y solución de problemas.

Reducción de Costos: Al prevenir problemas recurrentes y optimizar procesos, las organizaciones pueden reducir los costos asociados con reparaciones, retrabajos y pérdida de productividad.

Mejora en la Seguridad: En entornos industriales o laborales, el RCA puede contribuir significativamente a la mejora de la seguridad al identificar y corregir factores que podrían haber llevado a incidentes peligrosos.

Satisfacción del Cliente: Al mejorar la calidad de productos o servicios, reducir problemas y garantizar la consistencia operativa, las organizaciones pueden aumentar la satisfacción del cliente, lo que a su vez puede conducir a lealtad y recomendaciones positivas.

En resumen, realizar un Análisis de Causa Raíz no solo aborda problemas específicos, sino que también se convierte en una herramienta estratégica para el desarrollo continuo y la eficiencia operativa de una organización. Para que sea eficaz un análisis de RCA, se deben seguir los siguientes pasos descritos en la tabla 1 y figura 10, en donde muestra el proceso iterativo hasta que se cumpla el proceso del análisis.

Tabla 1

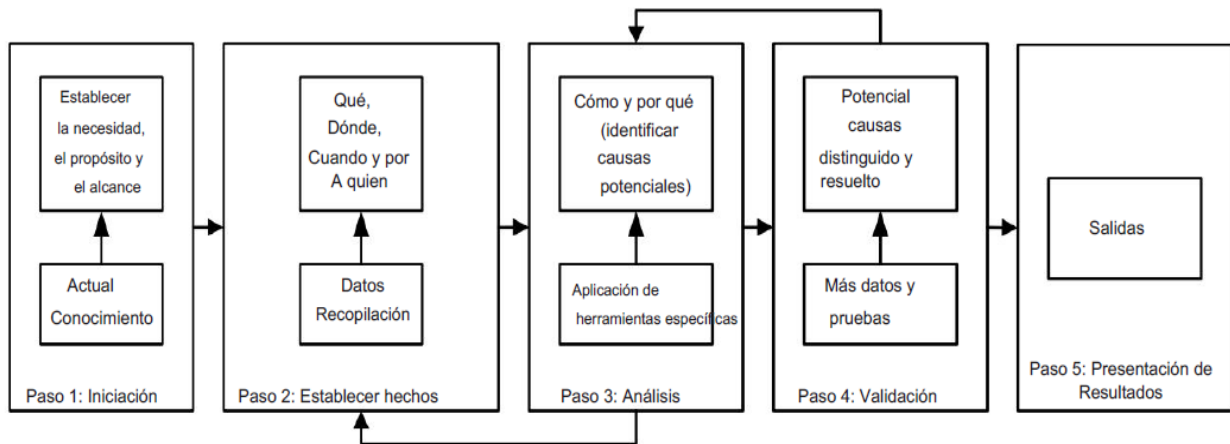
Pasos para RCA

PASO	CONCEPTOS Y TAREAS PARA REALIZAR
Iniciación	Con base en el conocimiento disponible sobre el evento focal, determinar la necesidad de realizar RCA y definir el propósito y alcance
Estableciendo hechos	Recopilar datos y establecer los hechos de lo que sucedió, donde, cuando y quien.
Análisis	Utilizar herramientas y técnicas RCA para determinar cómo y por qué ocurrió el evento focal.
Validación	Distinguir y resolver las diferentes posibilidades de cómo y por qué se provocó el evento focal.
Presentación de resultados	Presentar los resultados del análisis.

Nota. Representa los pasos iniciales para realizar un RCA de manera adecuada (IEC, 2015, p.13)

Figura 10

Entradas y salidas del RCA



Nota. Entrada y salidas del RCA, Este proceso se repite hasta que se cumpla el propósito y se identifique la causa o causas raíz, se destaca que la causa raíz debe ser por lo menos un modo de falla (IEC, 2015, p.14).

Seguidamente se presenta la tabla 2, la cual muestra una lista resumida de las técnicas más comunes para aplicar en los análisis de causa raíz.

Tabla 2*Técnicas RCA*

TECNICA	DESCRIPCIÓN
Eventos y factores causales. (ECF) gráficos	El análisis ECF identifica la secuencia temporal de una serie de tareas y/o acciones y las condiciones circundantes que conducen a un evento focal. Estos se muestran en un diagrama de causa efecto.
Secuenciación de eventos multi-lineales (MES) y trazado de eventos secuencialmente cronometrados (STEP)	MES y STEP son métodos de recopilación y seguimiento de datos para el análisis de eventos de enfoque complejos. Los resultados se muestran como una matriz de eventos de tiempo actor.
El método del "por qué"	El método del "por qué" guía el análisis a través de la cadena causal planteando la pregunta por qué varias veces.
Método del árbol de causas	Es una técnica sistemática para analizar y representar gráficamente las eventos y condiciones que contribuyeron a un evento focal, es similar al método del "por qué" en concepto, pero construye un árbol más complejo y considera explícitamente causas técnicas, organizativas, humanas y ambientales.
Análisis por qué porque	Establece la red de factores causales responsables de un evento focal utilizando una comparación de dos factores, la prueba contrafactual. La red de factores se muestra en un gráfico de "por qué-porque".
Método de árbol de fallos y árbol de éxito	El árbol de fallas o éxito es una visualización gráfica de información para ayudar al usuario a realizar un análisis deductivo para determinar rutas críticas hacia el éxito o el fracaso, que se muestran gráficamente en un diagrama de árbol lógico.
Diagrama de espina de pescado o de Ishikawa	El diagrama de espina de pescado o de Ishikawa es una técnica que ayuda a identificar, analizar y presentar las posibles causas de un evento focal. La técnica ilustra la relación entre el evento focal y todos los factores que pueden influir en él.
Seguridad a través del aprendizaje organizacional (SOL)	SOL es una herramienta de análisis basada en listas de verificación, orientada a eventos focales en centrales nucleares. Los resultados están en forma visual de un diagrama de tiempoactor, derivado del método MES/STEP.
Árbol de control de gestión y riesgos (MORT)	El gráfico MORT es un árbol de fallas precargado con eventos, generalmente fallas o descuidos, expresados en términos genéricos. El árbol MORT contiene dos ramas principales y muchas subramas que proporcionan un alto nivel de detalle.
AcciMapas	Es principalmente una técnica para mostrar los resultados de un análisis causal. Se requiere un modelo organizacional para separar los factores en capas y obtener factores en las capas; aplica una versión de la prueba contrafactual (ver WBA) para determinar las relaciones causales entre los factores
Trípode Beta	Es una representación en diagrama de árbol de la red causal, que se centra en los factores humanos y busca fallas en la organización que pueden causar problemas humanos.

Nota. Breve descripción de técnicas RCA (IEC, 2015, p.22)

Para el caso de estudio se escoge la técnica de los “5 Por Qué múltiples”, esta metodología es una técnica de análisis de causas raíz que implica hacer preguntas “¿Por qué?” sucesivas para profundizar en las causas de un problema hasta llegar a su causa fundamental.

La metodología de los “5 Por Qué múltiples” implica realizar una serie de preguntas “¿Por qué?” más allá de las cinco tradicionales, si es necesario, para profundizar aún más en las causas de un problema. Esto permite abordar las diversas capas de causas subyacentes que pueden contribuir al problema principal. Para esta metodología se enumeran los principales conjuntos de probables causas, maquinaria, medio ambiente, mano de obra, materiales o repuestos, método de trabajo y medición.

3. Fichas técnicas de pasajes

A continuación, se usa la tabla 3, para la identificación inicial de los pasajes de molienda, empezando con el índice “T” que hace referencia a la planta trigo, seguidamente índice “MC” que hace referencia al molino C y finalizando por el índice “BM” que hace referencia a banco de molienda.

Tabla 3

Códigos según planta para la identificación de bancos de molienda

PLANTA	SECCIÓN		MAQUINA		
Trigo	T	Molino A	MA	BANCO DE MOLIENDA	BM
Maíz	M	Molino B	MB	BANDA TRANSPORTADORA	BTR
Pasta	P	Molino C	MC	BASCULA	BCA

Nota. Esta tabla muestra la identificación general para un pasaje.

Esto se realiza para la identificación de los veintiséis pasajes y se muestra en la tabla 4. “Identificación de pasajes de molienda”, esta tabla muestra el nombre del pasaje, el código interno, modelo, marca del banco, tipo de cilindro (liso/ estriado), voltaje de conexión, potencia del motor eléctrico, velocidad del banco y el amperaje de placa nominal del motor. Esta tabla ayudara a identificar los respectivos pasajes para la toma de amperajes por medio de pinza amperimétrica que se encuentra en el Apéndice C.

Tabla 4*Identificación de pasajes de molienda*

PASAJES DE MOLIENDA DEL MOLINO C									
PASAJE	CODIGO	MODELO	FABRICANTE	CILINDRO	VOLTAJE	HP	KW	RPM BANCOS	AMP PLACA
B1A	T-MC-BM-1	MDDQ D250	BUHLER	ESTRIADO	440	50	37	575	61,4
B1B	T-MC-BM-2	MDDQ D250	BUHLER	ESTRIADO	440	50	37	600	63
B2A	T-MC-BM-3	MDDQ D250	BUHLER	ESTRIADO	440	30	22	604	38,7
B2B	T-MC-BM-4	MDDQ D250	BUHLER	ESTRIADO	440	30	22	448	38,7
B3A	T-MC-BM-5	LAM CS 1000	OCRIM	ESTRIADO	440	30	22	490	38,7
B3B	T-MC-BM-6	LAM CS 1000	OCRIM	ESTRIADO	440	30	22	688	33,05
B3C	T-MC-BM-7	LAM CS 1000	OCRIM	ESTRIADO	440	25	19	548	30,5
B4F	T-MC-BM-8	LAM CS 1000	OCRIM	ESTRIADO	440	20	15	522	26,9
B4G	T-MC-BM-9	LAM CS 1000	OCRIM	ESTRIADO	440	20	15	502	27
B5F	T-MC-BM-10	LAM CS 1000	OCRIM	ESTRIADO	440	20	15	500	27
B5G	T-MC-BM-11	LAM CS 1000	OCRIM	ESTRIADO	440	20	15	587	29,2
R1FA	T-MC-BM-12	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	25	19	567	31,3
R1FB	T-MC-BM-13	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	25	19	458	28,3
R1GA	T-MC-BM-14	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	30	22	596	38,6
R1GB	T-MC-BM-15	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	30	22	590	39,14
R2A	T-MC-BM-16	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	30	22	599	38,6
R2B	T-MC-BM-17	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	25	19	534	29,9
R3	T-MC-BM-18	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	20	15	510	28,3
R4	T-MC-BM-19	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	20	15	530	28,73
C1A	T-MC-BM-20	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	20	15	511	26,9
C1B	T-MC-BM-21	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	20	15	466	26,9

C2	T-MC-BM-22	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	23	17	548	27,3
C3	T-MC-BM-23	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	20	15	609	25,1
C4	T-MC-BM-24	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	20	15	643	29,2
C5	T-MC-BM-25	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	20	15	600	27,5
C6	T-MC-BM-26	LAM CS 1000	OCRIM	LISO	440	20	15	520	29,2

Según lo anterior se presenta la ficha técnica y se muestra en la figura 11, en la cual se realiza para el primer pasaje B1A, para los demás pasajes se encuentra en el apéndice A.

Figura 11

Ficha técnica del pasaje de molienda B1A del molino C

		MOLINOS DEL ATLANTICO SAS				CODIGÓ	FT-MAN
						FECHA	5/09/2023
DESCRIPCION PASAJE B1A		FICHA TECNICA PASAJE B1A MOLINO C				VERSIÓN	1
						<p>Banco de molienda doble, compuesto por 4 pasajes, el pasaje de trituración B1A es el encargado de recibir y triturar el trigo en su primera etapa por medio de sus cilindros extriados</p>	
CÓDIGO	T-MC-BM-1						
MARCA	BUHLER						
MODELO	BUHLER MDDQ						
AÑO FABRICACIÓN	2005						
DATOS TÉCNICOS							
MOTOR HP/KW	50 / 37						
VELOCIDAD (RPM)	1185						
MARCA	WEG						
TENSION (V)	440						
AMPERAJE (440 V)	61,4						
RODAMIENTO DELANTERO	6314 C3						
RODAMIENTO TRASERO	6314 C3						
RELACION DE TRANSMISIÓN	1 A 2,5						
PARTES DE LA MÁQUINA		DIMENSIONES					
Rodillo de alimentación	Rascador de limpieza	PESO (KG)	ALTO (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)		
Rosca de alimentación	Cepillo de limpieza	6060	2256	1493	2190		
Motorreductor	Rodillo estriado	<p>MANTENIMIENTO</p> <p>Revisión de ajuste de rodillos/ cilindros por desgaste de estos. Revisión de amperaje del motor eléctrico por pasaje para seguimiento de corrientes por cambios y desgaste de los rodillos. Cambio de rodillos por cumplimiento de horas. Cambio de rodamientos 22315 EK con su sistema de manguito completo para los rodillos a las 8000 h Cambio de rodamientos del motor a las 8000 h</p>					
Sensores	Rodillo liso						
Poleas	Cilindro neumatico	<p>PRECAUCIONES</p> <p>Realizar las intervenciones en los pasajes de molienda con el banco totalmente parada, ya que se pueden ocasionar atrapamientos de manos y diferentes partes del cuerpo, ocasionando la muerte, tener el pelo recogido en caso de tenerlo largo.</p>					
Correa de transmisión	Electrovalvulas						
Correa de potencia	Motor eléctrico	<p>DATOS DEL FABRICANTE</p> <p style="text-align: center;">Buhler Group https://www.buhlergroup.com/global/en/homepage.html joseluis.romero@buhlergroup.com</p>					

Nota. Se muestra la ficha técnica a utilizar para identificación de los 26 pasajes de molienda.

4. Mecanismos de falla en los bancos de molienda

Al realizar seguimiento durante los meses se observa que los bancos de molienda paran constantemente y esto debido a paradas tipo mecánicas, por sobrecarga de componentes, mala alineación, falta de seguimiento y cambio de repuestos expuestos a desgaste. Con base en esto se hace necesario analizar las fallas repetitivas y catastróficas que en la empresa generan paradas y pérdidas tanto de tiempo como de producción y dinero.

Por lo tanto, se hace necesario realizar un análisis de causa raíz, para identificar las causas fundamentales de los problemas mencionados en los bancos de molienda. Una vez identificada la causa o causas raíz, proponer soluciones específicas, como por ejemplo mejorar el sistema de lubricación, utilizar repuestos de mayor calidad, revisar y ajustar los cilindros de molienda. Por último, realizar un seguimiento para monitorear los resultados después de implementar las acciones correctivas. Este proceso se puede repetir para otras fallas identificadas en los bancos de molienda. La clave es abordar no solo los síntomas evidentes, sino también las causas subyacentes para lograr soluciones más efectivas y duraderas.

