

Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos del área de molienda en una planta de producción de harina de trigo, utilizando la metodología de análisis de modos y efectos de falla (FMEA), con el fin de disminuir las paradas no programadas asociadas a fallas recurrentes y estandarizar las rutinas de intervención.

Autor

Jerson Hernando Aparicio Rueda

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

Director

Carlos Borrás Pinilla.

Profesor UIS, PhD., MSc., Spc Gerencia de Mantenimiento

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela de Ingeniería Mecánica
Especialización en Gerencia de Mantenimiento
Bucaramanga
2026

Dedicatoria

Siempre pensé que alcanzaría este logro, aunque no tenía claro en qué momento lo materializaría. muchas veces se dan por sentadas las metas sin tener claro cómo o cuando se piensa llegar a ello.

Lo único constante en todo este proceso fue su apoyo, su entendimiento, su bondad y su confianza inquebrantable en que todo lo que una vez nos proponemos somos capaces de lograrlo.

Es un poco extraño el pensar que no estarán junto a mi cuando me entreguen el diploma, pero sé con certeza que estarán muy orgullosos, aun desde la distancia.

Dedicado a mi familia, por su infinito amor, su apoyo incondicional y el gran ejemplo diario de que el amor vence toda barrera.

Gracias Papá, Mamá, hermana y hermano por darme un lugar donde pertenecer y personas a las cuales hacer sentir orgullosas.

Jerson Hernando Aparicio Rueda.

Agradecimientos

Al profesor Carlos Borrás Pinilla, director de este trabajo de grado, por su orientación.

A la universidad Industrial de Santander, por la formación recibida en la Especialización en Gerencia de Mantenimiento y por los espacios académicos que hicieron posible profundizar los fundamentos técnicos que sustentan esta investigación.

A Molinos del Atlántico, por apoyar con información e intención de mejorar el área de mantenimiento de manera continua.

A todos los compañeros de la cohorte XVI de barranquilla por los aportes, risas y debates compartidos, el mejor conocimiento es el que se construye en conjunto.

Al ingeniero Diego Flórez por su constante apoyo en la resolución de problemáticas en planta, su infinita disposición para solucionar adecuadamente los impases que se presentan.

A mi familia por ser mi motor día a día y generar esa constante enseñanza de que en la vida todo lo valioso viene de la mano de disciplina, honestidad y mucho amor por que incluso desde la distancia nunca han dejado de estar presentes.

A Laura por su apoyo incondicional.

Tabla de Contenido

	Pág.
1. Objetivos	15
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos	15
2. Marco Referencial	16
2.1 Marco Teórico	16
2.1.1 Estrategias de mantenimiento en industria de proceso (correctivo, preventivo, predictivo)	16
2.1.2 Enfoques de confiabilidad y riesgo: RCM y gestión del riesgo (ISO 31000)	17
2.2 Marco conceptual	17
2.2.1 Mantenimiento correctivo.....	17
2.2.2 Mantenimiento preventivo	18
2.2.3 Mantenimiento predictivo.....	18
2.2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad	18
2.2.5 Análisis de modos y efectos de falla - FMEA	19
3. Marco Normativo	19
3.1 ISO 14224 Recolección e intercambio de datos de mantenimiento y fiabilidad de los equipos	19
3.2 ISO 31000 Gestión del riesgo	19
3.3 SAE JA 1011 Y SAE JA 1012 Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en la confiabilidad y una guía de RCM.....	20
4. Metodología	21
4.1 Fases de la investigación	21

4.1.1 Levantamiento y depuración de información de equipos	21
4.1.2 Clasificación por familias y zonas	21
4.1.3 Matriz de criticidad	21
4.1.4 Funciones y fallas funcionales	22
4.1.5 FMEA	22
4.1.6 Plan de mantenimiento	22
5. Recopilación y análisis de información.....	23
5.1 Taxonomía	23
5.1.1 Codificación y tipificación familias de equipos.....	24
5.1.2 Identificación de los equipos críticos	25
5.2 Funciones y fallas funcionales	29
5.2.1 Cernedor (Funciones y fallas funcionales)	30
5.2.2 Banco de molienda (Funciones y fallas funcionales).....	34
5.2.3 Blower [Turbina] (Funciones y fallas funcionales).....	35
5.2.4 Micro dosificador	36
5.2.5 Soplante	37
5.2.6 Esclusa – Válvula rotativa	38
6. Análisis de modos y efectos de falla (FMEA).....	39
6.1 Escala S – O – D	39
6.2 Análisis FMEA por equipos	42
6.2.1 FMEA CERNEDOR	43
6.2.2 FMEA BANCO DE MOLIENDA	43
6.2.3 FMEA BLOWER TURBINA.....	43

6.2.4 FMEA MICRODOSIFICADOR.....	43
6.2.5 FMEA SOPLANTE.....	43
6.2.6 FMEA ESCLUSAS – VALVULA ROTATIVA.....	43
7. Plan de mantenimiento preventivo.....	44
7.1 Plan de mantenimiento por equipos	46
7.1.1 Plan de mantenimiento preventivo Cernedor.....	46
7.1.2 Plan de mantenimiento banco de molienda	46
7.1.3 Plan de mantenimiento Blower // Turbina.....	46
7.1.4 Plan de mantenimiento micro dosificador	46
7.1.5 Plan de mantenimiento Soplane.....	46
7.1.6 Plan de mantenimiento Válvula rotativa // Esclusa.....	47
7.2 Metodología para presupuesto de plan.....	47
7.3 Estructura de costos.....	47
7.4 Proceso de construcción calendario anual de mantenimiento	48
7.5 Gestión computacional calendario de mantenimiento CMMS	49
7.6 Indicadores de control y resultado	49
8. Conclusiones.....	53
Referencias bibliográficas.	56
Apéndices	58

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Codificación de equipos.	24
Tabla 2. Criterios ponderación factor calidad.	25
Tabla 3. Criterios ponderación factor Impacto a la producción.	25
Tabla 4. Criterios ponderación factor Seguridad trabajador.	26
Tabla 5. Criterios ponderación factor Impacto a la extracción.	26
Tabla 6. Criterios ponderación factor costo de mantenimiento.	26
Tabla 7. Criterios ponderación frecuencia de falla.	27
Tabla 8. Clasificación matriz de criticidad.	28
Tabla 9. Límites de criticidad.	28
Tabla 10. Funciones y Fallas Funcionales Cernedor.	32
Tabla 11. Escala Severidad.	39
Tabla 12. Escala Ocurrencia.	40
Tabla 13. Escala Detectabilidad.	40
Tabla 14. Reglas de veto NPR.	41
Tabla 15. Análisis de Modos de Falla.	42
Tabla 16. Estrategias de mtto para condiciones FMEA.	44
Tabla 17. Componentes del Costo x Intervención mtto.	47
Tabla 18. Indicadores de Control y Resultado.	50
Tabla 19. Apéndice A. Banco de molienda (Funciones y fallas funcionales)	58
Tabla 20. Apéndice B. Blower [Turbina] (Funciones y Fallas Funcionales).	60
Tabla 21. Apéndice C. Micro dosificador (Funciones y Fallas Funcionales).	62

Tabla 22. Apéndice D. Soplane (Funciones y Fallas Funcionales).....	64
Tabla 23. Apéndice E. Esclusa – Válvula rotativa (Funciones y Fallas Funcionales).	65
Tabla 24. Apéndice F. FMEA Cernedor.....	66
Tabla 25. Apéndice G. FMEA Banco de Molienda.	68
Tabla 26. Apéndice H. FMEA Blower.	71
Tabla 27. Apéndice I. FMEA Micro Dosificador.	73
Tabla 28. Apéndice J. FMEA Soplane de lóbulos.	75
Tabla 29. Apéndice K.FMEA Esclusa.....	77
Tabla 30. Apéndice L. Plan de Mantenimiento Cernedor.	78
Tabla 31. Apéndice M. Plan de mantenimiento Banco de Molienda.	81
Tabla 32. Apéndice N. Plan de mantenimiento Blower.	83
Tabla 33. Apéndice O. Plan de Mantenimiento Micro Dosificador.....	85
Tabla 34. Apéndice P.Plan de mantenimiento Soplane de lóbulos.	87
Tabla 35. Apéndice Q. Plan de Mantenimiento Válvula Rotativa.	88

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos	23
Figura 2. Isométrico Cernedor.	31
Figura 3. Tipos de tamices Cernedor.....	31
Figura 4. Isométrico Banco de molienda.	34
Figura 5. Isométrica turbina de Transporte Neumatico.	35
Figura 6. Isométrico Micro Dosificador.	36
Figura 7. Imagen soplante de lóbulos.....	37
Figura 8. Despiece de esclusa.	38
Figura 9. Distribución de modos x estrategia de mtto.	46

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Tabla 19. Banco de molienda (Funciones y fallas funcionales)	58
Apéndice B. Tabla 20. Blower [Turbina] (Funciones y Fallas Funcionales).	60
Apéndice C. Tabla 21. Micro dosificador (Funciones y Fallas Funcionales).	62
Apéndice D. Tabla 22. Soplane (Funciones y Fallas Funcionales).	64
Apéndice E. Tabla 23. Esclusa – Válvula rotativa (Funciones y Fallas Funcionales).	65
Apéndice F. Tabla 24. FMEA Cernedor.	66
Apéndice G. Tabla 25. FMEA Banco de Molienda.	68
Apéndice H. Tabla 26. FMEA Blower.	71
Apéndice I. Tabla 27. FMEA Micro Dosificador.	73
Apéndice J. Tabla 28. FMEA Soplane de lóbulos.	75
Apéndice K. Tabla 29. FMEA Esclusa.	77
Apéndice L. Tabla 30. Plan de Mantenimiento Cernedor.	78
Apéndice M. Tabla 31. Plan de mantenimiento Banco de Molienda.	81
Apéndice N. Tabla 32. Plan de mantenimiento Blower.	83
Apéndice O. Tabla 33. Plan de Mantenimiento Micro Dosificador.	85
Apéndice P. Tabla 34. Plan de mantenimiento Soplane de lóbulos.	87
Apéndice Q. Tabla 35. Plan de Mantenimiento Válvula Rotativa.	88

Resumen

Título: Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos del área de molienda en una planta de producción de harina de trigo, utilizando la metodología de análisis de modos y efectos de falla (FMEA), con el fin de disminuir las paradas no programadas asociadas a fallas recurrentes y estandarizar las rutinas de intervención.*

Autor: Jerson Hernando Aparicio Rueda**

Palabras Clave: Mantenimiento Centrado en confiabilidad (RCM), Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA), Número de Prioridad de Riesgo (NPR), Plan de Mantenimiento Preventivo, Criticidad, Industria Harinera, Fallas Ocultas, Gestión de Mantenimiento.

Descripción: La presente monografía ha aplicado la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), fundamentada en los estándares SAE JA1011/JA1012 y la norma ISO 14224:2016, al diseño de un plan de mantenimiento preventivo para el área de molienda de una planta de producción de harina de trigo. El análisis comprende seis familias de equipos críticos: Cernedor, Banco de Molienda, Blower (Turbina), Micro dosificador, Soplante y Esclusa (Válvula Rotativa), cuya operación continua determina la calidad granulométrica y la inocuidad del producto terminado.

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) identificó 113 modos de falla con un Número de Prioridad de Riesgo (NPR) promedio de 119,7 y un valor máximo de 315. El 63,7% de los modos calificó como prioridad Alta, impulsado por la alta severidad característica del proceso continuo de transformación de alimentos, la baja detectabilidad en los equipos de mayor complejidad tecnológica y la presencia permanente de polvo de harina como agente de deterioro transversal. Se identificaron siete modos de falla ocultos, cuyos tres representantes de mayor NPR encabezan el ranking global del área, evidenciando que los modos de mayor riesgo cuantificado son precisamente los que no generan ninguna señal detectable durante la operación normal.

El plan de mantenimiento preventivo resultante cubre los 72 modos de prioridad Alta mediante 52 grupos de tareas, estructurados en tres tipos principales: diez Tareas de Búsqueda de Fallas de cumplimiento incondicional, veinticinco cambios programados y trece inspecciones por condición. El plan incorpora la lógica de agrupación por equipo responsable e intervalo, y establece la trazabilidad completa entre cada modo de falla y la tarea que lo gestiona. Se presenta adicionalmente la metodología de presupuestación del plan, la programación de actividades y los indicadores de seguimiento recomendados para evaluar su efectividad en la implementación.

* Trabajo de Grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Carlos Borrás Pinilla. PhD. en Ingeniería Mecánica.

Abstract

Title: Design of a Preventive Maintenance Plan for Critical Equipment in the Milling Area of a Wheat Flour Production Plant, Using the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Methodology, with the Aim of Reducing Unplanned Downtime Associated with Recurring Failures and Standardizing Intervention Routines.*

Author(s): Jerson Hernando Aparicio Rueda **

Keywords: Reliability-Centered Maintenance (RCM), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Risk Priority Number (RPN), Preventive Maintenance Plan, Criticality, Flour Milling Industry, Hidden Failures, Maintenance Management.

Description: This monograph has applied the Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology, grounded in the SAE JA1011/JA1012 standards and the ISO 14224:2016 norm, to the design of a preventive maintenance plan for the milling area of a wheat flour production plant, with the purpose of reducing unplanned downtime associated with recurring failures and standardizing intervention routines. The analysis covers six critical pieces of equipment: Sifter, Roller Mill, Blower (Turbine), Micro-doser, Blower (Roots type) and Rotary Valve, whose continuous operation determines the granulometric quality and food safety of the finished product.

The Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) identified 113 failure modes with an average Risk Priority Number (RPN) of 119.7 and a maximum value of 315. A total of 63.7% of the modes were classified as High priority, driven by the high severity characteristic of continuous food processing, the low detectability in the most technologically complex equipment, and the permanent presence of flour dust as a transversal deterioration agent. Seven hidden failure modes were identified, whose three highest-RPN representatives top the area's global ranking, demonstrating that the modes with the highest quantified risk are precisely those that generate no detectable signal during normal operation.

The resulting preventive maintenance plan covers the 72 High-priority modes through 52 standardized task groups, structured into three main types: ten unconditional Failure Finding Tasks, twenty-five scheduled replacements and thirteen condition-based inspections. The plan establishes full traceability between each failure mode and the task that manages it, and incorporates the budgeting methodology, activity scheduling and recommended performance indicators to assess implementation effectiveness.

* Degree Work

**School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management.
Advisor: Carlos Borrás Pinilla. Ph.D. in Mechanical Engineering.

Introducción

La harina de trigo es un insumo alimentario de consumo diario en panificación, galletería y pasta. Durante el año 2024, los colombianos destinaron \$25.94 billones de pesos corrientes a la compra de alimentos derivados del trigo, según RADDAR este gasto equivale al 2.37% del gasto total y al 7.62% del gasto en alimentos para el hogar (Rodríguez T, 2025). Estos indicadores confirman la relevancia del trigo y sus derivados como componentes recurrentes de la canasta familiar.

En Colombia la industria harinera depende en su mayoría del trigo importado. Diversos reportes señalan que alrededor del 99% de la materia prima utilizada para producir harina de trigo proviene del exterior (Álvarez Sánchez & Chaves, 2017), según la asociación nacional de empresarios de Colombia (ANDI), para el año 2022 la industria molinera compró el 99.4% del trigo utilizado para fabricación de harina fortificada, en gran porcentaje de Estados Unidos y Canadá. (Rodríguez, 2023). Bajo este esquema de abastecimiento se obtiene como resultado un proceso industrial donde la continuidad operativa es crítica y las paradas no planificadas no solo generarían un riesgo de desabastecimiento a clientes, sino que también, producirían afectaciones económicas internas y externas como sobrecostos logísticos y administrativos por desalineación entre ritmo que se importa y recibe el grano y ritmo en el que este puede ser molido y despachado como harina lista para la venta.

En este contexto, durante el año 2024 las paradas no planificadas representaron el 7% del tiempo disponible operativo. Estos eventos se concentraron principalmente en novedades relacionadas con equipos inmersos en las zonas de molienda, en su mayoría bancos de molienda. Cada paro típico en bancos de molienda implicó un estimado promedio de 7 horas de indisponibilidad lo que implicó un costo por pérdida de producción y costos logísticos, adicional a sobrecostos por almacenamiento de materia prima y fletes extraordinarios.

Teniendo en cuenta estas condiciones operativas se hace necesario plantear una estrategia de gestión de mantenimiento en el área core del proceso (molienda), con la intención de establecer un sistema en donde no solo se realicen intervenciones correctivas reactivas, sino una planificación preventiva, formal y priorizada. Para ello se adopta el FMEA (Failure modes, Effects Analysis), desarrollado siguiendo las directrices de la norma ISO 60812:2018 utilizando una matriz S–O–D (Severidad–Ocurrencia–Detectabilidad) y el $RPN = S \times O \times D$ para identificar y priorizar modos y efectos de falla dando como resultado la definición de tareas preventivas concretas orientadas a disminuir la probabilidad de paradas por fallas no planificadas.

En consecuencia, esta monografía propone el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la zona de molienda, estructurado a partir de los resultados de análisis FMEA con matriz S–O–D (RPN), con el fin de priorizar modos de falla y definir tareas preventivas trazables, que disminuyan el riesgo operativo y económico asociado a fallas recurrentes en equipos críticos.

Con este enfoque el mantenimiento evoluciona de “apagar incendios” a gestión preventiva con priorización a partir de un FMEA teniendo métricas claras y capacidad de mejora continua del proceso.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo mediante la técnica FMEA para minimizar las fallas y degradaciones funcionales en los equipos críticos de la zona de molienda mejorando la disponibilidad y asegurando la calidad del producto.

1.2 Objetivos Específicos

1. Clasificar los equipos de la zona de molienda por familias, elaborando una matriz de criticidad basadas en los principios de gestión de riesgos de la Norma ISO 31000 que clasifica los activos prioritarios para el análisis de acuerdo con su impacto en producción, seguridad, medio ambiente y la calidad.
2. Definir las funciones y los límites operativos de los equipos críticos, estableciendo criterios de aceptación para determinar objetivamente la falla funcional. Según la Norma SAE JA 1011 y 1012.
3. Realizar la FMEA de los equipos críticos identificados, valorando S–O–D con escalas estandarizadas y aplicando reglas de veto para priorizar los modos de falla que impactan la disponibilidad y la calidad del producto.
4. Establecer el plan de mantenimiento preventivo para los modos de falla críticos priorizados, definiendo tareas por condición o por intervalo, con sus frecuencias, responsables y criterios de intervención.

2.Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

La gestión de mantenimiento industrial en procesos lineales tiene como finalidad garantizar la disponibilidad, la continuidad operativa y la calidad del producto final, generando una disminución en las paradas no planificada y los sobre costos de estas. En los esquemas de gestión del mantenimiento se evidencian modelos de funcionamiento que vienen desde el mantenimiento correctivo hasta enfoques preventivos y basados en condición, estos modelos se estructuran principalmente en el correcto análisis de tipo de maquinaria, las funciones que realiza y las consecuencias de las averías que se puedan llegar a enfrentar. En procesos como la molienda de trigo se evidencia una alta exigencia operacional ligada a equipos con una alta criticidad sobre los cuales el régimen de mantenimiento a aplicar se debe basar en conocimiento técnico, datos históricos con una frecuencia adecuada y un criterio bien establecido con el fin de optimizar el uso de los recursos de la organización.

2.1.1 Estrategias de mantenimiento en industria de proceso (correctivo, preventivo, predictivo)

De acuerdo a lo mencionado anteriormente en un entorno industrial se efectúan las 3 estrategias de mantenimiento que brindan información de vital importancia para el seguimiento de vida útil de cada uno de los equipos, en síntesis el mantenimiento correctivo y preventivo ofrecen simplicidad; mientras que el predictivo mejora la eficiencia siempre y cuando haya detectabilidad, sin embargo para definir soluciones a los modos de falla de los equipos críticos es

necesario en primer lugar evaluar los riesgos ligados a los modos de fallas y las tareas preventivas asociadas a cada equipo.

2.1.2 Enfoques de confiabilidad y riesgo: RCM y gestión del riesgo (ISO 31000)

El RCM basado en las normas JA1011 y JA1012 Especifica las políticas para definir un sistema como RCM, en este trabajo se tomarán como base las políticas que especifican un AMEF según lo enunciado en estas normas con la finalidad de determinar los modos de falla, sus causas y sus efectos, una vez se tenga esta información es importante el contraste de estos efectos evaluados como riesgos a la operación industrial del proceso.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Mantenimiento correctivo

Consiste en la reparación de averías que surgen en el proceso productivo buscando el restablecimiento de los equipos en el plazo más corto posible, según (Mora, 2009) existen 2 tipos de actividades correctivas, el desvare, restablecimiento de operación, pero no sobre condiciones de trabajo estándar y la reparación correcta y definitiva donde se conoce la causa raíz de la falla.

2.2.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos. Con el fin de detectar condiciones o estados inadecuados de esos elementos, que pueden ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento de la planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están aún en estado inicial de desarrollo (Patton, 1995).

2.2.3 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo estudia la evolución temporal de ciertos parámetros para asociarlos a la ocurrencia de fallas, con el fin de determinar en qué período de tiempo esa situación va a generar escenarios fuera de los estándares, para planificar todas las tareas proactivas con tiempo suficiente, para que esa avería no cause consecuencias graves ni genere paradas imprevistas de equipos (Mora, 2009)

2.2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad

El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos, en función de su diseño y de su construcción. El RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga (Mora, 2009).

El RCM busca, eliminar las averías de las máquinas, suministrar fuentes de información de la capacidad de producción de la planta a través del estado de sus máquinas y equipos, minimizar los costos de mano de obra de reparaciones, con base en el compromiso, por parte de los responsables del mantenimiento, en la eliminación de fallas de máquinas y anticipar y planificar con precisión las necesidades de mantenimiento

2.2.5 Análisis de modos y efectos de falla - FMEA

Según la norma SAE JA 1739 el análisis de modos y efectos de falla puede ser descrito como un grupo de actividades sistematizadas que buscan reconocer y evaluar la falla potencial y sus efectos en el producto o proceso en general e identificar acciones que eliminan o disminuyen alguna falla potencial.(SAE, 2021)

3.Marco Normativo

3.1 ISO 14224 Recolección e intercambio de datos de mantenimiento y fiabilidad de los equipos

Se incorpora como referencia para sustentar la necesidad de una estructura consistente de datos de mantenimiento, así como la estandarización de términos y taxonomías para la clasificación y recolección de activos, registros y análisis de falla.

3.2 ISO 31000 Gestión del riesgo

Es una norma internacional que ofrece la directrices y principios para gestionar el riesgo en organizaciones de forma efectiva, es decir, evaluar y gestionar los riesgos asociados a

diferentes acciones y estrategias empresariales; para este trabajo se usara en la definición de criticidad de los equipos más críticos en la compañía, tomando decisiones de optimización y asignación de recursos a equipos asociados con riesgos que pueden involucrar paradas catastróficas para el proceso productivo.

3.3 SAE JA 1011 Y SAE JA 1012 Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en la confiabilidad y una guía de RCM

Esta norma establece los ítems mínimos que debe tener un modelo de mantenimiento para considerarse RCM, para el análisis a realizar en esta monografía se usara como referencia conceptual en el proceso de definición de funciones, los estándares de desempeño y las fallas funcionales en los equipos críticos con el fin de tener la certeza de una trazabilidad consistente en el análisis de modos y efectos de falla que se realizaran después.

4. Metodología.

4.1 Fases de la investigación

4.1.1 Levantamiento y depuración de información de equipos

En esta etapa se recolectará la información relacionada con los equipos relacionados a la zona de molienda en el proceso productivo, es importante mencionar que no se tenía información de equipos ni estructuración para la tipificación de estos, se hará levantamiento en planta con ayuda del personal operativo y de mantenimiento.

4.1.2 Clasificación por familias y zonas

Con el levantamiento de datos realizado y basándose en la información relacionada con la norma ISO 14224 se estructura un sistema de clasificación de equipos jerarquizada en su ubicación y proceso productivo específico de la planta, teniendo en cuenta que la zona de molienda es el corazón del proceso se opta por delimitar este trabajo en este proceso específico.

4.1.3 Matriz de criticidad

Se realiza un análisis de riesgo cualitativo basado en la norma ISO 31000 teniendo en cuenta los siguientes criterios, Calidad, Impacto a la producción, Seguridad operativa, Medio ambiente, una vez establecidos los criterios se genera un esquema de ponderación a cada uno de estos valores para el proceso seleccionado (Molienda) y a partir de ello generar un promedio ponderado que nos definirá la consecuencia de la falla de estos equipos, al multiplicar este valor con los datos de estimación de frecuencia de falla se llegara al resultado de la criticidad de cada equipo, basados en la desviación estándar y los valores nominales de la campana de gauss es posible definir los equipos con mayor criticidad en la zona establecida.

4.1.4 Funciones y fallas funcionales

Establecer la función principal de cada equipo critico definido según la matriz de criticidad, y la identificación de las posibles fallas que pueden llegar a generar una falta de cumplimiento en esa función principal de los activos.

4.1.5 FMEA

Creación de la plantilla FMEA según la ISO 14224, delimitando el sistema, separación de los subsistemas, planteamiento del modo de falla y su efecto dando como resultado un listado priorizado de fallas para equipos críticos y las acciones recomendadas.

4.1.6 Plan de mantenimiento

Generar rutinas y procedimientos de mantenimiento con los resultados del FMEA dando intervalos de realización, responsables, horas hombre y repuestos para los modos de falla más críticos y tareas con mayor efecto preventivo en los activos.

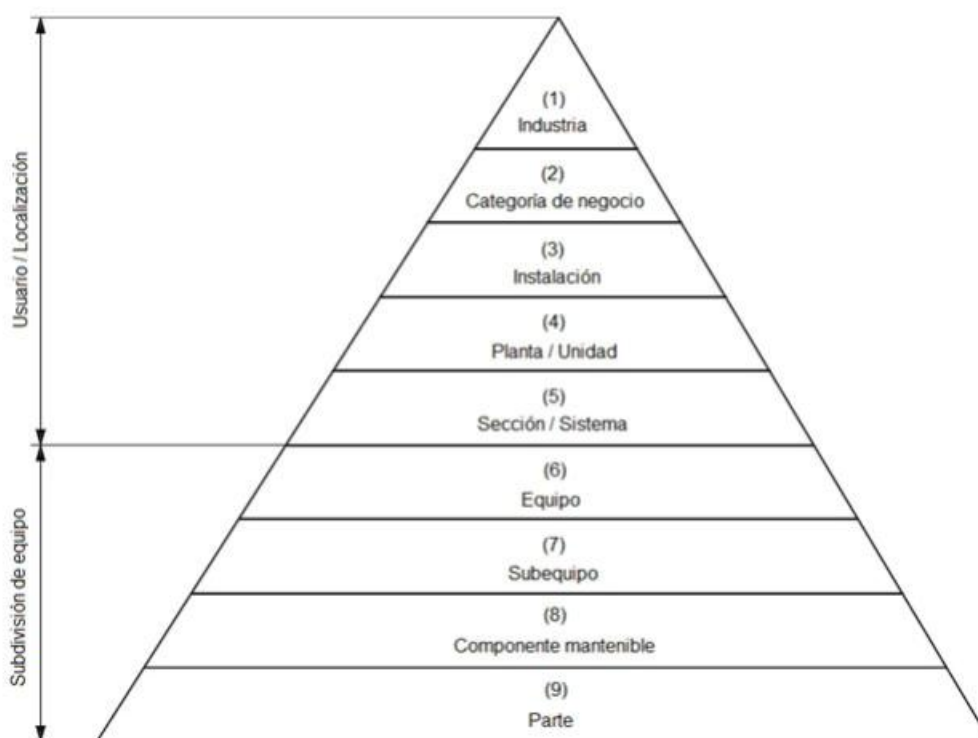
5. Recopilación y análisis de información.