Inicialmente se debe realizar la descripción del problema/ fenómeno, por medio de la técnica 5W + 1H, como se aprecia en la tabla 5, esta es una herramienta que utiliza seis preguntas clave: What (Qué), When (Cuándo), Where (Dónde), Who (Quién), Which (Cual) y How (Cómo). Esta técnica se utiliza para investigar y comprender un problema o situación, proporcionando una visión integral al abordar diferentes aspectos de este. En el contexto del área de mantenimiento, esta técnica puede ser valiosa para analizar problemas, identificar causas y

desarrollar soluciones efectivas. En pocas palabras la descripción del fenómeno se define con la frase compuesta por las respuestas del 5W + 1H.

Tabla 5

Metodología 5W + 1H

METODOLOGIA 5W + 1H		
¿Qué?	What?	¿Qué pasó, qué fue evidente?
¿Cuándo?	When?	¿Cuándo ocurrió el problema? (momento en el que ocurre)
		¿Dónde vio el problema? (Línea/ maquina/ ubicación)
¿Dónde?	Where?	¿En qué parte del trabajo o material detecto el problema?
¿Quién?	Who?	¿El problema está relacionado con la habilidad de la persona?
¿Cuál?	Which?	¿Cuál es la tendencia o patrón que tiene el problema?
¿Cómo?	How?	¿Cómo varía el estado normal de lo óptimo?

Nota. Metodología 5W + 1H para realizar la descripción del problema (Aguilar, 2013).

4.1. Definición de sistemas

Con base en esto se realiza una revisión visual para poder identificar todos los sistemas que intervienen y que hacen parte de cada uno de los bancos de molienda, es importante realizar esta actividad ya que es el punto de partida para realizar los análisis de causas raíz y plantear los diferentes mantenimientos. Con estas inspecciones se busca también revisar efectos negativos en la operación, tales como factores ambientales que puedan afectar a diferentes equipos e implementar acciones de prevención, se describen a continuación los sistemas:

- **Sistema de control de arranque y potencia**

Este sistema es el conjunto de dispositivos y componentes diseñados para controlar el proceso de arranque del equipo, dar la energía a todos los sistemas del banco de molienda, arranque de electroválvulas, motores eléctricos, variadores.

- **Sistema de alimentación y alimentador**

Este sistema es el conjunto encargado de recibir el trigo, el producto que entra en la maquina por medio del vaso, se deposita enfrente al rodillo y a la rosca paleta, hasta el llenado parcial del visor de entrada. La sonda capacitiva mide continuamente el nivel del producto, traduciéndolo esto en una señal eléctrica. Esta señal se transmite al variador el cual da la señal al motorreductor, por ello la presencia de producto el motorreductor se enciende, mandado el trigo hacia los rodillos de molienda (OCRIM, 2004).

- **Sistema de soporte y rodillos de molienda**

Este sistema soporta los cilindros de molienda, los soportes fijos sostienen el cilindro veloz, los soportes móviles sostienen el cilindro lento. Estos cilindros pueden ser estriados o lisos. Cilindros estriados son para pasajes de rotura en donde se rompe inicialmente la cascara del trigo y cilindros lisos son para reducciones en donde se reduce la granulometría de la sémola para diferentes productos (OCRIM, 2004).

- **Sistema de ajuste y distancia**

Este sistema ayuda a la regulación del paralelismo y la distancia inicial de trabajo entre los cilindros de molienda. Cada vez que es necesario cambiar un cilindro o un par de cilindro,

este sistema ayuda a reestablecer el paralelismo y la distancia inicial de trabajo. Luego de efectuar la correcta secuencia del paralelismo, con la manija y mirando el indicador, se ajusta la variación micrométrica de la distancia entre los cilindros, girando la manija en sentido horario se acerca el cilindro de molienda montado en los soportes móviles hacia el cilindro montado en los soportes fijos y viceversa (OCRIM, 2004).

- **Sistema de transmisión (poleas y motor eléctrico)**

Este sistema se compone de cuatro poleas por pasaje, tres poleas de transmisión, dos de estas van acopladas a los cilindros de molienda, la polea de mayor de diámetro va acoplada al cilindro lento el cual se encuentra en el soporte móvil y la polea pequeña va acoplada en el cilindro veloz el cual está en el soporte fijo y la tercera polea trabaja como tensor del sistema de transmisión. La cuarta polea es la polea de potencia la cual da el movimiento por medio de un motor eléctrico por medio de correa.

- **Sistema de limpieza (cepillos / rascadores)**

Este sistema es el encargado de la limpieza de los cilindros de molienda, cada cilindro lleva un sistema de limpieza, cepillos para cilindros estriados y rascadores para cilindros lisos, estos dispositivos tienen la función de hacer un barrido lineal para mantener la superficie externa del cilindro limpia, quitando las capas harinosas a causas de la presión entre ellos, para evitar incendios y desgaste prematuro de ellos (OCRIM, 2004).

- **Sistema neumático**

Este sistema es el encargado de realizar el embrague de los cilindros de molienda en presencia del trigo, se activan por medio de los sensores capacitivos cuando reconocen el producto a moler y acercan los cilindros para iniciar el rompimiento de la semilla de trigo, trabajan por medio de una electroválvula y aire comprimido (OCRIM, 2004).

Después de realizar la revisión de los sistemas que componen un pasaje de molienda, se presenta la tabla 6. “División de sistemas para los bancos de molienda”, en donde se describen los sistemas y subsistemas, esto se realiza para poder aplicar un análisis de criticidad por sistema y luego entrar por subsistemas y evaluar su criticidad, para así plantear las fallas más repetitivas y poder realizar un análisis de causa raíz (RCA).

Tabla 6

División de sistemas para los bancos de molienda

EQUIPO	DESCRIPCION	ESPEC.
1	SISTEMA DE CONTROL DE ARRANQUE Y POTENCIA	
1.1	Dispositivo electrónico PLC	ELE
1.2	Variador de frecuencia (inverter)	ELE
1.3	Panel de mando	ELE
2	SISTEMA DE ALIMENTACION Y ALIMENTADOR	
2.1	Rosca de alimentación (pasaje rotura/ pasaje reducción)	MEC
2.2	Sensor capacitivo	INS
2.3	Motorreductor	ELE
2.4	Correa de transmisión	MEC
2.5	Poleas	MEC
2.6	Visor de entrada (vaso)	MEC
2.7	Sonda capacitiva	INS

EQUIPO	DESCRIPCION	ESPEC.
3	SISTEMA DE SOPORTE Y RODILLOS DE MOLIENDA	
3.1	Soporte móvil (rodillo lento)	MEC
3.2	Soporte fijo (rodillo veloz)	MEC
3.3	Rodamiento, manguito completo	MEC
3.4	Cilindro de molienda liso	MEC
3.5	Cilindro de molienda estriado	MEC
4	SISTEMA DE AJUSTE Y DISTANCIA	
4.1	Manija/Indicador de distancia de rodillos	INS
4.2	Palanca de ajuste	MEC
4.3	Tuerca de ajuste	MEC
5	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	
5.1	Polea libre	MEC
5.2	Polea de soporte móvil	MEC
5.3	Polea de soporte fijo	MEC
5.4	Polea de potencia	MEC
5.5	Motor eléctrico	ELE
5.6	Correa de potencia	MEC
6	SISTEMA DE LIMPIEZA	
6.1	Soporte de rascadores	MEC
6.2	Soporte de cepillos	MEC
6.3	Cepillos (cilindro estriado)	MEC
6.4	Rascadores (cilindro liso)	MEC
7	SISTEMA NEUMÁTICO	
7.1	Cilindro neumático	INS
7.2	Electroválvula 24 V	INS
7.3	Sensor	INS
7.4	Caja de derivación	INS

Nota. Esta tabla muestra los sistemas y las partes de cada sistema de los bancos de molienda

4.2. Análisis de criticidad

Con base en esto se realiza un análisis de criticidad de los sistemas de los bancos de molienda descritos en la tabla 6. A continuación, se muestra la matriz de criticidad establecida en la figura 12, se definen las consecuencias y las probabilidades con sus respectivos valores de que

se produzca el evento, por último, se presenta la tabla 7, en donde está la calificación del riesgo para poder tomar la decisión de cuáles son los sistemas más críticos para los bancos de molienda.

Figura 12

Matriz de criticidad y riesgo de la empresa

		CONSECUENCIA			
		Salud y Seguridad	Medioambiente	Financiero	Imagen y reputación
5	Catastrófico	Mas de un muerto	Efectos irreversibles (irreversible, o >10 años para remediarlo)	>100 M	Internacional
4	Grave	Incapacidad permanente	Efectos irreversibles (de 2 a 10 años para remediarlo)	ENTRE 100M - 10M	Nacional
3	Moderado	Incapacidad temporal	Efectos reversibles (< 6 meses para remediarlo)	ENTRE 10 M- 1M	Regional
2	Menor	Lesión / enfermedad con restricción del trabajo	Efectos pueden ser controlados (< 3 meses para remediarlo)	ENTRE 1M-.05M	Local
1	Insignificante	Lesión Malestar de nivel de primeros auxilios	No afecta el medio ambiente (< 1 semana para remediarlo)	<0.05M	Ninguno

PROBABILIDAD de que se produzca el evento con esa consecuencia					
Base de la calificación (Elija la más adecuada)	Inusual	Improbable	Posible	Frecuente	Casi seguro
VIDA COMPLETA o VIDA ÚTIL DE LA PLANTA	Es poco probable que ocurra durante la vida completa o la vida útil de la planta	Podría ocurrir aproximadamente una vez durante la vida completa o la vida útil de la planta	Podría ocurrir más de una vez durante la vida completa o la vida útil de la planta	Puede ocurrir aproximadamente una vez al año	Puede ocurrir varias veces al año
	15	19	22	24	25
	10	14	18	21	23
	6	9	13	17	20
	3	5	8	12	16
	1	2	4	7	11

Resultado de la matriz de riesgos	Calificación del riesgo	Propiedad y aprobación	Escalamiento y comunicación
23 a 25	Riesgo muy alto	Director industrial / Director de materias primas	Director general / Director financiero / Director de activos industriales / Consejero general
17 a 22	Riesgo alto	Dirección de la operación / activo / función / departamento	Director de activos industriales
7 a 16	Riesgo medio	Director delegado de la operación / activo / función / departamento	Director de activos industriales
1 a 6	Riesgo bajo	Director delegado de la operación / activo / función / departamento	Director de activos industriales

Nota. En la figura se presenta la matriz de criticidad con la cual se van a evaluar los sistemas de los bancos de molienda.

Seguidamente se plantea la matriz de criticidad como se muestra en la tabla 7, teniendo en cuenta los criterios de la figura 12, dando un nivel alto para tres de los sistemas estudiados.

Tabla 7

Matriz de análisis de criticidad para los sistemas del pasaje de molienda

Sistema	Salud y Seguridad	Medio ambiente	Financiero	Imagen y reputación	Resultado	Nivel del riesgo	Tipo de decisión	Probabilidad
Sistema de control de arranque y potencia	1	1	2	1	5	Bajo	Correctivo	Improbable
Sistema de alimentación y alimentador	1	1	8	3	13	Medio	Preventivo	Improbable
Sistema de soporte y rodillos de molienda	1	1	21	2	25	Muy Alto	Análisis RCA	Frecuente
Sistema de ajuste y distancia	1	1	8	1	11	Medio	Preventivo	Posible
Sistema de transmisión	1	1	21	1	24	Muy Alto	Análisis RCA	Frecuente
Sistema de limpieza	1	1	8	1	11	Medio	Preventivo	Posible
Sistema neumático	1	1	21	2	25	Muy Alto	Análisis RCA	Frecuente

Con base en la tabla 7, se entra a revisar los subsistemas del sistema de soporte y rodillos de molienda, sistemas de transmisión y sistema neumático, para hallar el nivel de criticidad de los componentes como se muestra en la tabla 8, 9 y 10 respectivamente.

Tabla 8*Matriz de análisis de criticidad para sistema de soporte y rodillos de molienda*

Sistema de soporte y rodillos de molienda								
Sistema	Salud y Seguridad	Medio ambiente	Financiero	Imagen y reputación	Resultado	Nivel del riesgo	Tipo de decisión	Probabilidad
Soporte móvil (rodillo lento)	1	1	6	1	9	Medio	Preventivo	Improbable
Soporte fijo (rodillo veloz)	1	1	6	1	9	Medio	Preventivo	Improbable
Rodamiento, manguito completo	1	1	21	1	24	Muy Alto	Análisis RCA	Frecuente
Cilindro de molienda liso	5	1	6	1	13	Medio	Preventivo	Probable
Cilindro de molienda estriado	5	1	6	1	13	Medio	Preventivo	Probable

Tabla 9*Matriz de análisis de criticidad para sistema de transmisión*

Sistema de transmisión								
Sistema	Salud y Seguridad	Medio ambiente	Financiero	Imagen y reputación	Resultado	Nivel del riesgo	Tipo de decisión	Probabilidad
Polea libre	1	1	5	1	8	Medio	Preventivo	Improbable
Polea de soporte móvil	1	1	5	1	8	Medio	Preventivo	Improbable
Polea de soporte fijo	1	1	5	1	8	Medio	Preventivo	Improbable
Polea de potencia	1	1	5	1	8	Medio	Preventivo	Improbable
Motor eléctrico	1	1	21	1	24	Muy Alto	Análisis RCA	Frecuente
Correa de potencia	1	1	21	1	24	Muy Alto	Análisis RCA	Frecuente

Tabla 10*Matriz de análisis de criticidad para sistema neumático*

Sistema neumático								
Sistema	Salud y Seguridad	Medio ambiente	Financiero	Imagen y reputación	Resultado	Nivel del riesgo	Tipo de decisión	Probabilidad
Cilindro neumático	1	1	9	1	12	Medio	Preventivo	Posible
Electroválvula 24 V	1	1	21	1	24	Muy Alto	Análisis RCA	Frecuente
Sensor	1	1	8	1	11	Medio	Preventivo	Posible
Caja de derivación	1	1	8	1	11	Medio	Preventivo	Posible

Se muestran a continuación las fallas repetitivas y catastróficas presentadas en los sistemas y se prosigue a realizar la descripción del problema por medio de la metodología 5W + 1H, se adjuntan las figuras 13, 14, 15 y 16 de los eventos presentados en diferentes ocasiones en el molino c, para luego realizar el análisis de los 5 porques múltiples.

Figura 13*Daño en motor de potencia*



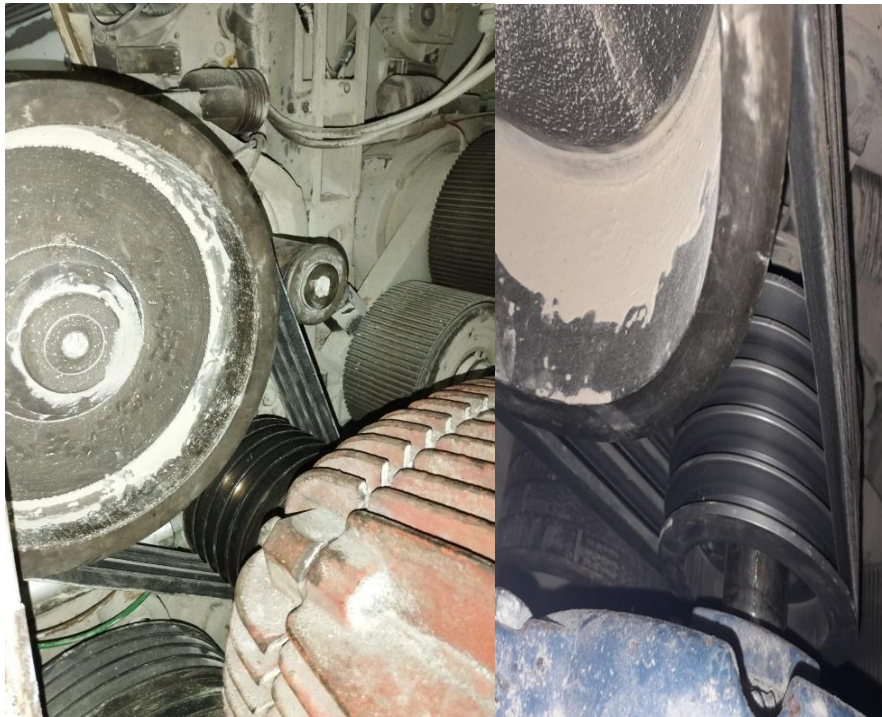


Nota. Los gráficos representan imágenes representativas de daños en motores eléctricos del molino C.

Figura 14

Daño en correa de potencia





Nota. Los gráficos representan imágenes representativas de daños en las correas de potencia del molino C.

Figura 15

Daño en electroválvula de embrague





Nota. El gráfico representa imágenes representativas de daños en las electroválvulas de los pasajes del molino C.

Figura 16

Daño de rodamientos de los rodillos de molienda







Nota. El gráfico representa imágenes representativas de daños en los rodamientos de los cilindros del molino C.

4.3. Análisis 5W + 1H y 5W Múltiple

Al tener definidas las fallas mostradas en las figuras 13, 14, 15 y 16, se procede a aplicar la metodología 5W + 1H, con esto se busca una planificación más exhaustiva y un enfoque estratégico para abordar cualquier situación. Este enfoque sistemático proporciona una visión holística que facilita la toma de decisiones informada y el éxito en la ejecución de las tareas planteadas. A continuación, se presentan el análisis para cada uno de los cuatro problemas, seguidamente se presenta su 5W múltiple y sus acciones a implementar para atacar las causas raíz, estas tablas y figuras se encuentran en el apéndice B para lograr una mayor visualización, seguidamente al presentar las tablas y figuras se presenta su explicación.

Tabla 11

Análisis de 5W + 1H para daño en motor de potencia de los pasajes de molienda

FORMATO 5W + 1H	
PROBLEMA: Daño en motor de potencia del pasaje de molienda	
¿Qué? (What?)	
¿Qué hace evidente el problema?	Daño en motor eléctrico
¿En que se manifiesta el inconveniente?	
¿Dónde? (Where?)	
¿En qué lugar, sitio o parte de la maquina o material ocurre el problema?	Devanado y rodamientos
¿Cuándo? (When?)	
¿Cuándo ocurrió el problema?	Reiterativos arranques después de disparar la protección
¿Bajo qué circunstancias ocurre el problema?	
¿Quién? (Who?)	
Depende de las actuaciones humanas el hecho de que aparezca o no el problema?	No depende de las actuaciones humanas
¿Cómo? (How?)	
¿Cual es la forma en que se presenta el problema? ¿Cómo difiere de la situación normal o de un patrón?	Al realizar mediciones de amperaje marcan por arriba del 90% de la utilización del motor, produciendo que llegue a su corriente de disparo
¿Cuál? (Which?)	
¿Hay una tendencia de problema? ¿Hay un patrón de comportamiento?	Frecuentemente
¿Cómo?-¿Que?-¿Dónde?-¿Cuándo?-¿Cuál?-¿Quién?	
Daño en el motor eléctrico, al realizar mediciones de amperaje marcan por arriba del 90% de la utilización del motor, produciendo que llegue a su corriente de disparo, en el devanado y rodamientos por reiterativos arranques después de disparar la protección, se produce frecuentemente y no depende de las actuaciones humanas.	

Figura 17

Análisis de 5 porques múltiples para el problema del motor eléctrico

FENÓMENO		Daño en el motor eléctrico, al realizar mediciones de amperaje marcan por arriba del 90% de la utilización del motor, produciendo que llegue a su corriente de disparo, en el devanado y rodamientos por reiterativos arranques después de disparar la protección, se produce frecuentemente y no depende de las actuaciones humanas										 ✓ Por verificar Verificado y continua ¿Por qué? ✗ Verificado y termina el ¿Por qué?													
MÁQUINA	1ª Ronda	1 ¿Por qué? ¿Por qué el motor eléctrico no trasmite movimiento?	2ª Ronda	2 ¿Por qué? ¿Por qué la maniobra eléctrica no arranca?	3ª Ronda	3 ¿Por qué? ¿Por qué el motor se encuentra aterrizado a tierra y quemado?	4ª Ronda	4 ¿Por qué? ¿Por qué hubo un exceso de corriente eléctrica en el motor?	5ª Ronda	5 ¿Por qué?	Acciones a Tomar														
	Respuesta:	El motor no arranca al ingresar la tensión en la maniobra eléctrica	Acción de validación:	No se presenta movimiento mecánico en el motor eléctrico	✓	Respuesta:	El motor se encuentra aterrizado a tierra y quemado	Acción de validación:	Se miden las bobinas con un megger y las resistencias, dando valores dispares para cada una	✓		Respuesta:	Hubo un exceso de corriente eléctrica	Acción de validación:	Se disparo el interruptor magnetico	✓	Respuesta:	El aislamiento en el devanado del motor se deterioro	Acción de validación:	y se reviso visualmente el barniz en mal estado y quebradizo, con bastante residuos de harina	✓	Respuesta:		Acción de validación:	
	MEDIO AMBIENTE	1 ¿Por qué?	2 ¿Por qué?	3 ¿Por qué?	4 ¿Por qué?	5 ¿Por qué?	1 ¿Por qué?	2 ¿Por qué?	3 ¿Por qué?	4 ¿Por qué?		5 ¿Por qué?	La mejora de la protección ambiental del motor y la revisión de los procedimientos de mantenimiento preventivo para asegurar la integridad del aislamiento, como seguimiento continuo de corrientes eléctricas por medio de pinza amperimétrica y por medio de la automatización												
	MATERIAL O EFECTOS	1 ¿Por qué?	2 ¿Por qué?	3 ¿Por qué?	4 ¿Por qué?	5 ¿Por qué?	Implementación de un programa de mantenimiento preventivo, la revisión y mejora del sistema de lubricación, así como la capacitación del personal sobre la importancia del mantenimiento regular de los rodamientos																		
MEDICIÓN	1 ¿Por qué?	2 ¿Por qué?	3 ¿Por qué?	4 ¿Por qué?	5 ¿Por qué?	La medición de vibraciones y el uso del estetoscopio permiten detectar problemas en los rodamientos en una etapa temprana, antes de que se conviertan en fallas graves. Esto facilita intervenciones de mantenimiento preventivo para evitar costosas paradas no planificadas																			

Nota. En esta figura se analiza los 5 porques múltiples para llegar a las causas raíz para el fenómeno del motor.

Tabla 12

Plan de acción para motor eléctrico

ACCIÓN	OBJETO DE LA ACCIÓN	DETALLE DE LA ACCIÓN	APLICACIÓN	RESPONSABLE	CRONOGRAMA			
					Cuando			
Cuál	Qué	Cómo	Dónde	Quién	2/03/2024	2/04/2024	2/05/2024	2/05/2024
La mejora de la protección ambiental del motor y la revisión de los procedimientos de mantenimiento preventivo para asegurar la integridad del aislamiento, como seguimiento continuo de corrientes eléctricas por medio de pinza amperimétrica y por medio de la automatización	Disminuir la contaminación del área donde se encuentran ubicados los motores	Realizar mejoras a la infraestructura y a la instalación de filtros de mangas para disminuir la polución del área	Motores eléctricos de potencia	Lider de mantenimiento				
Implementación de un programa de mantenimiento preventivo, la revisión y mejora del sistema de lubricación, así como la capacitación del personal sobre la importancia del mantenimiento regular de los rodamientos.	Anticipar posibles fallas imprevistas	Capacitación del personal Plan de mantenimiento de lubricación	Motores eléctricos de potencia	Lider de mantenimiento + Programador de mantenimiento				
La medición de vibraciones y el uso del estetoscopio permiten detectar problemas en los rodamientos en una etapa temprana, antes de que se conviertan en fallas graves. Esto facilita intervenciones de mantenimiento preventivo para evitar costosas paradas no planificadas	Disminuir o eliminar el riesgo de fallas por partes no originales	Seguimiento de estas variables por medio de las mediciones	Motores eléctricos de potencia	Programador de mantenimiento				

Nota. En la presenta tabla se muestran las acciones a realizar para la resolución de las fallas halladas durante el análisis.

Tabla 13

Análisis de 5W + 1H para daño en correa de potencia de los pasajes de molienda

FORMATO 5W + 1H	
PROBLEMA: Daño en correa de potencia	
¿Qué? (What?)	
¿Qué hace evidente el problema?	Sistema de transmisión de movimiento se detiene
¿En que se manifiesta el inconveniente?	
¿Dónde? (Where?)	
¿En qué lugar, sitio o parte de la maquina ó material ocurre el problema?	En todas las correas de transmisión de potencia
¿Cuándo? (When?)	
¿Cuándo ocurrió el problema?	Durante la molienda de trigo
¿Bajo qué circunstancias ocurre el problema?	
¿Quién? (Who?)	
Depende de las actuaciones humanas el hecho de que aparezca o no el problema?	Depende de la habilidad de las personas
¿Cómo? (How?)	
¿Cual es la forma en que se presenta el problema? ¿Cómo difiere de la situación normal o de un patrón?	Se presenta perdida de 1 hora, ocasionando paros en la producción
¿Cuál? (Which?)	
¿Hay una tendencia de problema? ¿Hay un patrón de comportamiento?	Frecuentemente
¿Cómo?-¿Que?-¿Dónde?-¿Cuándo?-¿Cuál?-¿Quién?	
Sistema de transmisión de movimiento se detiene, se presenta perdida de 1 hora, ocasionando paros en la producción, por todas las correas de transmisión de potencia, durante la molienda de trigo, se produce frecuentemente y depende de la habilidad de las personas.	

Tabla 14

Plan de acción para correas de potencia

ACCIÓN	OBJETO DE LA ACCIÓN	DETALLE DE LA ACCIÓN	APLICACIÓN	RESPONSABLE	CRONOGRAMA			
					Cuando			
					2/03/2024	2/04/2024	2/05/2024	2/05/2024
Un almacén en una planta industrial es esencial para la gestión efectiva de recursos, la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente, contribuyendo significativamente al éxito general de la empresa	Una mejor gestión de recursos para el proceso de mantenimiento de la empresa	Gestionar almacén con almacenistas	Sistema de transmisión de movimiento del pasaje del molino	Lider de mantenimiento				
Implementación de un stock de correas para los diferentes pasajes de molienda, con la realización de sus fichas técnicas para saber la referencia necesaria y cantidad de correas e implementación de un almacén y almacenista	Gestión de un stock de correas	Realizar seguimiento a inventarios y llevar un inventario	Sistema de transmisión de movimiento del pasaje del molino	Programador de mantenimiento				
Las acciones correctivas podrían incluir mejorar la comunicación entre los departamentos y actualizar el programa de formación para abordar las necesidades específicas de alineación	Recibir capacitaciones para el personal	Realizar reunión con el área de recursos humanos para definir el alcance del perfil de los colaboradores de mantenimiento	Sistema de transmisión de movimiento del pasaje del molino	Lider de mantenimiento				

Nota. En la presenta tabla se muestran las acciones a realizar para la resolución de las fallas halladas durante el análisis.

Tabla 15

Análisis de 5W + 1H para daño en electroválvula de embrague y desembrague

FORMATO 5W + 1H	
PROBLEMA: Daño en electroválvula de embrague y desembrague	
¿Qué? (What?)	
¿Qué hace evidente el problema?	El sistema no desembraga y embraga
¿En que se manifiesta el inconveniente?	
¿Dónde? (Where?)	
¿En qué lugar, sitio o parte de la maquina o material ocurre el problema?	Electroválvula de doble efecto
¿Cuándo? (When?)	
¿Cuándo ocurrió el problema?	Cuando el sistema debe moler y romper las semillas de trigo
¿Bajo qué circunstancias ocurre el problema?	
¿Quién? (Who?)	
Depende de las actuaciones humanas el hecho de que aparezca o no el problema?	No depende de las actuaciones humanas
¿Cómo? (How?)	
¿Cual es la forma en que se presenta el problema? ¿Cómo difiere de la situación normal o de un patrón?	Se presenta perdida de 2 horas por detenimiento
¿Cuál? (Which?)	
¿Hay una tendencia de problema? ¿Hay un patrón de comportamiento?	Frecuentemente
¿Cómo?-¿Que?-¿Dónde?-¿Cuándo?-¿Cuál?-¿Quién?	
El sistema no desembraga y embraga, se presenta perdida de 2 horas por detenimiento, en la electroválvula de doble efecto, cuando el sistema debe moler y romper las semillas de trigo, se produce frecuentemente y no depende de las actuaciones humanas.	