5.1 Taxonomía

La norma ISO 14224 define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genéricos, basada en sus características comunes (localización, uso, tipo de equipo, etc.), la taxonomía es representada en forma de pirámide como se puede observar en la Fig. 1.

Figura 1.

Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos



Nota. Tomado de International Organization for Standardization, ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries- Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, 3 ed., Ginebra: ISO, 2016.

Teniendo en cuenta esta normativa se realiza un recorrido en planta donde se recoleta la información necesaria para crear el inventario general de equipos para la zona de molienda, teniendo en cuenta, fabricante, referencia, serial, fecha de compra, capacidad y nombre del equipo dando como resultado un total de 253 equipos.

5.1.1 Codificación y tipificación familias de equipos

Con la intención de generar una codificación estándar y a su vez organizar los equipos por familias se propone el estándar de organización que se presenta en la tabla 1.

Tabla 1.

Codificación de equipos.

Código	Significado
T-SC-ELC-01	Elevador de cangilones molino AB
T-PT-SPL-01	Soplante subproductos #1
T-MA-BM-01	Banco de Molienda 01 Molino A

Nota. La tabla muestra la composición de códigos la cual se compone de 4 partes, Indicativo de Planta, Sección, Maquina, Consecutivo.

Con esta codificación y clasificación de equipos por familia es viable continuar con el análisis de criticidad de cada uno de ellos.

5.1.2 Identificación de los equipos críticos

Para identificar los equipos críticos se realiza un análisis de criticidad basados en el análisis de riesgos planteados por la norma ISO 3100 según la Severidad (Consecuencia) por la ocurrencia (Probabilidad) por la Exposición, para este caso se definirá la exposición como 1 teniendo en cuenta que el riesgo se corre simplemente con el hecho de tener la maquinaria operativa.

Para extrapolar este modelo de riesgo aplicado al mantenimiento se toma la decisión de especificar la severidad de la falla como un ponderado de los siguientes factores: Calidad [CA], Impacto a la producción [IP], Costo de mto [CO], Seguridad del trabajador [ST], afectación al Medio ambiente [MA] y por último, Impacto a la extracción [EX].

Tabla 2.

Criterios ponderación factor calidad.

[CA] - CALIDAD	Valor	Porcentaje Ponderado
Ocasiona defectos críticos en el producto (Aquel que incumple con una característica fundamental).	5	25%
Ocasiona defectos graves en el producto (Aquel que podría no ser aceptado por el cliente).	3	
Ocasiona defectos leves en el producto (Aquel que el cliente no percibe).	1	

Tabla 3.

Criterios ponderación factor Impacto a la producción.

[PR] - IMPACTO A LA PRODUCCIÓN	Valor	Porcentaje Ponderado
Todo paro mayor a 3 hora es grave.	5	25,00%
Todo paro mayor a 6 horas es grave.	4	
Todo paro mayor a 12 horas es grave.	3	
Todo paro mayor a 24 horas es grave.	2	
No para el proceso.	1	

Tabla 4.*Criterios ponderación factor Seguridad trabajador.*

[ST] - SEGURIDAD TRABAJADOR	Valor	Porcentaje Ponderado
En caso de presentarse una falla, hay probabilidad de que se presente un accidente grave o mortal.	5	5,00%
En caso de presentarse una falla, hay probabilidad de que se presente un accidente grave.	3	
En caso de presentarse una falla, hay probabilidad de que se presente un accidente menor.	2	
En caso de presentarse una falla, hay probabilidad de que se presente un incidente o accidente leve.	1	

Tabla 5.*Criterios ponderación factor Impacto a la extracción.*

[EX]- IMPACTO A LA EXTRACCIÓN	Valor	Porcentaje Ponderado
Alta probabilidad de daño ambiental en caso de fallo.	5	25,00%
Media probabilidad de daño ambiental en caso de fallo.	3	
Baja probabilidad de daño ambiental en caso de fallo.	2	
Muy baja probabilidad de daño ambiental en caso de fallo.	1	

Tabla 6.*Criterios ponderación factor costo de mantenimiento.*

[CO] - COSTOS DE MTTO	Valor	Porcentaje Ponderado
Costos de mantenimiento trimestral mayores a 15 millones de pesos (A cero mtto preventivo).	5	20,00%

Costos de mantenimiento trimestral entre 8 y 15 millones de pesos (A cero mtto preventivo).	3
Costos de mantenimiento trimestral entre 3 y 8 millones de pesos (A cero mtto preventivo).	2
Costos de mantenimiento trimestral menores a 3 millones de pesos (A cero mtto preventivo).	1

Adicional se establece la probabilidad como la frecuencia de falla que podría llegar a tener el equipo en su funcionamiento normal, es decir la tolerancia de fallo que la operación se podría permitir sin afectar las proyecciones operativas según como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7.

Criterios ponderación frecuencia de falla.

[FF] - Frecuencia de falla.	Valor	Porcentaje Ponderado
Fallos permitidos en el MTBF establecido.		
No se toleran paros en el mes.	5	100,00%
Se tolera 1 paro al mes o menos.	4	
Se toleran entre 1 y 3 paros al mes.	3	
Se toleran entre 3 y 5 paros al mes.	2	
Se toleran más de 5 paros al mes.	1	

Se define la criticidad total como:

Severidad de la falla [SF] * Frecuencia de falla [FF] = Criticidad

En donde SF se expresa como

$$C_a * 0.25 + P_r * 0.25 + S_t * 0.05 + E_x * 0.2 + C_o * 0.2 = S_F$$

Obteniendo como resultado el índice de criticidad de cada equipo y realizando la clasificación según la matriz que se presenta a continuación:

Tabla 8.*Clasificación matriz de criticidad.*

FRECUENCIA FALLAS	MATRIZ DE CRITICIDAD									
	5	5	7,5	10	13	15	18	20	23	25
	4	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	3	3	4,5	6	7,5	9	11	12	14	15
	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
CONSECUENCIA										

Estableciendo los valores de criticidad a partir de la revisión del resultado de criticidades obtenidas, teniendo en cuenta la desviación estándar promedio.

Tabla 9.*Límites de criticidad.*

NIVELES DE CRITICIDAD		
	Desde	Hasta
A	15,30	-
B	10,20	15,30
C	1,00	10,20

Determinados los equipos críticos se tipifican como equipos de alta criticidad 71 de los 273 equipos pertenecientes a la zona de molienda, los cuales se encuentran englobados en las familias enunciadas a continuación:

1. Cernedor
2. Banco de molienda
3. Blower (Turbina)

4. Micro dosificador
5. Soplane
6. Válvula rotativa (Esclusa)

5.2 Funciones y fallas funcionales

Definir las funciones de los equipos es el primer paso para realizar un correcto análisis FMEA, el propósito es documentar con precisión que se requiere que haga el equipo, no que es ni como está diseñado. (Regan, 2011). Por ende, una función está definida específicamente por el desempeño necesaria en la organización según su contexto operacional específico.

Es importante tener claro que existen dos tipos de funciones, Función principal y funciones secundarias, definidas según (Regan, 2011) de la siguiente manera:

- Función principal: Propósito principal por el cual el equipo existe en el proceso, cada equipo tiene una sola función primaria que generalmente conlleva más de una falla funcional.
- Función secundaria: son todas las demás funciones que el equipo debe cumplir además de su propósito principal.

Toda función se redacta de la siguiente manera: verbo + Objeto + estándar de desempeño + contexto operacional. El estándar de desempeño es el parámetro que permite determinar si la función se cumple o no. (Regan, 2011)

Escribir las fallas funcionales es el segundo paso para generar el análisis FMEA, una falla funcional es la incapacidad de cumplir una función en el estándar de desempeño que la

organización considera satisfactorio. (Regan, 2011). Cada función puede generar una o más fallas funcionales.

Las fallas funcionales pueden ser tipificadas de la siguiente manera:

- Falla total: El equipo es completamente incapaz de cumplir la función.
- Falla parcial: El equipo sigue cumpliendo la función, pero a un nivel de desempeño insatisfactorio para el proceso.

La falla funcional se redacta como la negación del estándar de desempeño de la función. (Regan, 2011)

A continuación, se realizará el análisis de las funciones y fallas funcionales de las familias de los equipos críticos obtenidos.

5.2.1 Cernedor (Funciones y fallas funcionales)

El cernedor este compuesto por cajones que contienen pila de tamices. Mediante combinaciones diferentes de los tamices que conforman la pila se consiguen distintas clasificaciones de producto.

Para el proceso de tamizado se desplaza el cernedor plano con movimientos circulares. Este movimiento se origina a partir de una masa centrífuga rotatoria. El numero de revoluciones es de 250 rpm a 300 rpm. El diámetro de carrera del cernedor en rotación esta entre los 66 mm y 64 mm dependiendo de si en vacío o bajo carga, la carcasa del cernedor esta colgada de 4 puntos con varillas de plástico reforzado con fibra de vidrio, lo cual permite que oscile libremente.

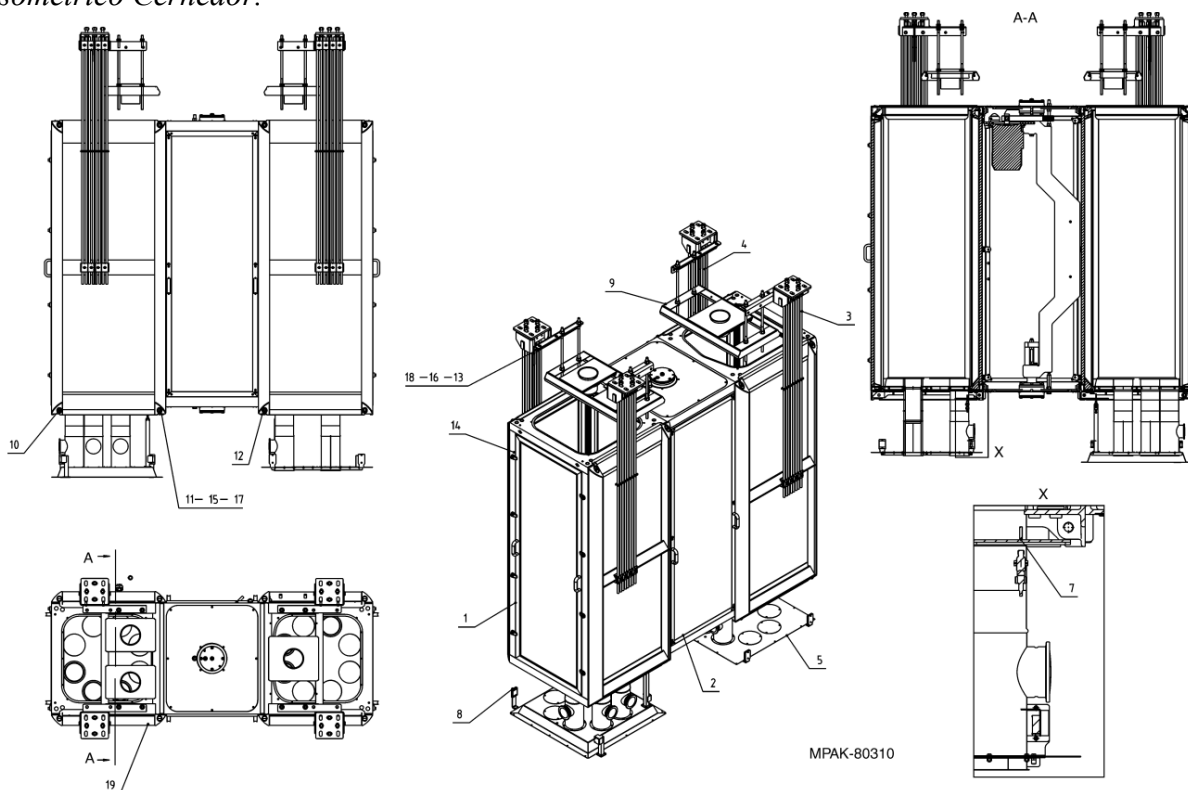
Figura 2.*Isométrico Cernedor.**Nota.* Imagen tomada de (BÜHLER, 2008)**Figura 3.***Tipos de tamices Cernedor.**Nota.* Imagen tomada de (BÜHLER, 2008)