Figura 19

Análisis de 5 porques múltiples para el problema de la electroválvula de embrague y desembrague

FENÓMENO		El sistema no desembraga y embraga, se presenta pérdida de 2 horas por deterioro, en la electroválvula de doble efecto, cuando el sistema debe molar y romper las semillas de trigo, se produce frecuentemente y no depende de las actuaciones humanas.										1	2	3							
		1ª Ronda		2ª Ronda		3ª Ronda		4ª Ronda		5ª Ronda		Acciones a Tomar									
MOZINA	1. ¿Por qué? ¿Por qué falló la electroválvula en el sistema?	Respuesta: La electroválvula no respondió correctamente al comando de apertura/cierre	Acción de validación: Electroválvula presenta mal funcionamiento	2. ¿Por qué? ¿Por qué la electroválvula no respondió correctamente al comando de apertura/cierre?	Respuesta: El solenoide de la electroválvula estaba defectuoso	Acción de validación: Se realizan pruebas en sitio con la válvula	3. ¿Por qué? ¿Por qué el solenoide de la electroválvula estaba defectuoso?	Respuesta: Hubo un aumento en la corriente eléctrica que dañó el solenoide	Acción de validación: Tiene un olor característico a quemado, sobrecarga del sistema	4. ¿Por qué? ¿Por qué hubo un aumento en la corriente eléctrica que dañó el solenoide?	Respuesta: La corriente eléctrica no estaba siendo regulada adecuadamente	Acción de validación: No se realiza seguimiento de esta variable	5. ¿Por qué? ¿Por qué la corriente eléctrica no estaba siendo regulada adecuadamente?	Respuesta: No hay un seguimiento establecido para la inspección periódica de la corriente en los solenoides de las electroválvulas	Acción de validación: No se lleva un historial	Implementación de un programa de mantenimiento preventivo que aborde la calibración y las inspecciones regulares del sistema de control de corriente, garantizando así el correcto funcionamiento de las electroválvulas y la integridad del sistema en general					
	MEDIO AMBIENTE	1. ¿Por qué?	Respuesta:	Acción de validación:	2. ¿Por qué?	Respuesta: Se encuentran obstrucciones o bloqueos en la electroválvula	Acción de validación: Se desarma válvula y se realiza revisión	3. ¿Por qué? ¿Por qué había obstrucciones o bloqueos en la electroválvula?	Respuesta: El aire comprimido suministrado a la electroválvula contenía partículas y contaminantes	Acción de validación: Obstrucciones de partículas de harina en la tubería neumática de la electroválvula	4. ¿Por qué? ¿Por qué el aire comprimido estaba contaminado con partículas?	Respuesta: No se estaba realizando un filtrado adecuado del aire comprimido	Acción de validación: Filtros de aire del compresor en mal estado	5. ¿Por qué?	Respuesta:		Acción de validación:				
		MANTENIMIENTO DE BOMBA	1. ¿Por qué?	Respuesta:	Acción de validación:	2. ¿Por qué?	Respuesta:	Acción de validación:	3. ¿Por qué?	Respuesta:	Acción de validación:	4. ¿Por qué? ¿Por qué no se estaba realizando un filtrado adecuado del aire comprimido?	Respuesta: No se implementó un programa de mantenimiento preventivo para inspeccionar y cambiar los elementos de filtro del sistema de aire comprimido	Acción de validación: No se tienen rutinas de inspección y no se cumplen el cambio a las horas de trabajo	5. ¿Por qué? ¿Por qué no se implementó un programa de mantenimiento preventivo para el cambio de filtros del compresor?		Respuesta: La importancia de un mantenimiento regular no fue reconocida y no se establecieron procedimientos formales para el sistema de aire comprimido	Acción de validación: No se tiene mantenimiento preventivo programado	La implementación de un programa de mantenimiento preventivo que aborde el filtrado del aire comprimido, así como la concientización y capacitación del personal sobre la importancia de mantener un aire comprimido limpio y libre de contaminantes		
			MEDIO AMBIENTE	1. ¿Por qué? ¿Por qué el aire comprimido tiene humedad?	Respuesta: La electroválvula está trabajando con aire comprimido húmedo	Acción de validación: Se sellaron mangueras neumaticas y se reviso presencia de agua en la línea de transporte	2. ¿Por qué? ¿Por qué el aire comprimido tiene humedad?	Respuesta: Porque no se está realizando una adecuada filtración y secado del aire comprimido en el sistema.	Acción de validación: Se revisa secador y se encuentra trabajando en mal estado, tanque de purga totalmente lleno de agua	3. ¿Por qué?	Respuesta:	Acción de validación:	4. ¿Por qué?	Respuesta:	Acción de validación:		5. ¿Por qué?	Respuesta:		Acción de validación:	
				MOZINA	1. ¿Por qué?	Respuesta:	Acción de validación:	2. ¿Por qué?	Respuesta:	Acción de validación:	3. ¿Por qué? ¿Por qué no se está realizando una adecuada secado del aire comprimido?	Respuesta: Porque los equipos de secado pueden estar obstruidos o no funcionando correctamente	Acción de validación: No se tiene un mantenimiento preventivo programado para los secadores de los compresores	4. ¿Por qué? ¿Por qué los equipos de secado están obstruidos o no funcionan correctamente?	Respuesta: Porque no se ha realizado un mantenimiento regular y programado en los componentes de filtración y secado del sistema de aire comprimido		Acción de validación: No se cumplen los recambios en las horas de trabajo del compresor	5. ¿Por qué? ¿Por qué no se ha realizado un mantenimiento regular y programado en los componentes de filtración y secado?		Respuesta: Porque no hay un plan de mantenimiento establecido o no se le ha dado la debida importancia al mantenimiento preventivo del sistema de aire comprimido.	Acción de validación: No se tienen registros de los mantenimientos al sistema de aire comprimido
MATERIAL DE RESERVA					1. ¿Por qué? ¿Por qué la manguera estaba desgastada y envejecida?	Respuesta: Porque la manguera estaba desgastada y envejecida	Acción de validación: Se realiza inspección visual	2. ¿Por qué? ¿Por qué la manguera estaba desgastada y envejecida?	Respuesta: Porque la manguera tiene una vida útil y debe cambiarse cada 6 meses	Acción de validación: Se encuentra en muy mal estado, con fuga de aire	3. ¿Por qué? ¿Por qué la manguera neumática no fue reemplazada?	Respuesta: Porque no hay un programa de mantenimiento establecido o no se le da la debida prioridad al mantenimiento de las mangueras	Acción de validación: No se lleva registro de las mangueras	4. ¿Por qué? ¿Por qué no hay un programa de mantenimiento establecido?	Respuesta: Porque el departamento de mantenimiento no reconoce la importancia del mantenimiento preventivo para el rendimiento del sistema neumático	Acción de validación: Se presentan multiples eventos repetitivos de esta clase	5. ¿Por qué? ¿Por qué el departamento de mantenimiento no reconoce la importancia del mantenimiento preventivo para el rendimiento del sistema neumático?	Respuesta: Porque no se ha proporcionado suficiente capacitación o concientización sobre los riesgos y costos asociados con la falta de mantenimiento preventivo de estos repuestos.		Acción de validación: No se ha capacitado al personal, por la pérdida de eficiencia y paradas que conlleva esta falta	Establecer un programa de mantenimiento preventivo que incluya el reemplazo regular de las mangueras neumáticas. Capacitar al personal sobre la importancia del mantenimiento preventivo y los riesgos de no reemplazar las mangueras desgastadas. Realizar inspecciones periódicas en todas las mangueras del sistema. Mantener un registro actualizado de la vida útil estimada de las mangueras y programar reemplazos antes de que alcancen el final de su vida útil.

Tabla 16

Plan de acción para electroválvula de embrague y desembrague

ACCIÓN	OBJETO DE LA ACCIÓN	DETALLE DE LA ACCIÓN	APLICACIÓN	RESPONSABLE	CRONOGRAMA			
					Cuando			
					2/03/2024	2/04/2024	2/05/2024	2/05/2024
Cuál	Qué	Cómo	Dónde	Quién				
Implementación de un programa de mantenimiento preventivo que aborde la calibración y las inspecciones regulares del sistema de control de corriente, garantizando así el correcto funcionamiento de las electroválvulas y la integridad del sistema en general	Programa de mantenimiento para el seguimiento de corrientes e integridad de las electroválvulas	Inspecciones y seguimientos	Electroválvula del sistema neumático	Lider de mantenimiento				
La implementación de un programa de mantenimiento preventivo que aborde el filtrado del aire comprimido, así como la concientización y capacitación del personal sobre la importancia de mantener un aire comprimido limpio y libre de contaminantes	Programa de mantenimiento para seguimiento de los repuestos del aire comprimido	Inspecciones y seguimientos	Electroválvula del sistema neumático	Lider de mantenimiento + Programador de mantenimiento				
Implementar un plan de mantenimiento preventivo para los componentes de filtración y secado del sistema de aire comprimido.	Programa de mantenimiento para seguimiento de secadores de los compresores	Inspecciones y seguimientos	Electroválvula del sistema neumático	Lider de mantenimiento + Programador de mantenimiento				
Realizar inspecciones regulares de los filtros y equipos de secado, limpiándolos o reemplazándolos según sea necesario	Programa de mantenimiento para seguimiento de secadores de los compresores	Inspecciones y seguimientos	Electroválvula del sistema neumático	Programador de mantenimiento				
Capacitar al personal responsable sobre la importancia del mantenimiento preventivo y las consecuencias de la falta de filtración y secado adecuados	Conocimiento para el personal	Dar capacitaciones para el personal	Electroválvula del sistema neumático	Lider de mantenimiento				
Establecer un programa de mantenimiento preventivo que incluya el reemplazo regular de las mangueras neumáticas. Capacitar al personal sobre la importancia del mantenimiento preventivo y los riesgos de no reemplazar las mangueras desgastadas. Realizar inspecciones periódicas en todas las mangueras del sistema. Mantener un registro actualizado de la vida útil estimada de las mangueras y programar reemplazos antes de que alcancen el final de su vida útil.	Programas de mantenimientos	Inspecciones y seguimientos	Electroválvula del sistema neumático	Lider de mantenimiento + Programador de mantenimiento				

Nota. En la presenta tabla se muestran las acciones a realizar para la resolución de las fallas halladas durante el análisis.

Tabla 17*Análisis de 5W + 1H para daño en rodamientos de los rodillos*

FORMATO 5W + 1H	
PROBLEMA: Daño en rodamientos de los rodillos de molienda	
¿Qué? (What?)	
¿Qué hace evidente el problema?	El sistema se encuentra frenado y trabajando sobreesforzado
¿En que se manifiesta el inconveniente?	
¿Dónde? (Where?)	
¿En qué lugar, sitio o parte de la maquina o material ocurre el problema?	En sus rodamientos, puede ser un rodamiento o los dos rodamientos, específicamente en los elementos rodantes
¿Cuándo? (When?)	
¿Cuándo ocurrió el problema?	Durante la etapa de compresión del trigo
¿Bajo qué circunstancias ocurre el problema?	
¿Quién? (Who?)	
Depende de las actuaciones humanas el hecho de que aparezca o no el problema?	Depende de la habilidad de las personas
¿Cómo? (How?)	
¿Cual es la forma en que se presenta el problema? ¿Cómo difiere de la situación normal o de un patrón?	Se presenta perdida de 6 a 8 horas por frenado
¿Cuál? (Which?)	
¿Hay una tendencia de problema? ¿Hay un patrón de comportamiento?	Frecuentemente
¿Cómo?-¿Que?-¿Dónde?-¿Cuándo?-¿Cuál?-¿Quién?	
El sistema se encuentra frenado y trabajando sobreesforzado, se presenta perdida de 6 a 8 horas por frenado, en sus rodamientos, puede ser un rodamiento o los dos rodamientos, específicamente en los elementos rodantes, durante la etapa de compresión del trigo, se produce frecuentemente y depende de la habilidad de las personas.	

Figura 20

Análisis de 5 porques múltiples para el problema de los rodamientos de los rodillos

FENÓMENO		! Por verificar ✓ Verificado y continua ¿Por qué? ✗ Verificado y termina el ¿Por qué?																				
MENTE O MANO DE OBRA	1ª Ronda	1 ¿Por qué? ¿Por qué fallaron los rodamientos?	Respuesta: Porque ha habido un sobrecalentamiento del rodamiento	Acción de validación: Al momento de la falla se realiza inspección y el rodamiento tiene olor a quemado	✓	2ª Ronda	2 ¿Por qué? ¿Por qué ha habido un sobrecalentamiento del rodamiento?	Respuesta: Porque no se realizó la aplicación regular de lubricante al rodamiento	Acción de validación: Se evidencia que los elementos rodantes del rodamiento se encontraban sin grasa	✓	3ª Ronda	3 ¿Por qué? ¿Por qué no se realizó la aplicación regular de lubricante al rodamiento?	Respuesta: Porque no se tiene una ruta de lubricación para los rodamientos de los pasajes de los bancos	Acción de validación: No se ha progrado, no se tienen archivos de cuando fue su última lubricación	✓	4ª Ronda	4 ¿Por qué?	Respuesta:	Acción de validación:			Acciones a Tomar
	MÉTODO DE TRABAJO	1 ¿Por qué? ¿Por qué la lubricación del rodamiento no fue efectiva?	Respuesta: Porque la lubricación del rodamiento no fue efectiva	Acción de validación: El rodamiento se encontraba sin gras al momento de la inspección	✓	2 ¿Por qué? ¿Por qué la lubricación no fue efectiva?	Respuesta: Porque se usó una grasa inadecuada para las condiciones de operación del rodamiento	Acción de validación: La grasa es una grasa generica, sin aditamentos y tampoco es para alta temperatura	✓	3 ¿Por qué? ¿Por qué no se implementó una programa de mantenimiento preventivo para la lubricación?	Respuesta: Porque no se asignaron recursos suficientes para establecer y seguir un programa de mantenimiento	Acción de validación: En el área de mantenimiento no se ha empezado a llevar una ruta de lubricación para equipos criticos	✓	4 ¿Por qué? ¿Por qué no se asignaron recursos suficientes para establecer y seguir un programa de mantenimiento?	Respuesta: Porque el área de mantenimiento no reconoció la importancia de la lubricación regular para la vida útil y el rendimiento del rodamiento	Acción de validación: No se llevan archivos	✓	Establecer un programa de mantenimiento preventivo que incluya la aplicación regular y adecuada de lubricante a los rodamientos. Asignar recursos adecuados para implementar y seguir el programa de mantenimiento preventivo. Educar al personal sobre la importancia de la lubricación regular y los efectos adversos de la falta de lubricación en los rodamientos. Implementar sistemas de monitoreo automático de la lubricación para asegurar la aplicación adecuada del lubricante.				
		MATERIAL O REQUISITOS	1 ¿Por qué? ¿Por qué el rodamiento estaba sobrecargado?	Respuesta: Porque el rodamiento estaba sobrecargado	Acción de validación: Se revisa ficha técnica y el rodamiento cumple para la carga que se necesita	✗	2 ¿Por qué? ¿Por qué se utilizó una grasa inadecuada?	Respuesta: Porque no se realizó un análisis completo de las condiciones de operación y requisitos del rodamiento para seleccionar la grasa adecuada	Acción de validación: El personal operativo de mantenimiento no esta capacitado	✓	3 ¿Por qué? ¿Por qué no se realizó un análisis completo para seleccionar la grasa adecuada?	Respuesta: Porque no hay un proceso formalizado para la selección y aplicación de lubricantes en el mantenimiento del equipo	Acción de validación: El personal no se encuentra capacitado, no le dan importancia a la lubricación	✓	4 ¿Por qué? ¿Por qué no hay un proceso formalizado para la selección y aplicación de lubricantes?	Respuesta: Porque no se ha asignado el tiempo y los recursos necesarios para desarrollar y mantener un programa de gestión de lubricación	Acción de validación: No se tiene una ruta de lubricación critica	✓	Establecer un programa de gestión de lubricación que incluya un análisis detallado de las condiciones de operación y requisitos del rodamiento para seleccionar la grasa adecuada. Capacitar al personal en la importancia de seleccionar y aplicar lubricantes apropiados para cada aplicación. Implementar procedimientos de mantenimiento preventivo que incluyan la aplicación regular y la inspección de la lubricación del rodamiento. Monitorear continuamente las condiciones de operación y realizar ajustes en el tipo de grasa según sea necesario			