Tabla 10.*Funciones y Fallas Funcionales Cernedor.*

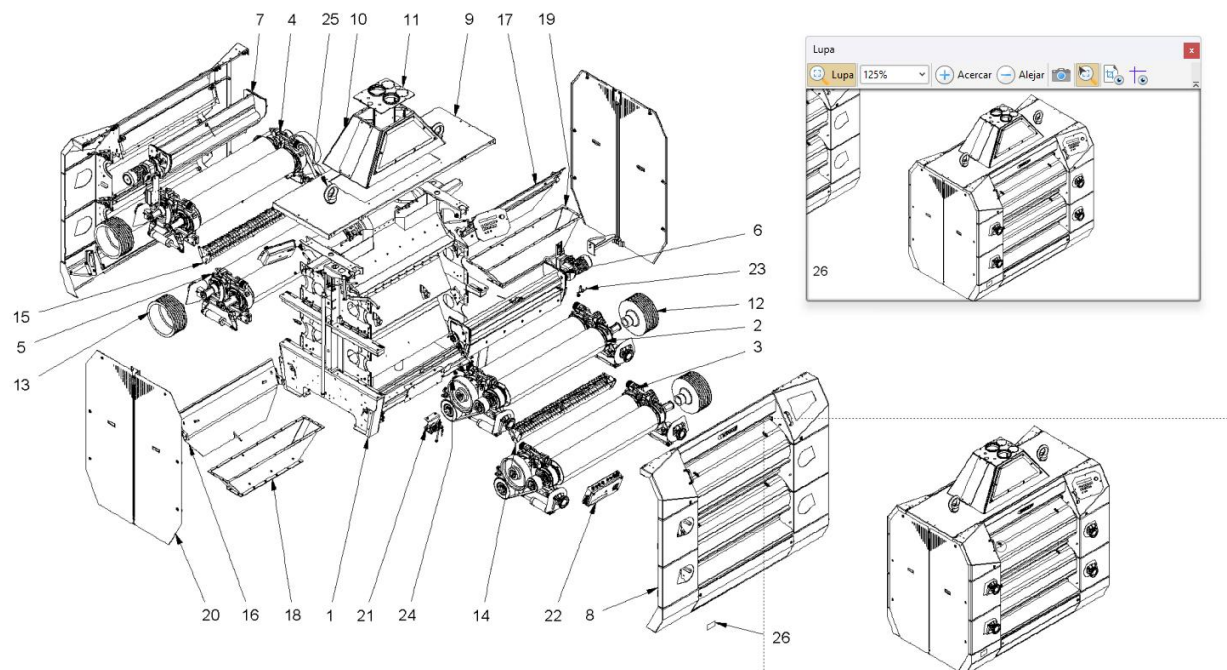
N.º	Cód. FF	Tipo función	Función (redacción RCM)	Falla funcional	Clase
— FUNCIÓN PRIMARIA —					
1	1A	Primaria · Evidente	Clasificar y separar la corriente de producto molido (harina, sémola y salvado) en un mínimo de 5	El cernedor es incapaz de clasificar y separar el producto en ninguna de sus fracciones (paro total).	Total
	1B	Primaria · Evidente	fracciones comerciales, con una capacidad de hasta 8 t/h (bastidor tipo B, trigo duro), manteniendo la pureza granulométrica de cada fracción dentro de las tolerancias del esquema de bastidores, durante la operación continua del molino.	El cernedor clasifica el producto, pero la capacidad de tamizado cae por debajo de 8 t/h, o la pureza granulométrica de alguna fracción queda fuera de la tolerancia especificada en el esquema de bastidores.	Parcial
— FUNCIONES SECUNDARIAS —					
2	2A	Secundaria · Evidente	Generar y mantener el movimiento giro planar con un diámetro de carrera de 64 mm (con producto) y una velocidad de 250–300 rpm, durante toda la operación del molino.	El sistema de accionamiento es completamente incapaz de generar el movimiento giro planar (cernedor detenido).	Total
	2B	Secundaria · Evidente	(Sistema de accionamiento: motor + correa trapezoidal dentada + masa centrífuga)	El movimiento giro planar se genera, pero la velocidad cae por debajo de 250 rpm o el diámetro de carrera se desvía más de ± 2 mm respecto a 64 mm.	Parcial
3	3A	Secundaria · Evidente	Mantener limpias y abiertas las mallas del tejido de tamiz mediante los limpiadores, de forma continua durante la operación, para evitar la obstrucción de la superficie de	Los limpiadores no circulan libremente o están desgastados, permitiendo la obstrucción progresiva de las mallas del tejido de tamiz.	Parcial

			tamizado. (Limpiadores de plástico sobre fondo colector)		
4	4A	Secundaria · Evidente	Sostener y aislar dinámicamente la carcasa del cernedor mediante las 4 varillas, permitiendo la oscilación libre con una deflexión máxima de ± 2 mm fuera del plano horizontal, durante toda la operación.	Una o más varillas fallan (rotura o sujeción), provocando vibración incontrolada o detención del cernedor.	Total
	4B	Secundaria · Evidente		Las varillas están intactas, pero el cernedor presenta movimiento excéntrico anormal o no mantiene la horizontalidad dentro de la tolerancia de ± 2 mm.	Parcial
5	5A	Secundaria · Oculta	Ser capaz de detectar vibraciones anormales o desplazamiento excéntrico fuera del rango normal y transmitir la señal de alarma o paro al sistema de control del molino, en caso de que se presente dicha condición. (Control de marcha concéntrica y control de nivel)	El sistema de control de marcha concéntrica es completamente incapaz de detectar y señalar una condición de vibración anormal o desplazamiento excéntrico.	Total
	5B	Secundaria · Oculta		El sistema de control detecta la condición anormal, pero activa la alarma o paro con un retardo superior al definido en el plan de control del proceso.	Parcial
6	6A	Secundaria · Evidente	Mantener el nivel de presión acústica equivalente en el entorno de la máquina en un valor igual o inferior a 70 dB(A), según las condiciones de operación nominal especificadas por el fabricante.	El nivel de presión acústica equivalente supera 70 dB(A) en el entorno inmediato de la máquina durante la operación normal.	Parcial
7	7A	Secundaria · Oculta	Mantener la pila de tamices correctamente tensada y sujeta durante la operación, evitando holguras que puedan generar averías o pérdida de desempeño.	Incapaz de mantener la pila de tamices tensada y sujeta.	Total

5.2.2 Banco de molienda (Funciones y fallas funcionales)

Figura 4.

Isométrico Banco de molienda.



Nota. Imagen tomada de (BÜHLER, 2011)

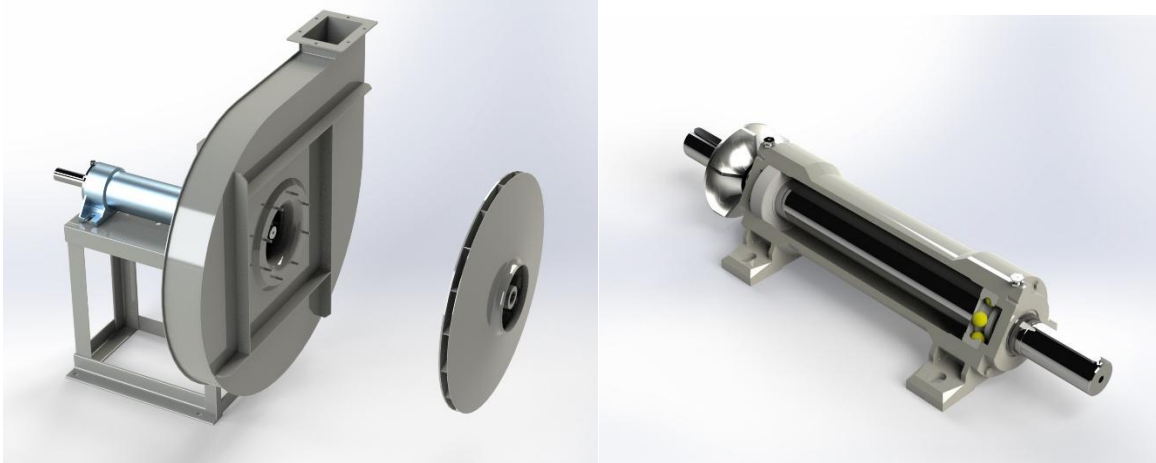
El banco de molienda muele cereales a partir de la fragmentación del grano haciendo uso de dos cilindros trituradores que se mueven en sentido contrario a relaciones de velocidades diferentes 600 rpm a 300 rpm, el bloque de cilindros es accionado por un resorte y a su vez por dos cilindros neumáticos que se encargan de embragar y desembrague del sistema, el ajuste fino de la abertura entre cilindros se realiza a partir de los volantes de mano uno para cada lateral de cilindro, contando con un cilindro móvil y uno fijo.

Apéndice A.

5.2.3 Blower [Turbina] (Funciones y fallas funcionales)

Figura 5.

Isométrica turbina de Transporte Neumatico.



Nota. Tomado de (Euro Ventilatori, n.d.)

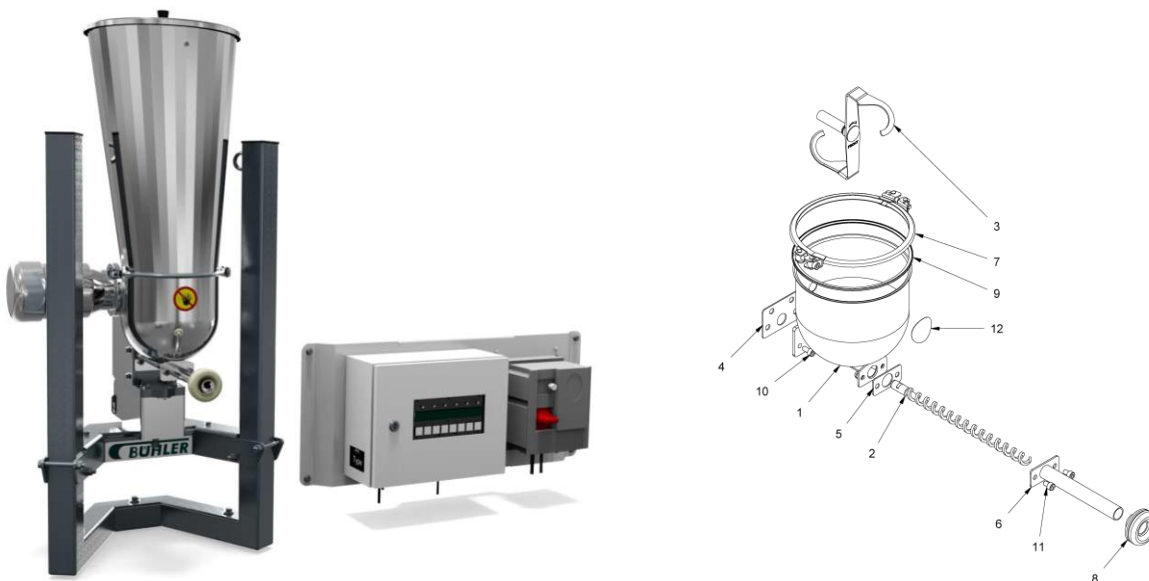
Ventilador de alta presión accionado por correas usado para transporte neumático de polvos, diseñado para funcionamiento en ambientes potencialmente explosivos, mediante el movimiento de las aspas, crea un área de baja presión en la parte superior y un área de alta presión en la parte inferior, esto genera que el flujo de aire se mueva según el gradiente de presión transportando los polvos que se terminan fluidizado con el aire. Cuenta con un motor eléctrico, un sistema de transmisión de potencia por correas y un eje de transmisión centra que se encarga de mover el ventilador y generar el diferencial de presión.

Apéndice B.

5.2.4 Micro dosificador

Figura 6.

Isométrico Micro Dosificador.



Nota. Tomado de (BÜHLER, 2016)

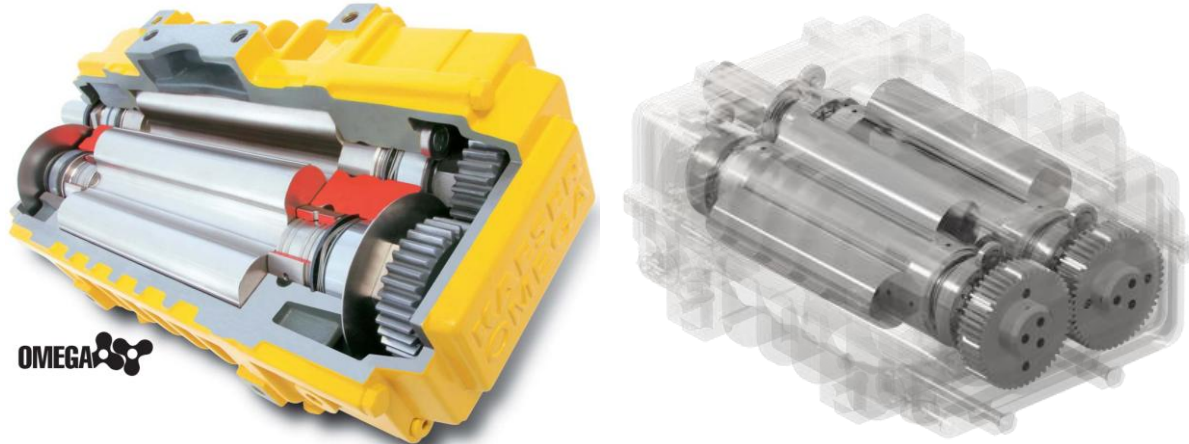
Bascula micro diferencial de diseño modular que regula un flujo de producto continuo conforme con el rango de alimentación seleccionado. Esta máquina dosifica gravimétricamente el producto de grado de fluidez ligero – medio. El rellenado es manual. Se compone de: Depósito pulmón con tapa para el relleno manual, Montante ajustable en altura para fijación al suelo, Poleas de correa dentada recambiables para obtener diferentes velocidades de giro en el tornillo sin fin dosificador, Recipiente de extracción con agitador vertical, Celda báscula con protección contra sobrecarga, Tornillo sin fin dosificador, Salida de producto (con manguito de goma).

Apéndice C.

5.2.5 Soplante

Figura 7.

Imagen soplante de lóbulos.



Nota. Tomado de (KAESER KOMPRESSOREN, n.d.)

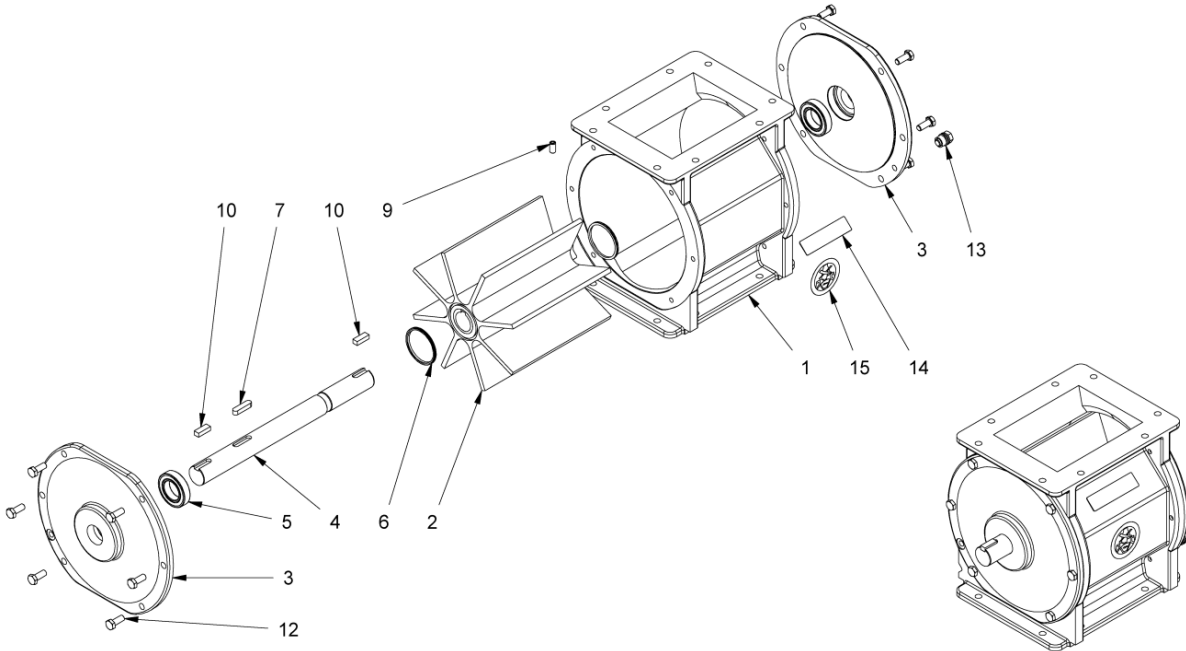
Los soplantes de lóbulos tienen su principio de funcionamiento en el movimiento de rotores lobulares que encierran el aire en el lado de admisión en la carcasa. Al seguir girando, la punta del rotor llega al comienzo de una concavidad excéntrica de la carcasa. Generando una diferencia de presión entre la entrada y salida del sistema, una baja presión al ingreso del bloque y alta a la salida o viceversa dependiendo del sentido de giro del equipo. Cuenta con un sistema de filtración de aire de ingreso y también un sistema de lubricación de piñones, adicional del motor eléctrico que genera el movimiento del equipo.

Apéndice D.

5.2.6 Esclusa – Válvula rotativa

Figura 8.

Despiece de esclusa.



Nota. Tomado de (BÜHLER, 2019)

Sistema de funcionamiento para separación entre una zona de presión atmosférica y una zona de alta presión, la mezcla de aire y producto entra en la unidad, que tiene cuchillas con tolerancias específicas con respecto a la carcasa, dando como resultado la separación entre el diferencial de presión y generando la descarga por gravedad sin afectaciones ni fugas, generalmente se instalan bajo filtros de mangas, separadores ciclónicos.

Apéndice E.

6. Análisis de modos y efectos de falla (FMEA).

Ya definidas las funciones y fallas funcionales para las familias de los equipos tipificados como críticos se procede a generar el análisis de modos y efectos de fallas es decir se buscará identificar la causa de las fallas funcionales definidas, según (Regan, 2011) los modos de falla no deben redactarse de una manera genérica, sino con el detalle suficiente para permitir posteriormente la definición de una estrategia de gestión técnicamente válida, por consiguiente se formulan los modos de falla de la siguiente manera sustantivo + verbo + contexto operativo (de ser necesario).

Luego de establecer los modos es necesario definir los efectos de falla, teniendo claro que representa lo que ocurriría si no se hiciera nada para predecir o prevenir los modos de falla establecidos, deben describir la secuencia del proceso de falla, para finalmente valorar la severidad (S), ocurrencia (O) y detectabilidad (D).

6.1 Escala S – O – D

Tabla 11.

Escala Severidad.

Escala	Nivel	Criterio
S	10	Consecuencia catastrófica: muerte o lesión permanente; incendio/explosión; colapso del equipo; contaminación crítica del producto.
S	9	Lesión grave, riesgo severo al personal o daño mayor del equipo con parada extensa.
S	8	Impacto directo en calidad/inocuidad o rechazo de lote; parada relevante del proceso.
S	7	Pérdida operacional alta o desvío severo de desempeño.
S	6	Reducción importante de capacidad o condición anormal relevante.
S	5	Pérdida operacional media o reparación correctiva estándar.
S	4	Degradación menor pero visible.
S	3	Efecto leve y controlable.

S	2	Molestia operativa menor.
S	1	Sin efecto apreciable.

Tabla 12.*Escala Ocurrencia.*

Escala	Nivel	Criterio
O	10	Varias veces al mes o más.
O	9	Aproximadamente una vez al mes.
O	8	Cada 2-3 meses.
O	7	Cada 4-6 meses.
O	6	Aproximadamente una vez por año.
O	5	Cada 1-2 años.
O	4	Cada 2-3 años o plausible sin alta recurrencia.
O	3	Cada 3-5 años.
O	2	Muy rara.
O	1	Remota.

Tabla 13.*Escala Detectabilidad.*

Escala	Nivel	Criterio
D	10	No detectable / falla oculta.
D	9	Muy difícil; normalmente se detecta después del efecto.
D	8	Difícil; requiere inspección especializada.
D	7	Baja detectabilidad; suele requerir parada o revisión detallada.
D	6	Moderada-baja.
D	5	Moderada.
D	4	Moderada-alta; detectable en rondas.
D	3	Alta; señal o síntoma claro.
D	2	Muy alta; control casi seguro.
D	1	Casi certeza de detección temprana.

Establecidos la escala de los tres factores se especifica el número de prioridad de riesgo de la siguiente manera: $NPR = S \times O \times D$.

Definiendo entonces la siguiente base de prioridad para cada modo de falla:

- Alta: NPR > 200
- Media: NPR entre 100 y 199
- Baja: NPR < 100

Teniendo como excepciones:

Tabla 14.

Reglas de veto NPR.

Código	Condición de activación	Prioridad asignada
Veto S	S ≥ 9, independiente de O y D	Alta
Veto D	Falla oculta (Hidden Failure) con D ≥ 7	Alta
Veto C	Impacto directo en inocuidad o calidad del producto (contaminación del pasaje de molienda, adulteración)	Alta

Con estos estándares especificados se definen los modos y efectos de falla y se establece el NPR de cada modo de falla para los tipos de equipos críticos obtenidos.

6.2 Análisis FMEA por equipos

El análisis FMEA realizado sobre los seis equipos críticos del área de molienda dio como resultado 113 modos de falla caracterizados a partir de valores de severidad (S), Ocurrencia (O) y detectabilidad (D), con algunas reglas de veto que, según estos valores, como resultado se obtiene la información necesaria para saber que puede fallar, con que consecuencia, con qué frecuencia y con que capacidad de detección anticipada.

Tabla 15.

Análisis de Modos de Falla.

Equipo	N.º modos	Alta	Media	Baja	NPR prom.	NPR máx.	Perfil de riesgo dominante
Blower (Turbina)	23	14	8	1	123,4	280	Detectabilidad alta (D prom. = 4,1)
Soplante	21	6	8	7	125,3	294	Ocurrencia + Severidad (6 modos Alta con NPR>180)
Micro dosificador	21	17	2	2	108	280	Calidad / inocuidad (Veto C en 16/17 modos Alta)
Banco de Molienda	20	17	1	2	121,4	200	Severidad alta (S prom. = 8,1)
Cernedor	17	12	3	2	142,2	315	Detectabilidad alta + modos ocultos (3 FFT)
Esclusa (V. Rotativa)	11	6	2	3	86	140	Severidad moderada; 2 modos ocultos con S=10
TOTAL / PROMEDIO	113	72	24	17	119,7	315	63,7% en Alta prioridad

Nota. Distribución de modos de falla por equipo y prioridad

Aunque esta información es muy valiosa la importancia de este análisis no está en la puntuación de características relacionadas a los modos de falla de los activos, sino en la información que brinda para definir una estrategia de mantenimiento que sea técnicamente apropiada para cada modo de falla identificado.

En cuanto al plan de mantenimiento a generar se realizará en primera instancia teniendo en cuenta los modos de prioridad alta, las cuales representan la cantidad de intervenciones obligatorias en el plan de mantenimiento preventivo. Un modo de falla es clasificado como Alta prioridad cuando cumple al menos una de las siguientes condiciones: $NPR \geq 200$, Veto S activo ($S \geq 9$ con consecuencia de seguridad), Veto D activo (falla oculta con $D \geq 7$) o Veto C activo (impacto directo en la calidad o inocuidad del producto terminado). Esto con el fin de garantizar que algún modo de falla con NPR bajo sea tratado como prioritario independiente de su valor numérico.

6.2.1 FMEA CERNEDOR

Revisar Apéndice F.

6.2.2 FMEA BANCO DE MOLIENDA

Revisar Apéndice G.

6.2.3 FMEA BLOWER TURBINA

Revisar Apéndice H.

6.2.4 FMEA MICRODOSIFICADOR

Revisar Apéndice L.

6.2.5 FMEA SOPLANTE

Revisar Apéndice J.

6.2.6 FMEA ESCLUSAS – VALVULA ROTATIVA

Revisar Apéndice K.

7. Plan de mantenimiento preventivo

De acuerdo con el análisis la escala con mayor incidencia es la severidad pues 63 de 72 modos tienen un alto valor en este, lo cual confirma que en un proceso lineal como lo es la molienda el riesgo no se constituye principalmente en la frecuencia de fallas ni en la dificultad de detección, sino en la magnitud de las consecuencias que estas generan.

Con esto claro la estrategia de mantenimiento migra de monitorear más a intervenir antes, mediante tareas preventivas de frecuencia definida que eliminen el modo de falla antes que su consecuencia sea real.

A partir de esta información se definen las siguientes estrategias para ciertas condiciones específicas obtenidas en el FMEA.

Tabla 16.

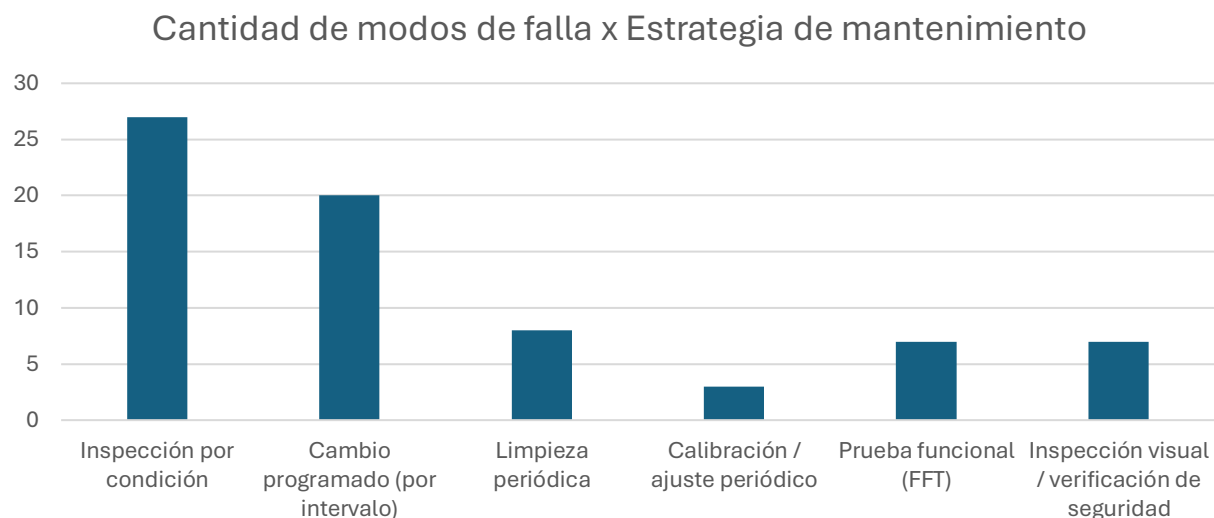
Estrategias de mtto para condiciones FMEA.

Tipo de estrategia	Descripción técnica	Condición que la activa
Inspección por condición	Monitoreo periódico de un parámetro físico detectable (vibración, temperatura, ΔP , corriente) que revela la degradación antes de la falla funcional.	$D \geq 4$ con señal física detectable antes de la falla. El modo progresa gradualmente.
Cambio programado (por intervalo)	Sustitución o restauración del componente en un intervalo fijo de tiempo u horas de operación, antes de que alcance su límite de vida útil.	Modo con patrón de desgaste predecible (curva de falla conocida). $D \leq 5$ y mecanismo de fatiga/abrasión dominante.
Prueba funcional (FFT)	Verificación periódica de que un dispositivo de protección o sistema oculto funciona correctamente.	Falla oculta con $S \geq 7$. El modo NO genera señal detectable durante operación normal. Solo detectable activando la función protectora.

Limpieza periódica	Eliminación programada de acumulaciones de producto, polvo o depósitos que obstruyen o degradan la función del componente.	Modo dominado por obstrucción/cegamiento/incrustación en ambiente con polvo de harina. O frecuentemente alto ($O \geq 5$).
Calibración / ajuste periódico	Verificación y corrección del valor de referencia de un instrumento de medición o parámetro de control, para asegurar que opera dentro de la tolerancia especificada.	Modo de deriva instrumental o de configuración incorrecta. Afecta sistemas de medición o control (celdas de carga, variadores, mandos).
Inspección visual / verificación de seguridad	Revisión visual sistemática o prueba funcional de dispositivos de seguridad (protecciones físicas, cerrojos) para confirmar integridad estructural o funcional.	$S \geq 9$ con $D \leq 3$. La consecuencia es grave pero la detección es relativamente fácil con inspección directa. Protecciones físicas y estructurales.