Tabla 18

Plan de acción para rodamientos de rodillos

ACCIÓN	OBJETO DE LA ACCIÓN	DETALLE DE LA ACCIÓN	APLICACIÓN	RESPONSABLE	CRONOGRAMA			
					Cuando			
					2/03/2024	2/04/2024	2/05/2024	2/05/2024
<p>Establecer un programa de mantenimiento preventivo que incluya la aplicación regular y adecuada de lubricante a los rodamientos.</p> <p>Asignar recursos adecuados para implementar y seguir el programa de mantenimiento preventivo.</p> <p>Educar al personal sobre la importancia de la lubricación regular y los efectos adversos de la falta de lubricación en los rodamientos.</p> <p>Implementar sistemas de monitoreo automático de la lubricación para asegurar la aplicación adecuada del lubricante.</p>	<p>Programa de mantenimiento para el seguimiento y monitoreo de los rodamientos de los rodillos</p>	<p>Inspecciones y seguimientos</p>	<p>Rodamientos de soporte de los bancos de rodillos</p>	<p>Lider de mantenimiento + programados mantenimiento</p>				
<p>Establecer un programa de gestión de lubricación que incluya un análisis detallado de las condiciones de operación y requisitos del rodamiento para seleccionar la grasa adecuada.</p> <p>Capacitar al personal en la importancia de seleccionar y aplicar lubricantes apropiados para cada aplicación.</p> <p>Implementar procedimientos de mantenimiento preventivo que incluyan la aplicación regular y la inspección de la lubricación del rodamiento.</p> <p>Monitorear continuamente las condiciones de operación y realizar ajustes en el tipo de grasa según sea necesario</p>	<p>Programa de mantenimiento para el seguimiento de la lubricación de los rodamientos de los bancos</p>	<p>Inspecciones y seguimientos</p>	<p>Rodamientos de soporte de los bancos de rodillos</p>	<p>Lider de mantenimiento + programados mantenimiento</p>				

Nota. En la presenta tabla se muestran las acciones a realizar para la resolución de las fallas halladas durante el análisis.

A continuación, se describen las tablas y las figuras para cada una de las cuatro fallas. Se empieza con el análisis de la falla del motor eléctrico. En la tabla 11 se responden las seis preguntas para describir el fenómeno y caracterizar el problema del motor eléctrico. Seguidamente en la figura 17, se realiza el análisis de cinco porques múltiples entrando en las probables causas y realizando la acción de validación para cada una de ellas, llegando a las causas raíces las cuales son tres, estas se describen a continuación, la empresa no tenía un programa de gestión de riesgos para la protección del motor en ambientes adversos, no se cuenta con rutinas de revisión para los rodamientos de los motores y no se sabe el estado actual de los rodamientos porque no se cuenta con un seguimiento o monitoreo por medio de equipos.

Con base en estas causas raíz se plantean las acciones a tomar respectivamente, las cuales se muestran en la tabla 12, la mejora de la protección ambiental del motor y la revisión de los procedimientos de mantenimiento preventivo para asegurar la integridad del aislamiento, como seguimiento continuo de corrientes eléctricas por medio de pinza amperimétrica y por medio de la automatización, implementación de un programa de mantenimiento preventivo, la revisión y mejora del sistema de lubricación, así como la capacitación del personal sobre la importancia del mantenimiento regular de los rodamientos y la medición de vibraciones y el uso del estetoscopio permiten detectar problemas en los rodamientos en una etapa temprana, antes de que se conviertan en fallas graves. Esto facilita intervenciones de mantenimiento preventivo para evitar costosas paradas no planificadas.

De igual manera en la tabla 13, para la falla de las correas de potencia, se realiza el análisis de las seis preguntas para describir y caracterizar el fenómeno. Luego de esto en la figura 18 se realiza el análisis de los 5 porques múltiples con las probables causas, encontrando dos

causas raíz, estas se describen a continuación, no se tiene stock de correa para los principales pasajes de la planta porque no se cuenta con un almacén y no se tiene conocimiento en la formación de los técnicos para lograr una buena alineación y tensión de correas. Con base en esto se plantean las acciones a tomar presentes en la tabla 14, las cuales son, un almacén en una planta industrial es esencial para la gestión efectiva de recursos, la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente, contribuyendo significativamente al éxito general de la empresa, implementación de un stock de correas para los diferentes pasajes de molienda, con la realización de sus fichas técnicas para saber la referencia necesaria y cantidad de y la mejora en la comunicación entre los departamentos y actualizar el programa de formación para abordar las necesidades específicas de alineación y tensión de las correas.

Seguidamente, en la tabla 15 se realiza el análisis de las seis preguntas para la falla de la electroválvula para poder caracterizar el fenómeno. Asimismo, en la figura 19 se realiza el análisis de los 5 porques múltiples con las probables causas, encontrando cuatro causas raíz, se describen a continuación, no hay un seguimiento establecido para la inspección periódica de la corriente en los solenoides de las electroválvulas, la importancia de un mantenimiento regular no fue reconocida y no se establecieron procedimientos formales para el sistema de aire comprimido, no hay un plan de mantenimiento establecido o no se le ha dado la debida importancia al mantenimiento preventivo del sistema de aire comprimido y no se ha proporcionado suficiente capacitación o concienciación sobre los riesgos y costos asociados con la falta de mantenimiento preventivo de estos repuestos. Con base en esto se plantean las acciones a tomar descritas en la tabla 16, implementación de un programa de mantenimiento preventivo que aborde la calibración y las inspecciones regulares del sistema de control de

corriente, garantizando así el correcto funcionamiento de las electroválvulas y la integridad del sistema en general, implementación de un programa de mantenimiento preventivo que aborde el filtrado del aire comprimido, así como la concientización y capacitación del personal sobre la importancia de mantener un aire comprimido limpio y libre de contaminantes, implementar un plan de mantenimiento preventivo para los componentes de filtración y secado del sistema de aire comprimido, realizar inspecciones regulares de los filtros y equipos de secado, limpiándolos o reemplazándolos según sea necesario, capacitar al personal responsable sobre la importancia del mantenimiento preventivo y las consecuencias de la falta de filtración y secado adecuados, establecer un programa de mantenimiento preventivo que incluya el reemplazo regular de las mangueras neumáticas, capacitar al personal sobre la importancia del mantenimiento preventivo y los riesgos de no reemplazar las mangueras desgastadas, realizar inspecciones periódicas en todas las mangueras del sistema y mantener un registro actualizado de la vida útil estimada de las mangueras y programar reemplazos antes de que alcancen el final de su vida útil.

Seguidamente, en la tabla 17 se realiza el análisis de las seis preguntas para la falla de los rodamientos de los rodillos para así poder caracterizar el fenómeno. Asimismo, en la figura 20 se realiza el análisis de los 5 porqués múltiples, encontrando 2 causas raíz, las cuales se describen a continuación, el área de mantenimiento no reconoció la importancia de la lubricación regular para la vida útil y el rendimiento del rodamiento y no se ha asignado el tiempo y los recursos necesarios para desarrollar y mantener un programa de gestión de lubricación. Con base en esto se plantean las acciones a tomar descritas en la tabla 18, las cuales son, establecer un programa de mantenimiento preventivo que incluya la aplicación regular y adecuada de lubricante a los rodamientos, asignar recursos adecuados para implementar y seguir el programa de

mantenimiento preventivo, educar al personal sobre la importancia de la lubricación regular y los efectos adversos de la falta de lubricación en los rodamientos, implementar sistemas de monitoreo automático de la lubricación para asegurar la aplicación adecuada del lubricante, establecer un programa de gestión de lubricación que incluya un análisis detallado de las condiciones de operación y requisitos del rodamiento para seleccionar la grasa adecuada, capacitar al personal en la importancia de seleccionar y aplicar lubricantes apropiados para cada aplicación y monitorear continuamente las condiciones de operación y realizar ajustes en el tipo de grasa según sea necesario.

Con este análisis presentado para los eventos de las fallas que han ocurrido, se busca que la empresa implemente las acciones para solucionar de raíz las incidencias presentadas. Este enfoque no solo aborda los síntomas superficiales, sino que se adentra en las causas fundamentales, permitiendo así un abordaje más efectivo y duradero. Al identificar y corregir las causas subyacentes, la organización puede fortalecer su proceso de calidad y evitar la repetición de errores, promoviendo así la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente.

5. Seguimiento de Corrientes

Al tener los pasajes y motores eléctricos definidos, se empieza a realizar un seguimiento de corrientes semanal para ver cambios, anomalías en los motores eléctricos y los ajustes de los rodillos de molienda, este seguimiento se muestra en la siguiente tabla 19.

Tabla 19

Medición de corrientes eléctricas de motores del molino c

MEDICION AMPERAJE BANCOS DE MOLIENDA MOLINO C										
V.CNX	PASAJE	H P	KW	AMP PLACA	23/03/2023	30/03/2023	6/04/2023	13/04/2023	PROM.	%UTIL.
440	B1A	50	37	61,4	65	56,8	55	59	52,5	85,5
440	B1B	50	37	63	58,8	58	59	48,7	49,0	77,8
440	B2A	30	22	38,7	16,4	24,4	19,7	22	20,9	54,0
440	B2B	30	22	38,7	25,4	17,9	17	20,3	19,1	49,5
440	B3A	30	22	38,7	16	16	16,3	16,5	17,0	43,9
440	B3B	30	22	33,05	28,4	24,5	24	24,6	18,7	56,6
440	B3C	25	19	30,5	20,9	28	23,4	23,9	21,6	70,8
440	B4F	20	15	26,9	21	21,4	15	16,9	17,1	63,7
440	B4G	20	15	27	18,7	17,1	16,1	21,3	16,3	60,2
440	B5F	20	15	27	15,5	18,5	18	18,4	16,4	60,7
440	B5G	20	15	29,2	16,4	16,3	16	17,7	16,9	57,9
440	R1FA	25	19	31,3	25,6	25,8	26	22,3	22,7	72,7
440	R1FB	25	19	28,3	23,8	24,8	16	19,9	21,5	76,0
440	R1GA	30	22	38,6	34	32,6	30,8	STOP	24,3	63,0
440	R1GB	30	22	39,14	STOP	31,8	15,6	STOP	23,4	59,8
440	R2A	30	22	38,6	29,2	32,7	28,9	30,1	27,6	71,4
440	R2B	25	19	29,9	14,8	18,1	19,3	19,3	16,3	54,4
440	R3	20	15	28,3	19,8	26,8	24,8	24,7	19,5	69,1
440	R4	20	15	28,73	16,5	16,4	16,6	17,3	16,9	58,7
440	C1A	20	15	26,9	25,5	22,8	23,4	22,9	22,8	84,6
440	C1B	20	15	26,9	22,8	23,6	24,6	26,7	20,2	75,1

MEDICION AMPERAJE BANCOS DE MOLIENDA MOLINO C

V.CNX	PASAJE	HP	KW	AMP PLACA	23/03/2023	30/03/2023	6/04/2023	13/04/2023	PROM.	%UTIL.
440	C2	23	17	27,3	STOP	STOP	STOP	STOP	14,4	52,6
440	C3	20	15	25,1	15	19,4	20,5	STOP	14,7	58,6
440	C4	20	15	29,2	17,6	21,4	18,6	21,9	17,7	60,7
440	C5	20	15	27,5	17,8	18,3	18,7	19,4	18,3	66,5
440	C6	20	15	29,2	STOP	STOP	17,5	17,6	19,4	66,3

Nota. Muestra la medición de corrientes eléctricas para los 26 pasajes del molino c, medidos con pinza amperimétrica.

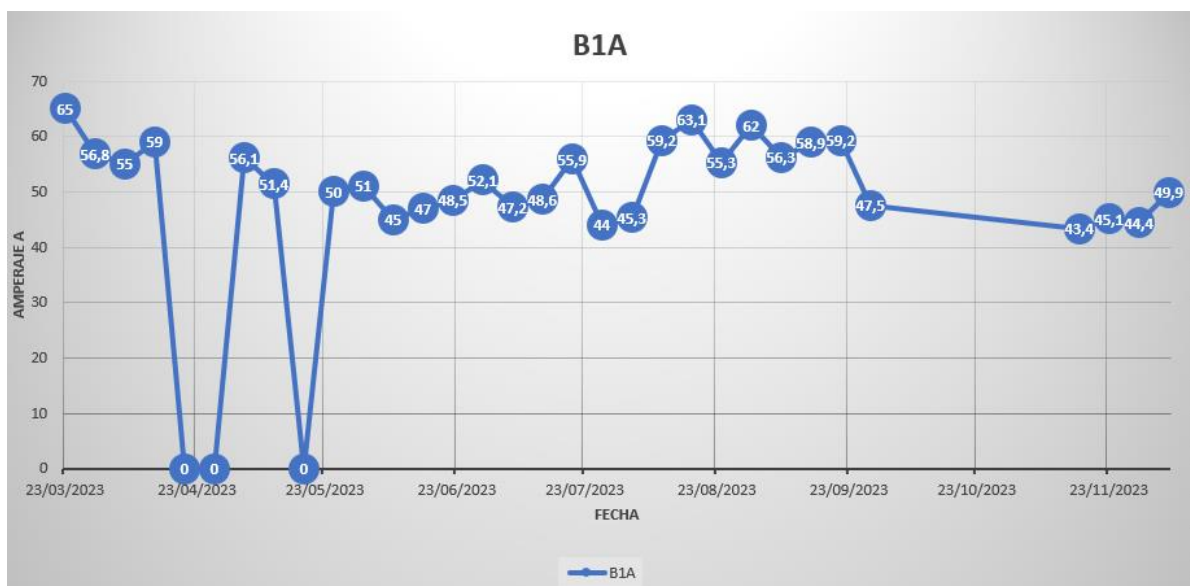
Los seguimientos se realizan desde el 23 de marzo del 2023 hasta el 7 de diciembre del 2023, tratando de tomarlos semanalmente, los datos completos se encuentran en el apéndice C. En la tabla presente se muestran dos columnas la promedio que es el promedio de 32 tomas de amperaje con la pinza amperimétrica y la casilla de porcentaje de utilización que en la cual se establece un rango de uso del motor eléctrico entre el 70% y 90%, dando a entender que un promedio entre estos valores es aceptable, ya que por debajo del rango inferior quiere decir que el motor esta sobredimensionado o los rodillos de compresión / trituración están ya desgastados y por encima del rango superior que el motor esta subdimensionado y está trabajando a máxima capacidad, generando un desgaste prematuro del motor y sus componentes o que los rodillos están chocando entre ellos y el motor tiene que hacer esfuerzos excesivos.