La estructura resultante del plan viene dada por cuatro componentes:

1. Actividades de búsqueda de fallas para modos ocultos.
2. Mantenimiento basado en condición.
3. Mantenimiento preventivo por intervalo.
4. Verificación de seguridad (prueba funcional)

Figura 9.*Distribución de modos x estrategia de mtto.*

7.1 Plan de mantenimiento por equipos

7.1.1 Plan de mantenimiento preventivo Cernedor

Revisar Apéndice L.

7.1.2 Plan de mantenimiento banco de molienda

Revisar Apéndice M.

7.1.3 Plan de mantenimiento Blower // Turbina

Revisar Apéndice N.

7.1.4 Plan de mantenimiento micro dosificador

Revisar Apéndice O.

7.1.5 Plan de mantenimiento Soplante

Revisar Apéndice P.

7.1.6 Plan de mantenimiento Válvula rotativa // Esclusa

Revisar Apéndice Q.

7.2 Metodología para presupuesto de plan

El presupuesto del plan de mantenimiento busca determinar el costo total anual de ejecución de las actividades definidas. Esto permite a la empresa organizar recursos financieros, humanos y físicos necesarios para mantener el correcto funcionamiento de los equipos, también da la base de evaluación económica del plan frente al costo histórico de mantenimiento general.

7.3 Estructura de costos

El costo unitario por intervención se estima a partir de cuatro componentes principales cuya suma constituye el costo unitario por intervención, puede clasificarse como preventiva, correctiva o basada en condición y se definen de la siguiente manera:

Tabla 17.

Componentes del Costo x Intervención mto.

N°	Componente de costo	Descripción	Fórmula de cálculo
C1	Mano de obra directa	Costo del tiempo del técnico responsable de la tarea, incluyendo el tiempo de preparación, ejecución e inspección final.	$C_1 = (H-H \text{ por intervención}) \times (\text{Tarifa horaria del técnico responsable})$
C2	Materiales y repuestos	Costo de los materiales consumidos en la intervención: repuestos, lubricantes, elementos filtrantes, elementos de transmisión y consumibles en general.	$C_2 = \Sigma (\text{Cantidad de cada material} \times \text{Precio unitario del material})$
C3	Costo de parada de producción	Lucro cesante asociado al tiempo de parada del equipo durante la intervención, calculado como el valor de la producción no generada en ese período.	$C_4 = (\text{Tiempo de parada en horas}) \times (\text{Capacidad de producción ton/h}) \times (\text{Precio de venta de harina por tonelada})$

Nota. Tomado de (Mora, 2009)

$$C_M = C1 + C2 + C3$$

Esta ecuación define el costo unitario por intervención y puede ser usada para los tres tipos de mantenimiento con la salvedad de que en el mantenimiento correctivo el costo de la parada del proceso es mucho mayor y la consecución de repuestos sin planificación también puede ser mayor.

Para el mantenimiento basado en condición la variación radica en el costo de mano de obra debido a que se requiere mano de obra especializada.

Una vez determinado el costo por intervención es posible estimar el costo anual por mantenimiento, el cual se obtiene multiplicando el número de actividades a realizar en el año por el costo de la intervención, dando como resultado el costo de actividades preventivas o basadas en inspección en el año.

Por otra parte, se hace necesaria la estimación de costos en mantenimiento correctivo para cada uno de estos equipos, en porcentaje este valor debería ser cercano al 15% del costo del mantenimiento preventivo anual y se puede dividir mensualmente, dando como resultado un presupuesto de mantenimiento correctivo que probabilísticamente cubre las posibilidades de falla de cada equipo e igual debe ser validado con los costos del año anterior.

7.4 Proceso de construcción calendario anual de mantenimiento

Para generar el calendario de mantenimiento se deben tener presente los siguientes puntos:

1. Verificación de fecha de ultimo mantenimiento
2. Proyección de frecuencias de mantenimiento según plan
3. Verificar paradas de planta programadas
4. Revisión de horas hombre necesarias para ejecución de plan
5. Acotación de horas disponibles vs horas de plan
6. Solicitud de repuestos necesarios para intervención.

7.5 Gestión computacional calendario de mantenimiento CMMS

Teniendo en cuenta el volumen de ordenes de trabajo a generar la administración de forma manual de tareas, frecuencias, responsables, costos e historial de cumplimiento resulta limitado y propenso a omisiones. En este contexto, el uso de una herramienta computacional de gestión de mantenimiento (CMMS) permite programar actividades, asociar recursos, controlar costos, registrar hallazgos, generar ordenes de trabajo y dar trazabilidad al cumplimiento del plan.

Adicional facilita la consolidación de indicadores y la retroalimentación del sistema, con la finalidad de ajustar fechas de ultimo mantenimiento, frecuencias y reprogramación de intervenciones basados en las ventanas de mantenimiento disponibles, dando como resultado una herramienta operativa de gestión de mantenimiento que apoya el proceso de mejora continua.

7.6 Indicadores de control y resultado

Una vez hecha toda la caracterización de los equipos hasta el punto de haber generado el plan de mantenimiento se hace necesario desarrollar estándares de seguimiento que garanticen el correcto control y adecuado comportamiento de los procesos establecidos como críticos e importantes con anterioridad, por ende, se definen los siguientes indicadores que permitirán evaluar la efectividad del plan de mantenimiento, controlar la ejecución presupuestal y orientar las decisiones de ajuste a las revisiones periódicas del programa.

Tabla 18.

Indicadores de Control y Resultado.

Nº	Indicador	Fórmula de cálculo	Unidad	Meta de referencia	Frecuencia de medición	Fuente de datos	Interpretación / Decisión de gestión
1	Disponibilidad (D)	$D = \frac{TMBF}{(TMBF + TMTR)} \times 100$ TMBF = Tiempo Medio Entre Fallas TMTR = Tiempo Medio Para Reparar	%	≥ 90%	Mensual	Registros de paradas del sistema de gestión de producción + órdenes de trabajo correctivas	Mide el porcentaje del tiempo en que el equipo está en condiciones de operar. Una disponibilidad decreciente indica que el plan preventivo no está controlando adecuadamente las fallas. Permite priorizar los equipos con mayor impacto en la continuidad del proceso.
2	MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas)	MTBF = Tiempo total de operación / N.º de fallas Solo se cuentan las fallas que generaron parada no programada del equipo.	Horas	Tendencia creciente mes a mes	Mensual	Registros de fallas correctivas del CMMS o bitácora de mantenimiento	Indica cada cuántas horas de operación ocurre en promedio una falla. Un MTBF creciente en el tiempo confirma que el plan preventivo está reduciendo la frecuencia de fallas. Es el indicador más directo de la efectividad del mantenimiento preventivo aplicado.
3	MTTR (Tiempo Medio Para Reparar)	MTTR = Tiempo total de reparación / N.º de fallas reparadas Incluye: diagnóstico + espera de repuesto + reparación + verificación funcional.	Horas	Tendencia decreciente mes a mes	Mensual	Órdenes de trabajo correctivas con registro de hora de inicio y hora de cierre	Mide la eficiencia del equipo de mantenimiento para restablecer la operación tras una falla. Un MTTR elevado puede indicar falta de repuestos en bodega, procedimientos de reparación deficientes o insuficiencia de personal técnico. Un MTTR decreciente refleja mejora

							en la capacidad de respuesta.
4	Cumplimiento preventivo mensual (CPM)	CPM = (OT preventivas ejecutadas / OT preventivas programadas) × 100	%	≥ 90%	Mensual	Plan de mantenimiento preventivo vs. registro de OT ejecutadas en el CMMS	Mide si el programa mensual de mantenimiento preventivo se está ejecutando según lo planificado. Una caída por debajo del 90% es señal de alerta que requiere investigar la causa: falta de personal, falta de materiales, conflictos con producción o subestimación del tiempo de ejecución.
5	Cumplimiento correctivo mensual (CCM)	CCM = (OT correctivas cerradas en el mes / OT correctivas generadas en el mes) × 100 Refleja la capacidad de respuesta del equipo de mantenimiento ante fallas imprevistas.	%	≥ 85% en el mes	Mensual	Órdenes de trabajo correctivas generadas y cerradas durante el mes en el CMMS	Indica qué proporción de las fallas imprevistas del mes fueron resueltas dentro del mismo período. Un cumplimiento bajo señala acumulación de backlog correctivo que puede comprometer la disponibilidad futura de los equipos. Debe analizarse en conjunto con el indicador 6 (acumulado).
6	Cumplimiento correctivo acumulado (CCA)	CCA = (OT correctivas cerradas acumuladas / OT correctivas generadas acumuladas) × 100 Se mide desde el inicio del año o del período de vigencia del plan.	%	≥ 90% acumulado al cierre del período	Mensual (acumulado)	Órdenes de trabajo correctivas acumuladas desde el inicio del período en el CMMS	Permite visualizar si el backlog de mantenimiento correctivo está creciendo o reduciéndose en el tiempo. Una tendencia creciente del backlog acumulado indica que la capacidad correctiva del equipo de mantenimiento es insuficiente o que el plan preventivo no está controlando adecuadamente las fallas.

7	Porcentaje de mantenimiento correctivo (%C)	%C = (OT correctivas del período / OT totales del período) × 100 OT totales = preventivas + correctivas + predictivas ejecutadas en el período.	%	< 20% Meta	Mensual	Total, de órdenes de trabajo de todos los tipos ejecutadas en el período	Indica qué proporción del esfuerzo total de mantenimiento es reactivo (correctivo) frente al total de intervenciones. La meta del plan RCM es reducir este indicador progresivamente mediante el aumento del mantenimiento preventivo bien ejecutado.
8	Ejecución de presupuesto (EP)	EP = (Costo real ejecutado en el período / Presupuesto aprobado para el período) × 100 Se mide por equipo, por tipo de mantenimiento y de forma consolidada para el área.	%	Entre 90% y 110% del presupuesto	Mensual y acumulado	Sistema de costos o ERP de la empresa + órdenes de compra de materiales y repuestos	Controla si el gasto real del plan de mantenimiento está dentro del presupuesto aprobado. Una ejecución por encima del 110% requiere análisis de causa: fallas no previstas, precios de materiales superiores al estimado o subestimación de los tiempos de ejecución. Una ejecución por debajo del 90% puede indicar postergación de intervenciones que compromete la efectividad del plan.

8.Conclusiones

Se logró organizar y clasificar basados en la norma ISO 31000 los equipos críticos del área de molienda, pasando de una visión reactiva del mantenimiento a una delimitación estructurada y priorizada de los activos más relevantes del proceso. Esta selección resultó coherente con el comportamiento funcional de la molienda, ya que los equipos priorizados intervienen directamente en la clasificación granulométrica, la reducción del cereal, el transporte neumático, la dosificación de aditivos y el control del flujo de producto y aire dentro del sistema.

Aplicando la estructura metodológica y los criterios de los estándares SAE JA1011 y SAE JA1012, se construyó la matriz de funciones y fallas funcionales, lo que permitió establecer una base técnica más precisa para el análisis de fallas. Este desarrollo favoreció la identificación objetiva de la pérdida de función en cada equipo y su relación con las consecuencias en el proceso.

De acuerdo con los resultados del análisis FMEA, la severidad fue la variable con mayor peso en la priorización de los modos de falla, dado que 63 de los 72 modos asociados a los equipos evaluados y clasificados con NPR alto presentaron valores elevados en este criterio. Este resultado evidencia que, en un proceso lineal como la molienda, el riesgo no se explica principalmente por la frecuencia de ocurrencia ni por la dificultad de detección, sino por la

magnitud de las consecuencias que una falla puede generar sobre la operación, la calidad y la seguridad del proceso.

De manera complementaria, 40 modos de falla fueron clasificados como altos por aplicación de veto asociado a calidad, lo que refuerza la necesidad de proteger la inocuidad y la estabilidad del producto dentro del sistema. En consecuencia, la estrategia de mantenimiento resultante se orienta menos al seguimiento pasivo del deterioro y más a la intervención anticipada mediante tareas preventivas con frecuencias definidas, dirigidas a controlar o eliminar el modo de falla antes de que sus consecuencias se materialicen.

Se formuló un plan de mantenimiento preventivo para los modos de falla priorizados, en el que se definieron tareas por condición y por intervalo, así como sus frecuencias, responsables y criterios de intervención. Aunque el plan muestra un mayor peso de las actividades de cambio programado, también incluye inspecciones, limpiezas periódicas, calibraciones y pruebas funcionales. En conjunto, esto demuestra que la gestión preventiva en el área de molienda requiere un enfoque combinado, capaz de responder de manera más adecuada a la criticidad y al comportamiento de las fallas identificadas.

En términos generales, esta investigación permitió demostrar que el diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en criticidad y FMEA representa una herramienta válida y técnicamente coherente para intervenir los equipos críticos del área de molienda en una planta de producción de harina de trigo. El estudio no solo facilitó la priorización de riesgos y la identificación de los modos de falla más relevantes, sino que además permitió convertir estos hallazgos en acciones preventivas concretas, organizadas por equipo y acordes con la forma

en que se manifiesta el deterioro en cada activo. Como resultado, la propuesta planteada ofrece una base estructurada para minimizar la aparición de fallas y degradaciones funcionales, fortalecer la disponibilidad de los equipos, contribuir al control de la calidad del producto y mejorar la gestión de los riesgos operativos del sistema de molienda.

Referencias bibliográficas.