Por ejemplo, se grafican los amperajes tomados en las respectivas fechas para el pasaje B1A como se muestra en la figura 21, mostrando como el motor eléctrico empezó sus mediciones en un rango de 65 A y ha ido bajando a valores de 45 A, esto debido al cambio de

rodillos, conjunto de rodamientos del rodillo y mantenimiento del motor eléctrico, estos datos obtenidos por el seguimiento manual por medio de pinza amperimétrica, mostrando un porcentaje de utilización del motor dentro del rango, las demás figuras se encuentran en el apéndice D.

Figura 21

Corriente eléctrica medida en cada semana para el pasaje B1A



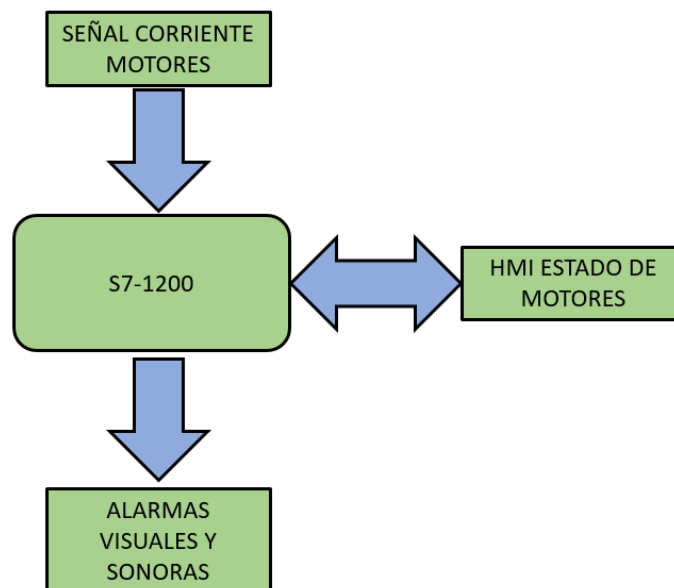
Nota. La figura muestra que la corriente eléctrica ha disminuido y se mantiene en el rango de utilización y esto se debe al seguimiento de la variable por medio de la toma de corriente y la programación del cambio de rodillos para el pasaje.

6. Programación del proceso de control

La programación del proceso de medición de corrientes eléctricas con alarmas se realizó mediante el software Tia Portal V16, porque el PLC escogido para este proyecto es el S7-1200. Se inicia el proceso mediante la elaboración de la tabla de variables, que se encuentra en el apéndice E, estas permiten llamar a los diferentes componentes de entrada, salida y marcas, que se usan durante la programación en lenguaje Ladder (Muñoz, 2021), se muestra la figura 22 en del proceso de automatización.

Figura 22

Diagrama de automatización

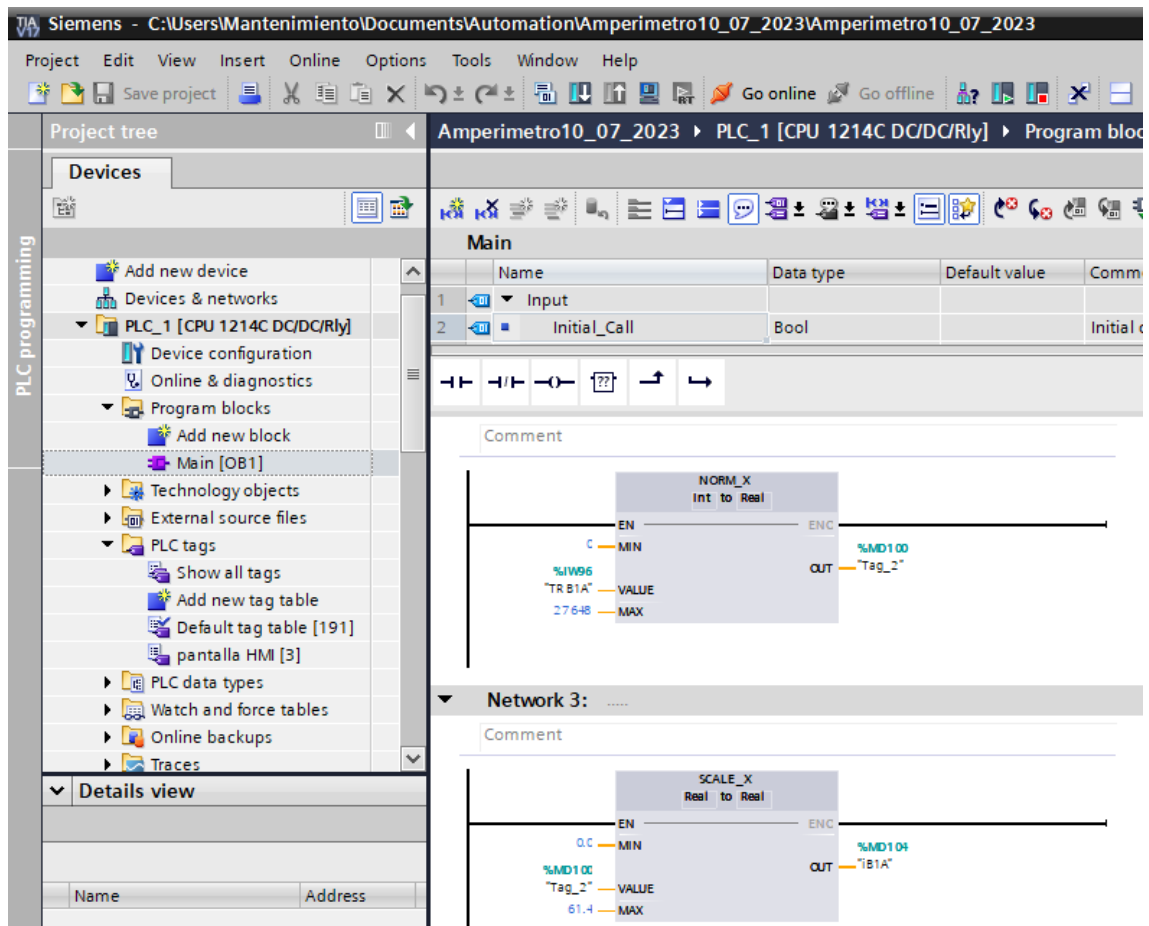


Nota. La figura muestra el proceso de automatización a implementar, en donde los transformadores de corriente envían una señal de 4 a 20 ma y es enviada al PLC, el cual se encarga de transmitirlo hacia la pantalla HMI y mostrar su estado, para dar indicaciones de alarmas visuales y sonoras.

La programación se realizó en un bloque OB1, como se aprecia en la figura 23, en este se verificaron las condiciones iniciales del proceso para las señales medidas por los amperímetros. El programa se radica en el bloque Main (OB1), el bloque es el encargado de recibir la señal que envía el transformador de corriente, por ejemplo, para el pasaje B1A, el “TR B1A”, el cual es de 4 a 20 mA y el bloque NORM X traduce en un valor de palabra de 0 a 27648, el cual reconoce el PLC y lo almacena en un Tag auxiliar, para luego en el bloque SCALE X escalar, ese valor de palabra en un valor de la variable física que se está censando, la cual es la corriente en amperios, (Apéndice F).

Figura 23

Bloques Main OB1

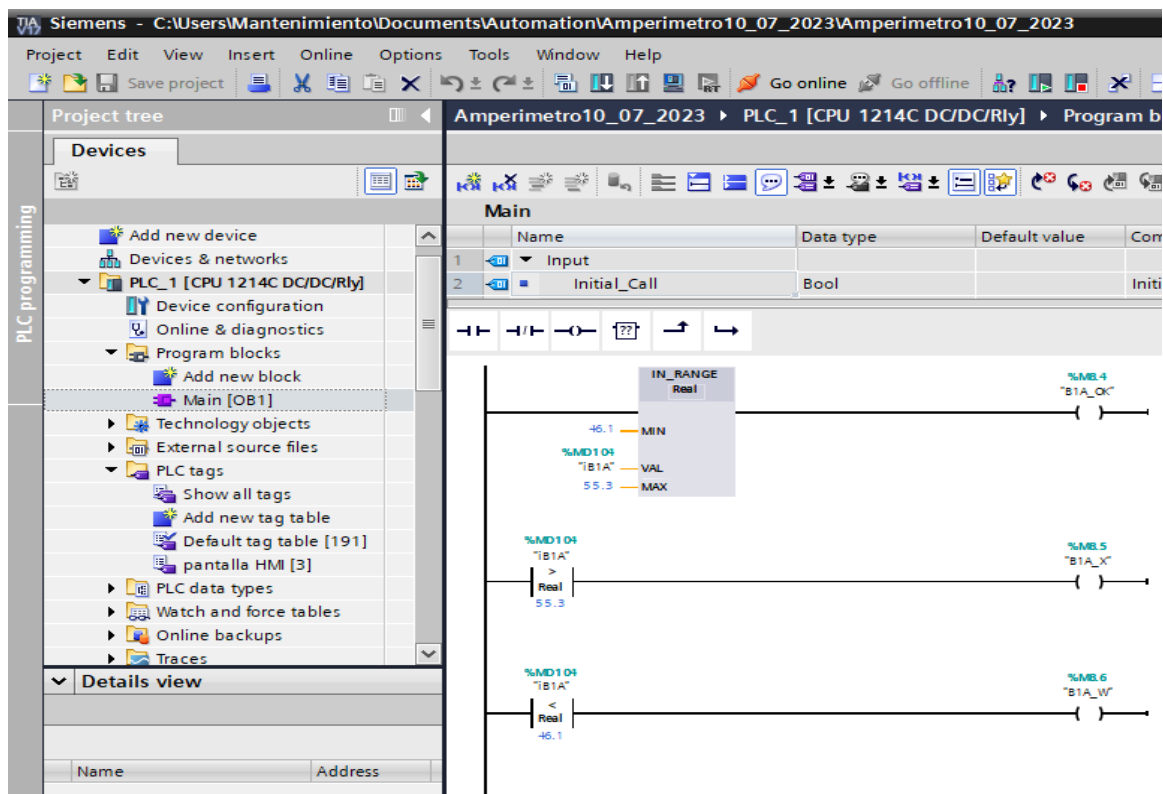


Este bloque corresponde a la identificación del rango de corriente, como se muestra en la figura 24, en el cual se encuentra el motor del banco de molienda, toma la señal de la salida del bloque SCALE X y la clasifica de la siguiente manera:

- Si está en el rango de corriente entre el 70% a 90% el motor está en el rango de corriente óptimo de utilización, y muestra en la pantalla la indicación de motor OK
- Si la corriente es menor al 70%, el motor se encuentra en el rango por debajo de valor óptimo de utilización y muestra una alarma de advertencia correspondiente a ese motor
- Si la corriente es mayor al 90%, el motor se encuentra por fuera del rango y corre el peligro de averiarse, mostrando una alarma de posible fallo en el motor, el cual debe corregirse inmediatamente.

Figura 24

Bloques Main OBI rango



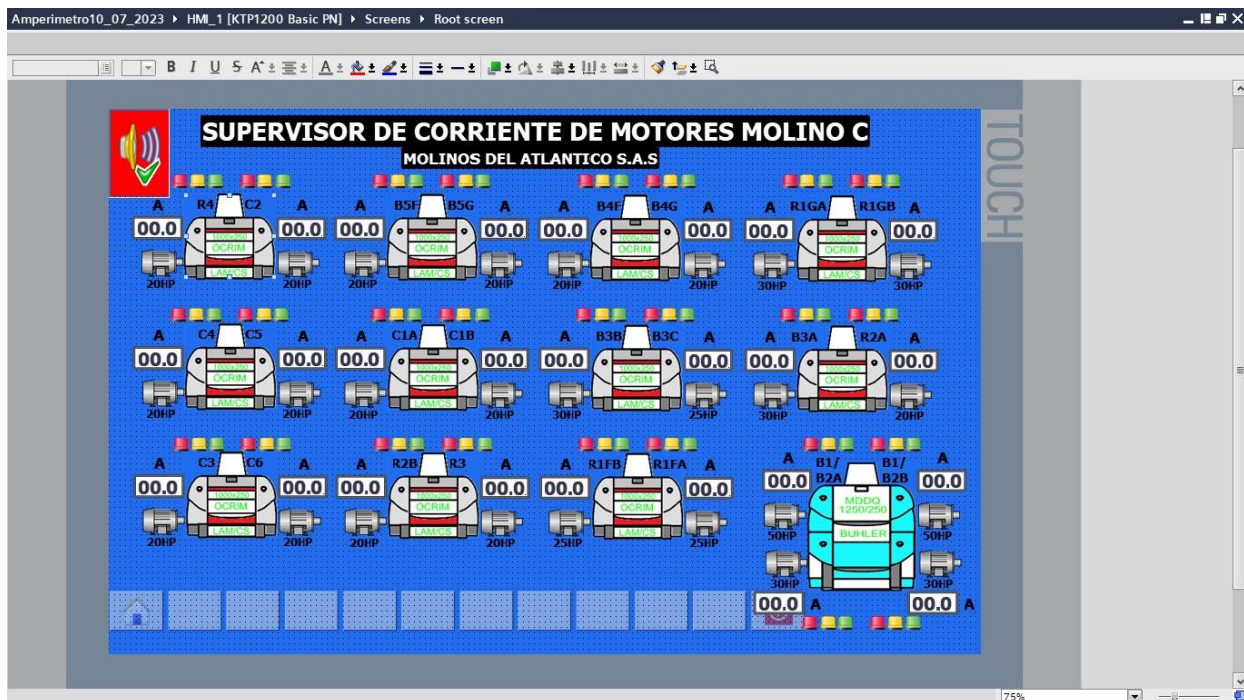
6.1. Pantalla de simulación

La pantalla de simulación se desarrolla en el software Tia Portal HM1_TR_1, se colocaron imágenes representativas de los 12 bancos de molienda, 11 bancos que son de la marca Ocrim y 1 banco doble de la marca Bühler, a cada lado del banco se coloca su motor eléctrico y su respectivo nombre por pasaje designado, como se muestra en la figura 25.

Se coloca para cada pasaje una alarma visual que muestra tres colores, amarillo, rojo y verde dependiendo de la corriente eléctrica que este consumiendo el motor. Luz amarilla indica que el motor está en su arranque, luz verde que el motor tiene un consumo de corriente en un rango de utilidad entre 70% a 90% y luz roja cuando supera este umbral y el motor se está sobre esforzando, dependiendo claramente del amperaje de placa del motor.

Figura 25

Pantalla de simulación para los bancos de molienda



Nota. Esta pantalla representa lo que se verá proyectado en la pantalla HMI, con sus respectivas alarmas.

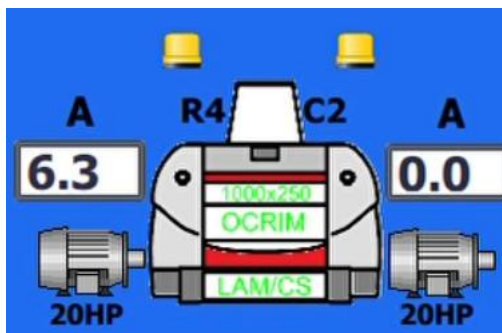
6.2. Ejemplo de simulación

El pasaje R4 tiene un motor eléctrico de 20 Hp / 15 KW, con una conexión de 440 v, para un amperaje de placa a esta tensión de 28,73 A, tomando la regla establecida de que el motor debe tener un porcentaje de utilización entre un 70% y 90% para que se encuentre en un rango de trabajo estable, que no esté sobredimensionado ni subdimensionado y que tampoco este sobre esforzando. Sabiendo que el 70% de esta corriente es un valor de 20,11 A y el 90% de la misma es 25,9 A, se procede a realizar la simulación, dándole el crecimiento a la variable de entrada de corriente medida por el transformador eléctrico, que envía la señal de 4 a 20 ma al PLC y este la traduce en una seña, mostrando las balizas visuales de colores en la pantalla, como se muestra en la figura 26.

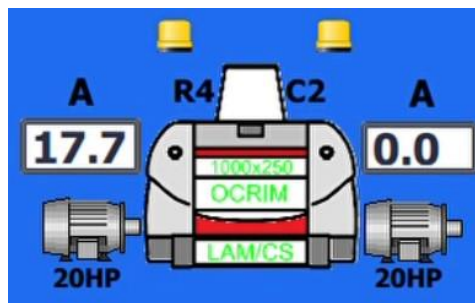
Figura 26

Proceso de simulación para el pasaje R4

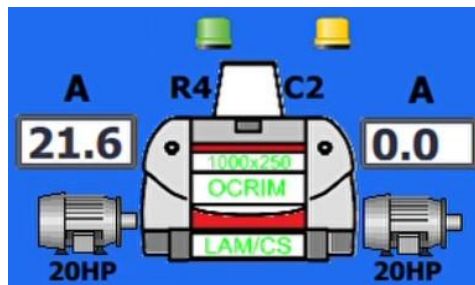
1. Inicio de arranque de motor 6,3 A



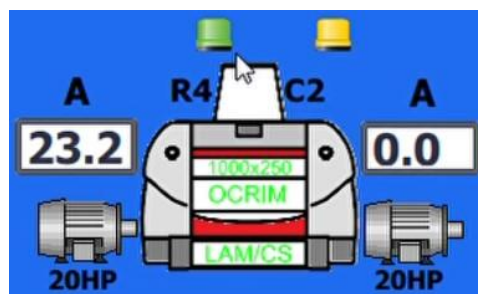
2. Amperaje de 17,7 A



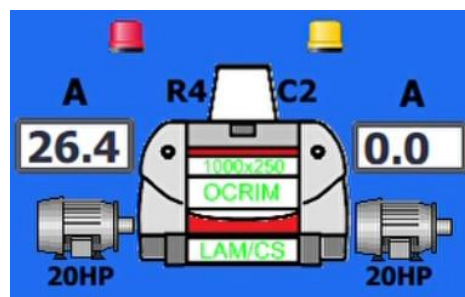
3. Amperaje en el rango 70% - 90%, 21,6 A



4. Amperaje 23,3 A



5. Se supera el 90%, 26,4 A



Nota. Se muestran los valores dados en la simulación al variar la corriente eléctrica.

7. Análisis costo beneficio de la implementación

La evaluación del costo-beneficio entre la toma de amperajes manual y la toma de amperajes por un sistema automatizado implica considerar diversos factores para determinar cuál opción es más eficiente y rentable para una situación específica. Se destacan a continuación aspectos claves para realizar esta comparación:

7.1. Toma de Amperajes Manual

Beneficios:

- **Costo Inicial Bajo:** Menos inversión inicial en equipos y tecnología.
- **Simplicidad:** Menos complejidad en términos de implementación y uso.
- **Flexibilidad:** Fácil adaptación a diferentes situaciones y entornos.

Costos:

- **Tiempo y Mano de Obra:** Mayor tiempo requerido para la toma manual de amperajes, posible necesidad de personal adicional.
- **Posibilidad de Errores:** Mayor probabilidad de errores humanos en la medición.
- **Menos Datos en Tiempo Real:** La información puede no estar disponible inmediatamente, no se encuentra en tiempo real.

7.2. Toma de Amperajes por Sistema Automatizado:

Beneficios:

- **Eficiencia y Rapidez:** Mediciones más rápidas y eficientes, lo que ahorra tiempo, datos en tiempo real disponibles.
- **Precisión:** Menor margen de error gracias a la automatización.
- **Menor Dependencia de Personal:** Menos necesidad de personal para la toma de medidas.
- **Mayor Capacidad de Almacenamiento y Análisis de Datos:** Posibilidad de almacenar grandes cantidades de datos para análisis.

Costos:

- **Inversión Inicial:** Mayor costo inicial debido a la adquisición e implementación de sistemas automatizados.
- **Mantenimiento y Actualizaciones:** Costos asociados con el mantenimiento y las actualizaciones del sistema.
- **Formación del Personal:** Puede requerir capacitación para el personal en el uso y mantenimiento del sistema.

Con base en esto se plantea un análisis de carga en la dependencia del personal para la toma y confiabilidad de los datos que se deben tomar. El análisis de cargas laborales es una herramienta utilizada dentro de las organizaciones como un facilitador, para diagnosticar posibles sobrecargas en los diferentes puestos de trabajos del personal (Rivera, 2020, p.2). Se describen las variables a usar en la tabla 20, inicialmente los datos tomados se están realizando

una vez por semana, pero han sucedido fallas inesperadas, como por ejemplo la medida del motor se toma cada jueves pero el fin de semana hay un cambio de materia prima, rodillos desgastados o falla en rodamientos y se empieza a aumentar el consumo de corriente del motor, porque se presentan sobreesfuerzos llevándolo a la falla antes de que se vuelva a tomar la medida dentro de 7 días, por eso se tomó la decisión de hacer 3 medidas por semana de la siguiente manera, lunes, miércoles y sábado. Con esto se busca realizar un mejor seguimiento manual y en el análisis de carga, tomaremos que se realiza 3 veces por semana, 12 veces al mes y se presenta en la tabla 21, “Análisis de carga para la toma de corrientes”.

Tabla 20

Definición de columnas para cargas laborales

DESCRIPCIÓN DE COLUMNAS	
1	Procesos: listado de oficios de acuerdo con los “ensayos” y labores que realiza la empresa.
2	Actividades: Comprende las tareas desde que inicia el proceso hasta que termina y entrega a otro interno.
3	Frecuencia en el mes: La veces que se repite de acuerdo con la programación y pedidos de cliente, se busca realizarlo con la estadística de meses anteriores representativos, es decir que obedezcan a una situación estable en el mercado.
4	Observaciones: aspectos a resaltar en la programación, cantidad de personal con polivalencia u otros aspectos (experiencia en el puesto), que sean necesario dejarlos en el estudio de cargas para comparar en el tiempo los otros que ser revisen y realicen.
5	Tiempo mínimo: Tiempo estimado por el ejecutor y revisado por el líder si todo sale como se espera y si la habilidad ya se ha asimilado para el proceso.
6	Tiempo promedio: Promedio matemático entre el mínimo y el máximo.
7	Tiempo máximo: Tiempo asumido con variables exógenas fuera de control del operador, situaciones adversas que puedan presentarse.
8	Tiempo estándar considerando 7%: Asumir un tiempo de eficiencia por descansos, hidratación, pausas activas, permisos, asuntos personales, llamada etc.
9	Horas hombre al mes: Cálculo de la carga laboral considerando las horas disponibles de trabajo que una persona puede realizar de acuerdo con la ley de cada país.

Tabla 21*Análisis de cargas para la toma de corrientes*

ANÁLISIS DE CARGAS								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
PROCESO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA MES	OBSERVACIONES	Tmin	Tprom (tiempo usual)	Tmax	Testán.	HH Actividad/Mes
Preparación de herramientas para la tarea	Alistar herramienta para la preparación de la medición	312	Alistamiento de materiales 3 minutos por motor	3	4	5	4,28	1335,36
Tomar medidas	Tomar medidas de corriente eléctrica de 26 motores eléctricos	312	5 minutos por toma por motor ya que se toman 3 medidas para promedias por motor	6	8	10	8,56	2670,72
Reprocesos por error en medición	Volver a tomar las mediciones para un motor eléctrico específico	40	Por lo general son 10 tomas de motores aleatorios que requieren un reproceso, se tiene en cuenta los tiempos de preparación de herramientas y toma de medidas, mínimos y máximos	80	95	110	101,65	4066
Informe en limpio	Passar datos en formato solicitado	12	Por lo general se toma 60 minutos para pasar datos en limpio	60	70	80	74,9	898,8
Ingresar datos en Excel	Ingreso de datos en archivo de Excel	12	Promedio por ingreso de datos	40	45	50	48,15	577,8
Análisis de patrones	Analizar patrones de carga a lo largo del tiempo, identificando variaciones en la corriente que podrían indicar problemas potenciales.	12	Promedio requerido	120	135	150	144,45	1733,4
Informe de resultados	Preparar un informe detallado que incluya los resultados de las mediciones, cualquier anomalía detectada y recomendaciones para acciones futuras	12	Promedio por informe de resultados	180	210	240	224,7	2696,4
Capacitación y Comunicación	Proporcionar capacitación al personal de la planta sobre la interpretación de los resultados y cómo tomar medidas correctivas si es necesario	12	Promedio de capacitación	40	40	40	42,8	513,6
Programación de prevenciones/correcciones	Identificar la necesidad de mantenimiento preventivo o correctivo en base a los resultados de las mediciones	12	Promedio por programación	120	150	180	160,5	1926
							TOTAL HORAS HOMBRE	273,63
							TOTAL PERSONAL REQUERIDO	2,85

Nota. Se muestra al análisis de cargas para la medición de corrientes de forma manual para 3 días por semana, 12 veces al mes

Con base en este análisis de carga mostrado en la tabla 21, se puede observar que se necesitan 3 personas para realizar estas actividades, ya que el total de horas es 273,63 h, divididas en 96 horas que serían el equivalente a 3 días de 8 horas por semana. La empresa tiene designado un ingeniero eléctrico para esta labor el cual cuenta con un salario de \$4.500.000, ahora al momento de contratar 3 personas, se realiza el siguiente análisis descrito en la tabla 22, en donde se muestra el precio por hora hombre y se multiplica por 96 horas que serían las horas designadas en el mes para esta labor, dando un valor de \$2.347.826 por persona, en el mes se gastaría \$7.043.478 y anualmente serían \$84.521.736 por las tres personas para estas labores designadas.

Tabla 22

Gastos por personal para la toma de las mediciones

GASTOS							
PERSONAL	SALARIO MENSUAL	HORAS MES	PRECIO HORA	DIAS TOMA	HORAS DIA	HORAS TOTALES	PRECIO HORA
Ingeniero 1	\$ 4.500.000	184	\$24.457	12	8	96	\$ 2.347.826
Ingeniero 2	\$ 4.500.000	184	\$24.457	12	8	96	\$ 2.347.826
Ingeniero 3	\$ 4.500.000	184	\$24.457	12	8	96	\$ 2.347.826
						TOTAL DINERO MENSUAL	\$ 7.043.478
						TOTAL DINERO ANUAL	\$ 84.521.736

Nota. La siguiente tabla muestra el gasto por los 12 días de toma de medidas de los 3 ingenieros asignado.

Seguidamente se presenta la tabla 23, en donde se muestran los elementos eléctricos y electrónicos necesarios para la implementación de la automatización de los bancos del molino C, dando un total de \$41.857.536.

Tabla 23

Elementos eléctricos y electrónicos necesarios para la implementación

CANT.	DESCRIPCION	PRECIO
1	PLC S71200 6ES7214-1HG40-0XB0	\$ 2.035.530,00
4	Módulos entrada análoga 6ES7231-4HF32-0XB0	\$ 7.833.136,00
1	SCALANCE XB005 6GK5005-0BA00-1AB2	\$ 585.711,00
1	Fuente SITOP 10A montaje sobre riel	\$ 472.878,00
3 M	Cable profinet 3 m	\$ 45.171,00
1	CADIN1IG MINI-COM 1 PORT DIN RAIL ADAPTER WITH LABEL	\$ 50.000,00
1	CONECTOR PANDUIT CJS6X88TGY	\$ 50.000,00
8	Conectores RJ 45 Categoría 7A FPS6X88MTG	\$ 50.000,00
1	Gabinete metálico con doble fondo 900x700x300 con dos cierres por llave especial	\$ 1.739.799,00
6	Riel omega de 1 metro de largo	\$ 45.000,00
3	Canaleta ranurada ancho 100 alto 100 X 2m	\$ 330.000,00
3	Canaleta ranurada ancho 60 alto 100 x 2m	\$ 316.500,00
3	Canaleta ranurada ancho 80 alto 100 x 2m	\$ 316.500,00
1	Breaker 2A montaje sobre riel	\$ 71.280,00
1	Breaker 10A montaje sobre riel	\$ 38.610,00
100	Borneras cable calibre 18	\$ 594.000,00
30	Puentes para las borneras anteriores	\$ 475.500,00
6	Bornas para tierra cable calibre 18	\$ 160.000,00
1	Rollo de cable calibre 18 color negro 100 metros	\$ 1.107.953,00
26	Transformador de corriente salida 4-20 mA DC CT132TRAN100A marca HOBUT	\$ 17.084.990,00
50 M	Cable 4x18 apantallado de instrumentación	\$ 590.000,00
20 M	Cable 12x18 apantallado de instrumentación	\$ 580.000,00
1	Pantalla HMI Pantalla HMI TP700 comfort 6AV2 124-0GC01-0AX0	\$ 6.199.578,00
1	Baliza luminosa COST70 alimentación 24 V DC, colores rojos, ámbar y verde (3 colores)	\$ 1.085.400,00
TOTAL		\$ 41.857.536,00

Nota. Esta tabla muestra los precios sin IVA de los elementos necesarios para la implementación del proyecto, estas ofertas fueron revisadas en la plataforma de licitaciones llamada Wherex, plataforma a la cual la empresa puede acceder ya que tiene suscripción.

Asimismo, se presenta la tabla 24, en donde se muestran los gastos totales del proyecto, teniendo en cuenta varios factores de su implementación.

Tabla 24

Gastos totales del proyecto

CONCEPTO	PRESUPUESTO
Gastos Generales	\$ 500.000
Papelería, útiles de oficina	\$ 500.000
Gastos de Oficina	\$ 5.300.000
Horas de computador	\$ 5.000.000
Transportes	\$ 300.000
Gastos de Personal	\$ 11.000.000
Profesional del proyecto dedicación parcial	\$ 6.000.000
Profesional de apoyo, ingeniero electrónico dedicación parcial	\$ 5.000.000
Inversión de Equipo	\$ 41.857.536
Elementos eléctricos y electrónicos	\$ 41.857.536
Otros Gastos e Imprevistos	\$ 1.500.000
Valor Total	\$ 60.157.536

Nota. Se muestra los gastos totales de la implementación del proyecto, incluyendo gastos generales, gastos de oficina, gastos de personal, en donde se considera un mes para la implementación y un monto de gastos de imprevistos.