Álvarez Sánchez, D., & Chaves, D. M. (2017). El cultivo de trigo en Colombia: Su agonía y posible desaparición. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2).

<https://doi.org/10.22267/rcia.173402.77>

BÜHLER. (2008). *Instrucciones de servicio Cernedor plano*. www.buhlergroup.com

BÜHLER. (2011). *Manual de instrucciones Molino de cilindros*.

BÜHLER. (2016). *Piezas de recambio báscula micro-diferencial*.

BÜHLER. (2019). *Esclusa catálogo de las piezas de repuesto*.

Euro Ventilatori. (n.d.). *Ventiladores centrífugos de alta presión*.

[Https://Livecurve.Euroventilatori-Int.Com/En/Industrial-Fans/000056-High-Pressure-Apc-Apec/](https://Livecurve.Euroventilatori-Int.Com/En/Industrial-Fans/000056-High-Pressure-Apc-Apec/).

KAESER KOMPRESSOREN. (n.d.). *Rotary blowers (single block): OMEGA series*.

Mora, G. (2009). *Mantenimiento planeación, ejecución y control*. Alfaomega grupo editor.

Patton, J. (1995). *Preventive Maintenance*. (Second Edition). The International Society for Measurement and Control.

Regan, N. (2011). *The RCM Solution*. Industrial Press.

Rodríguez, D. (2023, May 12). EL PRECIO DEL PAN SE VE IMPACTADO POR LAS DINÁMICAS DE LA LOGISTICA MARÍTIMA INTERNACIONAL. *Portafolio*.

Rodríguez T, D. K. (2025). Gasto en alimentos derivados del trigo alcanzó \$25,9 billones en Colombia durante 2024 Rodríguez T, Diana K. *CE Noticias Financieras*, 2025.

SAE. (2021). *SAE JA1739 - Modos de falla potenciales y analisis de efectos (FMEA)*.

Apéndices

Apéndice A. Tabla 19.

Banco de molienda (Funciones y fallas)

N.º	Cód. FF	Tipo función	Función	Falla funcional	Clase
— FUNCIONES PRIMARIAS —					
1	1A	Primaria · Evidente	Reducir el tamaño de partícula del cereal alimentado mediante trituración o reducción, de forma continua y conforme a la condición de proceso requerida.	El molino es completamente incapaz de triturar el cereal: los cilindros trituradores no giran o no embragan, y el producto pasa sin procesar (paro total).	Total
	1B	Primaria · Evidente		El molino tritura, pero la granulometría resultante queda fuera de la especificación de la pasada correspondiente, o el caudal procesado cae por debajo del 80% del nominal.	Parcial
— FUNCIONES SECUNDARIAS —					
2	2A	Secundaria · Evidente	Detectar la presencia y cantidad de producto en la tolva de entrada mediante la celda báscula (barra de detección DMS) y enviar la señal al mando para controlar el número de revoluciones de los cilindros de alimentación entre 30 y 100 rpm (molienda) o 50 y 100 rpm (trituración), de modo que el caudal de alimentación sea proporcional al producto disponible.	El sistema de detección es completamente incapaz de detectar la presencia de producto: la celda báscula no genera señal, los cilindros de alimentación permanecen detenidos y el molino no procesa producto.	Total
	2B	Secundaria · Evidente		El sistema detecta producto pero regula incorrectamente: el número de revoluciones de los cilindros de alimentación cae por debajo del mínimo (30 rpm molienda / 50 rpm trituración) o supera el máximo establecido, o la rendija de alimentación no mantiene el paralelismo con el cilindro de alimentación (desviación > 0,3 mm en reducción / > 1 mm en trituración).	Parcial
3	3A	Secundaria · Evidente	Transmitir la potencia del motor principal a los cilindros trituradores mediante correas trapezoidales SPB y correa dentada, manteniendo la relación de desmultiplicación especificada para cada pasada.	La transmisión es completamente incapaz de transferir potencia: correa trapezoidal o dentada rota, polea de mando desmontada, o perno de cojinete de rodillo de inversión fuera de posición; los cilindros trituradores permanecen inmóviles.	Total
	3B	Secundaria · Evidente		La transmisión transfiere potencia pero de forma degradada: la frecuencia propia de la correa dentada queda fuera del rango especificado (±3 Hz del nominal), la relación de velocidad entre cilindros delantero y trasero se desvía de la desmultiplicación nominal, o la correa patina generando calentamiento inadmisibles.	Parcial

4	4A	Secundaria · Evidente	Embragar y desembragar los cilindros trituradores mediante el cilindro neumático de doble efecto, en respuesta a la señal de mando, y mantener los cilindros en posición de desembrague en caso de pérdida de presión o parada de emergencia.	El sistema neumático es completamente incapaz de embragar o desembragar los cilindros: presión de suministro < 4,5 bar, válvula de cierre cerrada, cilindro neumático bloqueado o válvula electromagnética sin alimentación eléctrica; los cilindros permanecen fijos en una posición.	Total
	4B	Secundaria · Evidente		El sistema embraga/desembraga pero con funcionamiento degradado: tiempo de respuesta > 5 s, embrague incompleto (abertura residual entre cilindros > 0 en posición embragada), o fallo en la retención de la posición de desembrague ante caída de presión (resorte de desembrague defectuoso o ausente).	Parcial
5	5A	Secundaria · Evidente	Mantener todos los dispositivos de protección física durante la operación: panelado terminal cerrado con cerrojo, cubierta superior bloqueada, protección de entrada manual a una distancia de 5–8 mm del cilindro triturador, rejilla guardamanos instalada, e interruptor de seguridad del motor de cilindros de alimentación accesible y funcional.	Uno o más dispositivos de protección física están completamente ausentes o inoperativos: panelado terminal abierto durante la operación, protección de entrada manual desmontada, interruptor de seguridad bloqueado en posición ON; el personal queda expuesto a los cilindros en rotación.	Total
	5B	Secundaria · Evidente		Los dispositivos de protección están instalados pero fuera de especificación: la distancia entre la protección de entrada manual y el cilindro es < 5 mm o > 8 mm, el cerrojo giratorio no cierra correctamente, o las marcas de seguridad no son visibles.	Parcial
6	6A	Secundaria · Evidente	Mantener el sistema de aspiración activo durante toda la operación, extrayendo el polvo arrastrado en la abertura entre cilindros (canal de aspiración bajo los cilindros para pasadas de reducción) y en la entrada de producto (tubo de aspiración interno), asegurando que la concentración de polvo en el entorno de la máquina no genere riesgo de explosión.	El sistema de aspiración está completamente inoperativo: tubo de aspiración desconectado o bloqueado, dispositivo de aspiración externo apagado; el polvo de harina se acumula libremente generando riesgo de explosión.	Total
	6B	Secundaria · Evidente		La aspiración funciona pero de forma insuficiente: caudal de aire de aspiración reducido por obstrucción parcial del tubo o chapa de aspiración, tiras de felpa desgastadas en la chapa de aspiración (pasadas de reducción), o presencia de aire falso en exceso que diluye el flujo aspirado sin eliminar el polvo.	Parcial
7	7A	Secundaria · Evidente	Mantener las cuchillas rascadoras (cilindros lisos) y los cepillos rascadores (cilindros estriados) en contacto uniforme con la superficie de los cilindros trituradores, a lo largo de toda su longitud, garantizando que no quede producto adherido en la superficie del cilindro durante la operación.	Las cuchillas/cepillos rascadores están completamente ausentes, rotos o sin contacto con el cilindro: producto se adhiere en toda la longitud del cilindro, generando formación de lámina y polvo excesivo.	Total
	7B	Secundaria · Evidente		Las cuchillas/cepillos funcionan pero de forma degradada: contacto no uniforme en alguna zona de la	Parcial

longitud del cilindro (paralelismo fuera de tolerancia), desgaste excesivo de la cuchilla por presión de contacto incorrecta, o disco de levas en contacto con chapa de seguridad en posición desembragada.

Apéndice B. Tabla 20.

Blower [Turbina] (Funciones y Fallas Funcionales).

N.º	Cód. FF	Tipo función	Función (redacción RCM)	Falla funcional	Clase
— FUNCIÓN PRIMARIA —					
1	1A	Primaria · Evidente	Transportar neumáticamente el producto molido (harina, sémola y salvado) y mantener la aspiración de polvo en suspensión generado por el proceso, suministrando la presión total y el caudal de aire necesarios para desplazar el producto desde los puntos de captación (bancos de molienda, tolvas de salida) hasta los ciclones, filtros o silos de destino, con una presión total de trabajo entre 355 y 2.550 Pa (según modelo y punto de operación), un caudal entre 600 y 15.000 m³/h.	El ventilador es completamente incapaz de transportar producto o aspirar polvo: el rodete no gira, el caudal de aire es cero; el producto molido se acumula en las líneas de transporte, los puntos de captación se saturan y el proceso harinero debe detenerse por completo.	Total
	1B	Primaria · Evidente		El ventilador transporta producto/aspira polvo, pero de forma degradada: el caudal cae por debajo del 80% del nominal o la presión total se desvía más del ±10% del punto de operación, provocando acumulación de producto en las líneas, o reducción de la capacidad de producción del molino.	Parcial
— FUNCIONES SECUNDARIAS —					
2	2A	Secundaria · Evidente	Transmitir la potencia del motor eléctrico al rodete mediante acoplamiento directo (junta semielástica) o transmisión por correas trapezoidales, eliminando los esfuerzos axiales y radiales sobre los apoyos del motor, manteniendo} la alineación entre ejes dentro de las tolerancias del fabricante (desalineación angular < 0,5° y desalineación radial < 0,1 mm) para garantizar una vida útil de rodamientos superior a 20.000 horas de operación.	La transmisión es completamente incapaz de transferir potencia al rodete: junta semielástica rota, correa trapezoidal rota o fuera de las poleas, chaveta de acoplamiento cizallada; el rodete permanece inmóvil aunque el motor gire.	Total
	2B	Secundaria · Evidente		La transmisión transfiere potencia pero de forma degradada: desalineación entre ejes superior a tolerancia (vibración > 4,5 mm/s RMS según ISO 10816), deslizamiento de correa trapezoidal con pérdida de velocidad del rodete > 5% respecto al nominal, o calentamiento excesivo del acoplamiento (> 70 °C en la superficie de la junta).	Parcial
3	3A	Secundaria · Evidente	Soportar el conjunto giratorio (rodete + eje) mediante rodamientos de bolas o rodillos, manteniendo la	Los rodamientos son completamente incapaces de soportar el conjunto giratorio: fallo catastrófico de	Total

4	3B	Secundaria · Evidente	vibración global del ventilador dentro de la zona A/B de la norma ISO 10816 (< 4,5 mm/s RMS para máquinas de potencia > 15 kW) y la temperatura de los rodamientos por debajo de 80 °C en operación continua, con lubricación adecuada (grasa o aceite según especificación del fabricante de rodamientos).	rodamiento (gripado, fractura de jaula o pista), el ventilador se detiene y puede causar daño estructural al eje o la voluta.	Parcial
				Los rodamientos funcionan pero de forma degradada: vibración global supera zona B (> 4,5 mm/s RMS) o temperatura de rodamiento supera 80 °C de forma sostenida, indicando inicio de deterioro; el ventilador puede seguir operando a corto plazo pero con riesgo de fallo inminente.	
	4A	Secundaria · Oculta	Mantener el equilibrado dinámico del rodete de álabes invertidos de alta eficiencia dentro de la clase de equilibrado G2.5 (según ISO 21940), garantizando que el desbalance residual no genere fuerzas dinámicas que superen las admisibles por los rodamientos.	El rodete presenta desequilibrio dinámico severo no detectado durante la operación normal (falla oculta): acumulación asimétrica de harina o salvado en los álabes, corrosión localizada o pérdida de material; la vibración resultante supera los límites sin que el operador lo identifique hasta que se produce fallo de rodamiento o daño estructural.	Total
	4B	Secundaria · Oculta		El rodete presenta desequilibrio dinámico incipiente no detectado: acumulación leve y no uniforme de producto en álabes o inicio de erosión; la vibración supera zona A (> 2,8 mm/s RMS) pero no ha alcanzado zona B, condición que puede no ser evidente para el operador sin instrumentación de medición continua.	Parcial
5	5A	Secundaria · Evidente	Mantener todas las protecciones de seguridad operativas durante el funcionamiento: guardas de la transmisión (correas/acoplamiento) instaladas y fijadas, dispositivo de enclavamiento eléctrico (parada de emergencia) operativo, señalización de seguridad visible en la máquina, y cumplimiento de la Directiva de Máquinas 89/392/CEE (certificación CE vigente).	Uno o más dispositivos de protección están completamente ausentes o inoperativos durante la operación: guarda de transmisión desmontada, interruptor de emergencia bloqueado o sin alimentación; el personal queda expuesto a partes girantes (rodete, eje, transmisión) sin protección.	Total
	5B	Secundaria · Evidente		Las protecciones están instaladas pero con funcionamiento degradado: guarda de transmisión con fijación floja o parcialmente desmontada, señalización de peligro ilegible o deteriorada, o dispositivo de emergencia con tiempo de respuesta superior al especificado.	Parcial
6	6A	Secundaria · Evidente	Operar con un nivel de presión sonora conforme a las especificaciones del modelo (nivel de potencia acústica Lw dentro de los límites de la directiva ErP 2009/125/CE, objetivo Ntarget = 64 para ventiladores de álabes invertidos según Reglamento UE N.327/2011), manteniéndolo estable durante toda la	El ventilador genera ruido que supera completamente los límites admisibles: incremento súbito de nivel sonoro > 10 dB(A) respecto al valor de referencia, generado por contacto metal-metal (rodete rozando voluta), fallo de rodamiento avanzado o turbulencia severa por obstrucción total de la aspiración; requiere parada inmediata.	Total

6B	Secundaria · Evidente	vida útil del equipo sin incrementos superiores a 3 dB(A) respecto al valor de puesta en servicio.	El ventilador genera ruido por encima del nivel de referencia, pero sin llegar a la condición de fallo inmediato: incremento sostenido de 3–10 dB(A) atribuible a desequilibrio del rodete, deterioro incipiente de rodamientos, turbulencia por obstrucción parcial de la entrada o resonancia estructural.	Parcial
----	--------------------------	--	--	---------

Apéndice C. Tabla 21.