Por lo tanto, la implementación de un sistema de medición automatizado puede tener diversos beneficios, incluida la posibilidad de aumentar la eficiencia y reducir costos operativos

en el personal, mostrando datos diarios, en tiempo real y ayudando a la toma de decisiones. Para esto se procede a analizar el retorno de inversión del presente proyecto.

8. Cálculo del ROI (Retorno de la Inversión)

El ROI, que significa "Return on Investment" en inglés y se traduce como "Retorno de la Inversión" en español, es una medida financiera que evalúa la rentabilidad de una inversión en relación con su costo. Mide la relación que existe entre la ganancia de una inversión y el costo de ésta, al mostrar qué porcentaje del dinero invertido se ha ganado o recuperado, o se va a ganar o recuperar. Así mismo, permite conocer qué tan bueno ha sido el desempeño de la inversión (Estrada López & Monsalve Velasquez, 2014, p.22). La fórmula para calcular el ROI es:

$$ROI_{ANUAL} = \left(\frac{\text{Ganancia de la inversión} \times 12 - \text{Costos totales}}{\text{Costo de la inversión}} \right) \times 100$$

$$\text{Costos totales} = \text{Costo de la inversión inicial} + \text{Costos adicionales}$$

Se presenta la tabla 25 para realizar el retorno de inversión, tomando el costo de la inversión inicial de la tabla 24 por \$60.157.536, la ganancia de la inversión mensual y anual de la tabla 22 por \$7.043.478 y \$84.521.736 respectivamente, con base en estos valores se procede a realizar el cálculo.

Tabla 25*Valores para cálculo del ROI*

ROI	
Costos adicionales	\$ 2.000.000
Costo de la inversión inicial	\$ 60.157.536
Ganancia de la inversión mensual	\$ 7.043.478
Ganancia de la inversión anual	\$ 84.521.736

$$\text{Costos totales} = 60.157.536 + 2.000.000$$

$$\text{Costos totales} = 62.157.536$$

$$ROI_{ANUAL} = \left(\frac{84.521.736 - 62.157.536}{60.157.536} \right) \times 100$$

$$ROI_{ANUAL} = 37,18 \%$$

Este resultado de 37,18% significa que, por cada peso invertido, se obtiene un rendimiento del 37,18%. Un retorno de inversión (ROI) del 37,18% significa que, en términos porcentuales, has obtenido un rendimiento del 37,18% sobre la inversión inicial. Por lo tanto, se puede mostrar que la implementación del sistema de automatización en comparación con el sistema de toma de corrientes manual es rentable, tanto técnicamente como monetariamente.

Seguidamente se presente otro ejemplo de gastos imprevistos en la empresa en la tabla 26, en esta empresa se usa la plataforma Precoro, esta es una plataforma de gestión de compras y aprovisionamiento que ayuda a las empresas a optimizar sus procesos de adquisición. Proporciona herramientas para automatizar y agilizar diversas etapas del ciclo de compra, desde la solicitud de cotizaciones hasta la emisión de órdenes de compra y la gestión de proveedores. Durante el año 2023 se realizaron diferentes trabajos de reparación para motores eléctricos del molino C y también la compra de motores nuevos por el estado de los motores de la bancada, se muestra en la tabla 23, en donde se describe la orden de compra asignada por la empresa y los trabajos descritos en cada uno de ellos con su respectivo valor. Esta tabla se muestra para destacar que con un seguimiento y monitoreo de los motores eléctricos se pueden evitar y adelantar a fallas potenciales.

Tabla 26*Gastos y compras de motores eléctricos*

COMPRAS Y TRABAJOS					
OC	Actividad	Precio	Iva	Total	Total gastos
2161	MANTENIMIENTO GRAL MOTOR 37 KW (50HP) 220/440V RPM 1185 WEG OS 5170 FT 14784	\$ 580.000	\$ 110.200	\$ 690.200	
	CAMBIO DE LINEAS	\$ 340.000	\$ 64.600	\$ 404.600	\$ 2.380.000
	CAMBIO BORNERA	\$ 200.000	\$ 38.000	\$ 238.000	
	COLOCAR VENTILADOR	\$ 300.000	\$ 57.000	\$ 357.000	
	FABRICACION CAMISA DELANTERA - POSTERIOR	\$ 580.000	\$ 110.200	\$ 690.200	
2174	MOTOR ELECTRICO TRIFASICO 50 HP 1200 RPM 440V EFICIENCIA PREMIUM IE3 MARCA WEG W22 CLASE F	\$ 23.500.000	\$ 4.465.000	\$ 27.965.000	\$ 27.965.000
2995	MOTOR 15HP RPM 1175 WEG MANTENIMIENTO AL BOBINADO	\$ 400.000	\$ 76.000	\$ 476.000	\$ 833.000
	CAMBIO DE LINEAS DE MOTOR	\$ 300.000	\$ 57.000	\$ 357.000	
3282	MANTENIMIENTO GRAL MOTOR 36KW RPM 1200: LAVADO HORNEADO BARNIZADO PRUEBAS DE AISLAMIENTO	\$ 900.000	\$ 171.000	\$ 1.071.000	
	RELLENAR RECTIFICAR FABRICACION DE CUÑERO PUNTA DE EJE	\$ 350.000	\$ 66.500	\$ 416.500	\$ 2.177.700
	ENCAMISADO DE 2 TAPAS	\$ 440.000	\$ 83.600	\$ 523.600	
	REPARACION DE CAJA BORNERA - LLEGO EN MAL ESTADO PARTIDA	\$ 140.000	\$ 26.600	\$ 166.600	
4338	MOTOR WEG TRIFASICO 50 HP 1200RPM EN HIERRO W22 TRABAJO PESADO	\$ 23.099.000	\$ 4.388.810	\$ 27.487.810	\$ 27.487.810
4937	MANTENIMIENTO GRAL. CAMBIO DE LINEAS MOTOR 50HP WEG	\$ 1.400.000	\$ 266.000	\$ 1.666.000	
	CAMBIO BORNERA	\$ 285.000	\$ 54.150	\$ 339.150	\$ 2.845.290
	CAMBIO RODAMIENTOS 6314 ZZC3	\$ 706.000	\$ 134.140	\$ 840.140	
				TOTAL DINERO DEL AÑO 2023	\$ 63.688.800

9. Conclusiones

Se identifican y se le asigna un código interno a cada pasaje de molienda, realizando su ficha técnica para eventuales consultas, como datos del motor, datos del fabricante, partes del pasaje y rodamientos de los cilindros, para así ayudar a ahorrar en tiempos de intervenciones de los motores eléctricos y los pasajes.

Se identifican las fallas repetitivas por medio de una matriz de criticidad y se realiza el planteamiento del problema por medio de la metodología 5W + 1H, para luego realizar el análisis de los porques múltiples y llegar a un plan de trabajo para corregir las causas raíz.

El análisis de cargas muestra la diferencia entre el sistema de medición de amperajes de forma manual y de forma automática, mostrando los gastos de cada implementación y el retorno de la inversión (ROI). Dando así viabilidad a que la empresa busque implementar este sistema automatizado para realizar seguimiento de variables en tiempo real.

El seguimiento continuo de corrientes en motores eléctricos por medio de automatización con PLC (Controlador Lógico Programable) es una buena práctica en la industria para monitorear y proteger los motores eléctricos de posibles fallos o sobrecargas. Con esto se busca establecer umbrales de alarma y protección, para así definir los niveles de corriente máximos y mínimos que se considerarán normales para el funcionamiento del motor. Si la corriente medida excede estos umbrales, el PLC debe activar alarmas para notificar a los operadores sobre posibles problemas o tomar medidas para proteger el motor, como detenerlo para evitar daños y

entrar en paradas de planta, las cuales van a generar pérdidas de producción, pérdidas de mano de obra por la reparación del motor, tanto terceros y directos de la empresa y reducción en ventas del producto final que es la harina que se vende a gran escala y distribuidores nacionales.

Por medio de la automatización de los bancos de molienda, se puede configurar acciones de respuesta. Estas acciones pueden incluir activar alarmas visuales o audibles, detener el motor, cambiar a un modo de funcionamiento más seguro o incluso enviar notificaciones a través de un sistema de gestión de supervisión (SCADA).

Con la implementación de este sistema de seguimiento de corrientes, el área de gestión de mantenimiento puede tener pruebas exhaustivas para asegurarse de tomar las mejores decisiones enfocadas a las programaciones de mantenimiento periódicos y dar una disponibilidad y confiabilidad de equipos, aportando a prevenir fallos inesperados, optimizando el consumo de energía y manteniendo la eficiencia operativa de los procesos.

Se destacan las ventajas y beneficios más representativas de un seguimiento de corrientes para motores eléctricos, las cuales son, monitoreo en tiempo real, lo que facilita la detección temprana de problemas operativos o fallas potenciales.

Mantenimiento predictivo, facilitando la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo al identificar patrones y tendencias en las corrientes de los motores. Esto puede ayudar a prevenir fallos no planificados y a programar el mantenimiento de manera más eficiente.

Eficiencia energética, permitiendo ajustar y optimizar las corrientes de los motores para mejorar la eficiencia energética. Un control más preciso puede reducir el consumo de energía y disminuir los costos operativos.

Protección del motor, ofreciendo una protección mejorada para los motores al detectar condiciones anómalas, como corrientes excesivas, y poder tomar medidas correctivas, como desconectar el motor para evitar daños mayores.

Automatización y control centralizado de un sistema de seguimiento de corrientes integrado con PLC permite la automatización de procesos y el control centralizado, lo que mejora la eficiencia operativa y la coordinación de las actividades en la planta.

Flexibilidad y escalabilidad en los sistemas basados en PLC, lo que facilita la adaptación a cambios en los requisitos de la planta o la incorporación de nuevas tecnologías en el futuro. En resumen, la implementación de un seguimiento de corrientes de motores mediante PLC en una planta industrial puede mejorar la eficiencia operativa, reducir costos, aumentar la confiabilidad y contribuir a un entorno de producción más seguro y sostenible.

10. Recomendaciones

Se recomienda proyectar el sistema de seguimiento de corriente hacia un sistema SCADA, ya que al realizar su implementación se necesitará tener en cuenta que la cantidad de datos que se pueden adquirir es muchísima y que se haría necesario contar con una plataforma que almacene esta información para poder ser discriminada, usada e interpretada por el área de mantenimiento y el área administrativa de la empresa. Estos seguimientos permitirán el monitoreo en tiempo real desde ubicaciones fuera de la empresa, para la toma de decisiones.

Se recomienda a la empresa conseguir la licencia del software de programación Tia Portal V16, para futuras mejoras que deseen realizarle al sistema planteado y también para la capacitación de este para el área técnica.

Se recomienda la implementación de herramientas de análisis de tendencias para visualizar y analizar el comportamiento de las corrientes a lo largo del tiempo y utilizar gráficos y tablas que faciliten la identificación de patrones y variaciones al largo de los días, semanas, meses y años, para facilitar la toma de decisiones e intervenciones.

Referencias bibliográficas

¿Qué es un HMI y cómo funciona ? (2021). <https://www.sicma21.com/que-es-un-hmi-y-como-funciona>

Aguilar, M. (2013). *Mantenimiento productivo Total, TPM especialización Gerencia Mantenimiento UIS*.

Araneda, M. (2022). *Cereales y derivados: Composición y Propiedades*. Eidualimentaria.Com. <https://www.edualimentaria.com/cereales-y-derivados-composicion-y-propiedades>

Bühler. (2007). Manual Buhler GM Roller Mill MDDP MDDQ 2016. In *Roller Mill Dolomit* (p. 6). https://doi.org/10.1007/978-0-387-30160-0_9915

BUTLER, H. (n.d.). *CT132TRAN current sensor/current transducer* (p. 1).

Estrada López, V., & Monsalve Velasquez, S. M. (2014). *Diagnóstico financiero de la empresa Procopal S.A.* (tesis de grado). Universidad de Medellín, Medellín, Colombia.

Gananci. (2017). *¿Cómo funciona el motor eléctrico? Como Funciona Que*. <http://comofuncionaque.com/como-funciona-el-motor-electrico/>

Guanoquiza, S. N. (2017). *Implementación y desarrollo de prácticas de automatización a través de un módulo didáctico con el PLC S7-1200 para el control y funcionamiento de motores trifásicos* (tesis de pregrado). Universidad técnica de cotopaxi, la Maná, Ecuador.

IEC. (2015). *BSI Standards Publication Root cause analysis (RCA)*. March, 73.

Marcillo, E. (2017). *Implementación y desarrollo de práctica de automatización a través de un módulo didáctico con el PLC S7-1200 para la simulación de un sistema de control de tránsito vehicular* (tesis de pregrado). Universidad técnica de cotopaxi, la Maná, Ecuador.

Martinez, A. (2021). *Modelo de un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para la caldera EB1292 de la estación mito 1 del campo caño sur Ecopetrol S.A* (tesis de posgrado). Universidad Industrial de Santander, Santander, Colombia.

Muñoz, C. (2021). *Diseño y simulación de un sistema de monitoreo para un proceso de control de temperatura mediante PLC e IoT para la empresa Educatia* (tesis de pregrado). Universidad Antonio Nariño, Villavicencio, Colombia.

OCRIM. (2004). *Manual OCRIM LAM CS (φ250-φ300)* (p. 123).

OCRIM. (2023). *Banco de molienda Ocrim*.

Porras, Y. (2019). *Desarrollo de metodología para la elaboración de RCA aplicado a fallas de techos flotantes en tanques de almacenamiento de crudo* (teisis de maestría). Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Boyaca, Colombia.

Pruthi, S. (2022). *Cereales integrales: opciones saludables para una alimentación saludable*. <https://www.mayoclinic.org/es/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/in-depth/whole-grains/art-2004>.

Rivera, A. (2020). *Analisis de cargas laborales en entidad pública* (tesis de pregrado). Universidad de La Sabana, Bogotá, Colombia.

Rivera, L. (2020). *Solución IoT para la optimización del proceso de piscicultura en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal* (tesis de maestría). Universidad Santo Tomás, Santander, Colombia.

Segovia, E. T. (2015). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para Molino 3 de empresa Carozzi NOS* (tesis de pregrado). Universidad Católica de Valparaíso, Colombia.

SIEMENS. (2009). *PLC S7-1200*. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/875/39644875/att_76197/v1/s71200_getting_started_es-ES_es-ES.pdf.

SIEMENS. (2023). *Pantalla* *HMI*.

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/146/109744146/att_1145917/v1/simatic-st80-stpc-complete-english-2023.pdf.

Transformador de corriente: qué es y cómo funciona. (n.d.). Polaridad.Es.

<https://polaridad.es/transformador-de-corriente/>