Micro dosificador (Funciones y Fallas Funcionales).

N.º	Cód. FF	Tipo función	Función	Falla funcional	Clase
— FUNCIÓN PRIMARIA —					
1	1A	Primaria · Evidente	Dosificar gravimétrica y continuamente material a granel (aditivos o ingredientes menores en polvo de fluidez ligero-media) hacia el proceso de molienda, dentro del rango de caudal configurado (0,75–36 l/h según velocidad de polea), con una precisión de ±2 g sobre la señal de peso indicada por el mando, en condiciones de temperatura ambiente entre -10 y +50 °C y vibración de entorno inferior a 0,1 g a frecuencias superiores a 25 Hz.	El dosificador no suministra producto: el tornillo sin fin no gira, el caudal de salida es cero, el depósito pulmón contiene producto y la señal de marcha del mando MEAG (DIFF) está activa.	Total
	1B	Primaria · Evidente		El dosificador suministra producto pero el caudal real cae por debajo del límite inferior configurado para la velocidad seleccionada o precisión gravimétrica, comprometiendo la proporción de la mezcla o impidiendo confirmar el caudal real dosificado.	Parcial
	1C	Primaria · Evidente		El dosificador suministra producto en exceso: el caudal real supera el límite superior configurado para la velocidad seleccionada, generando sobredosificación del aditivo con impacto en la calidad del producto final.	Parcial
— FUNCIONES SECUNDARIAS —					

2	2A	Secundaria · Evidente	Contener el producto a granel dentro del depósito pulmón, el recipiente de extracción y la canalización de salida (manguito de goma), evitando derrames o fugas al entorno durante la operación normal y las paradas, sin pérdida perceptible de producto fuera del sistema de dosificación.	Derrame masivo de producto al entorno: rotura o desprendimiento del manguito de goma de salida, fractura del recipiente de extracción o desprendimiento del depósito pulmón. La contención es completamente nula.	Total
	2B	Secundaria · Evidente		Fuga de producto en cantidad perceptible por grietas, juntas deterioradas o sellado deficiente en el manguito de goma, sin llegar a derrame total. Pérdida de producto y riesgo de contaminación del entorno.	Parcial
3	3A	Secundaria · Evidente	Medir y transmitir continuamente la señal de peso del contenido del recipiente de báscula al mando universal MEAG (DIFF), con una resolución de ± 2 g y sin rozamiento mecánico entre el sistema de pesaje y las estructuras fijas, para permitir el control automático del caudal dosificado.	La celda de carga no transmite señal de peso al mando MEAG (DIFF): fallo eléctrico, daño de la celda o cable desconectado. No hay control de caudal	Total
	3B	Secundaria · Evidente		La señal de peso presenta error sistemático o variación continua sin causa identificable en el proceso, no hay dosificación precisa.	Parcial
	3C	Secundaria · Evidente		La señal de peso es inestable o ruidosa por rozamiento mecánico del sistema de transmisión, vibración de entorno excesiva.	Parcial
4	4A	Secundaria · Evidente	Transmitir el torque del motor-reductor al tornillo sin fin dosificador a través del accionamiento de correa dentada y el acoplamiento de deslizamiento, manteniendo la velocidad de giro seleccionada sin patinamiento ni rotura de correa durante la operación continua, con una vida útil de correa superior a los intervalos de mantenimiento semestral.	No se transmite potencia al tornillo sin fin: tensión de correa insuficiente, rotura de la misma, poleas dentadas presentan desgaste. El tornillo permanece inmóvil aunque el motor gire. Dosificación completamente detenida.	Total
	4B	Secundaria · Evidente		Transmisión con patinamiento del acoplamiento de deslizamiento: la velocidad real del tornillo sin fin es 0 o inferior a la requerida por la relación de transmisión configurada, reduciendo el caudal dosificado por debajo del estándar sin activar alarma inmediata.	Parcial
5	5A	Secundaria · Evidente	Iniciar y detener el proceso de dosificación de forma segura y controlada mediante las señales del mando universal MEAG (DIFF), garantizando que el tornillo sin fin y el aspa arrancan y se detienen en el sentido de giro correcto (sentido horario en ambos casos) sin generar alarmas no justificadas ni demoras superiores a las especificadas por el fabricante.	El equipo no responde a la señal de arranque del mando MEAG (DIFF): el motor-reductor no energiza y la dosificación no se inicia. Parada total de la función de dosificación.	Total
	5B	Secundaria · Evidente		El equipo no responde a la señal de parada del mando MEAG (DIFF): continúa dosificando sin control después de recibir el comando de detención. Riesgo de sobredosificación y falla de seguridad.	Total
	5C	Secundaria · Evidente		El equipo arranca pero genera alarmas o señales de error en el mando MEAG (DIFF) que interrumpen el proceso antes de completar el ciclo de dosificación requerido, sin causa real identificada en el proceso.	Parcial

Apéndice D. Tabla 22.*Soplante (Funciones y Fallas Funcionales).*

Soplante (Funciones y Fallas Funcionales).					
N.º	Cód. FF	Tipo de función	Función	Falla funcional	Clase
— FUNCIÓN PRIMARIA —					
1	1A	Primaria · Evidente	Transportar neumáticamente la materia prima a través del sistema asignado con la capacidad requerida (100 m3/h - 1700 m3/h) continuamente durante la operación normal del proceso productivo.	Incapaz de transportar neumáticamente la materia prima a través del sistema asignado durante la operación normal.	Total
	1B	Primaria · Evidente		Transporta la materia prima, pero con capacidad inferior a la requerida por el proceso.	
	1C	Primaria · Evidente		Transporta la materia prima, pero con inestabilidad que impide mantener el desempeño aceptable del proceso.	
— FUNCIONES SECUNDARIAS —					
2	2A	Secundaria · Evidente	Suministrar aire comprimido libre de aceite, sin pulsaciones, a la red de proceso, con una presión efectiva nominal de hasta 1,2 bar (17,4 psi) y capacidad adaptada por el VSD a la demanda.	El soplante no entrega caudal de aire: el motor no arranca o el VSD bloquea la salida, la presión en la red cae a cero y la señal de funcionamiento en el panel no se activa.	Total
	2B	Secundaria · Evidente		El soplante entrega aire, pero la presión efectiva en la red cae por debajo del mínimo operable (4,4 psi / 0,3 bar), comprometiendo el proceso de transporte o dosificación aguas abajo.	
	2C	Secundaria · Evidente		El soplante opera, pero la presión supera el límite máximo de 1,2 bar (21,8 psi nominal), activando la válvula de seguridad/venteo (SV/BLV) de forma continua.	Parcial
3	3A	Secundaria · Evidente	Lubricar y refrigerar los engranajes y rodamientos del elemento del soplante mediante circulación forzada de aceite, manteniendo la presión de aceite en y la temperatura en condiciones de referencia.	La presión de aceite cae por debajo del valor nominal: El filtro está obstruido o el nivel es insuficiente. El sistema genera parada por alarma.	Total
	3B	Secundaria · Evidente		La temperatura del aceite supera el nivel nominal por flujo de refrigeración insuficiente o ajuste incorrecto del umbral de parada, reduciendo la capacidad lubricante y acelerando el desgaste de engranajes y rodamientos.	
4	4A	Secundaria · Evidente	Disipar el calor generado por compresión y fricción mecánica mediante el refrigerador de aceite por aire, manteniendo la temperatura de salida de aire en 98 °C y el aceite dentro del rango operativo.	El ventilador del refrigerador de aceite no gira o se detiene: la temperatura del aceite escala sin control, supera el nivel de parada por alarma del controlador y provoca la detención automática de la unidad.	Total
	4B	Secundaria · Evidente		El bloque refrigerador presenta incrustaciones o suciedad que reducen la transferencia de calor, incrementando la temperatura de salida de aire por encima de 98 °C sin alcanzar el nivel de parada por alarma, degradando gradualmente la eficiencia del sistema y las propiedades del aceite refrigerante.	

5	5A	Secundaria · Evidente	Retener partículas sólidas y contaminantes del aire de proceso antes de su ingreso al elemento del soplante, mediante el filtro de aire, garantizando aire de proceso libre de contaminación sólida.	El filtro de aire está completamente obstruido: la caída de presión en la admisión supera el límite, el soplante no puede aspirar el caudal requerido y la producción se interrumpe.	Total
	5B	Secundaria · Oculta		El filtro de aire presenta obstrucción parcial no detectada: la caída de presión en la admisión aumenta progresivamente sin activar alarma, reduciendo el caudal entregado y aumentando el consumo energético del motor VSD.	
6	6A	Primaria · Evidente	Adaptar continuamente la velocidad del motor de accionamiento (entre 1 000 y 3 909 rpm) mediante el VSD y el controlador, para mantener la presión de la red en el punto de ajuste configurado, minimizando el consumo energético.	El VSD pierde comunicación con el controlador o genera el fallo de convertidor: la velocidad del motor no puede regularse, la soplante se detiene o funciona a velocidad fija fuera del punto de ajuste.	Total
	6B	Primaria · Evidente		El motor VSD opera pero no puede reducir la velocidad por debajo del mínimo configurado (1 000 rpm), generando presión fuera del punto de ajuste y ciclos continuos de carga/descarga que incrementan el desgaste mecánico.	
7	7A	Secundaria · Evidente	Contener el aire comprimido y el aceite dentro del sistema durante la operación normal y las paradas, evitando fugas al entorno que generen riesgos al personal, contaminación del producto o pérdida de presión en la red.	Rotura o desprendimiento de mangueras internas de conexión generando pérdida masiva de presión o aceite, riesgo de golpe de látigo y parada inmediata de la unidad. La contención es completamente nula.	Total
	7B	Secundaria · Evidente		Fuga de aceite visible por juntas deterioradas del cárter (SG) o del filtro de aceite (OF), sin alcanzar derrame total: pérdida gradual de nivel, riesgo de contaminación del producto final de harina y degradación de la lubricación.	

Apéndice E. Tabla 23.

Esclusa – Válvula rotativa (Funciones y Fallas Funcionales).

N.º	Cód. FF	Tipo función	Función	Falla funcional	Clase
— FUNCIÓN PRIMARIA —					
1	1A	Primaria · Evidente	Transferir uniformemente el producto entre dos espacios sometidos a diferente presión, a una capacidad volumétrica de hasta 15 L/rev, a una velocidad máxima de 45 rpm.	Incapaz de actuar como válvula rotativa: el rotor no gira o se encuentra bloqueado, el paso de material es nulo, colapsando el sistema neumático aguas abajo.	Total
	1B	Primaria · Evidente		Actúa como válvula rotativa, pero con capacidad volumétrica por debajo del nominal del modelo instalado, comprometiendo el balance de masa del pasaje de molienda correspondiente.	
— FUNCIONES SECUNDARIAS —					

2	2A	Secundaria · Evidente	Contener el material sólido del pasaje de molienda dentro del cuerpo de la válvula rotativa durante la transferencia, sin permitir fuga alguna de producto al exterior, bajo cualquier condición de operación normal. (Cuerpo, bridas y sellos — contención absoluta)	Incapaz de contener el material: permite fuga visible de producto al exterior por el cuerpo, bridas o sellos en cualquier cantidad. Función de contención absoluta — cualquier fuga constituye falla, independientemente del pasaje de molienda en operación.	Total
3	3A	Secundaria · Evidente		Incapaz de transmitir movimiento al rotor: velocidad de giro = 0 rpm con el motorreductor energizado.	Total
	3B	Secundaria · Evidente		Transmite movimiento, pero con velocidad irregular o fuera del rango del valor nominal requerido, alterando la dosificación volumétrica del material.	
4	4A	Secundaria · Evidente*	Mantener el eje del rotor correctamente alineado y soportado dentro de los flanges portar rodamientos, permitiendo la rotación libre y sin rozamientos anormales durante toda la jornada operativa. (Rodamientos sellados — alojamientos en buen estado rodamientos)	Soporta el eje pero con vibración o ruido anormal audible en los alojamientos de los rodamientos durante la operación (etapa incipiente — puede comportarse como falla oculta sin monitoreo de condición).	Parcial
	4B	Secundaria · Evidente*		Incapaz de soportar el eje del rotor: bloqueo o resistencia severa al giro, temperatura superficial del flange fuera del rango operativo de los rodamientos sellados instalados.	
5	5A	Secundaria · Evidente	Permitir la inspección visual del flujo de material al interior de la válvula rotativa en cualquier momento durante la operación, sin necesidad de detener o desmontar el equipo. (Visor — sight glass)	Incapaz de permitir la inspección visual del interior de la válvula rotativa: visor roto, opaco o ausente.	Total

Apéndice F. Tabla 24.

FMEA Cernedor.

Equipo	Cód. FF	Modo de falla	Efecto resumido	Categoría de consecuencia	S	O	D	NPR	Regla de veto	Prioridad
Cernedor	1A	El cernedor entra en paro funcional por cegamiento severo de las mallas debido a acumulación compactada de producto húmedo o pegajoso.	Se bloquea el área útil de tamizado y el cernedor detiene la clasificación. Aumenta la recirculación y puede requerirse paro para limpieza correctiva.	Operacional	7	4	6	168	No	Media
Cernedor	1A	Desgaste progresivo del tejido de tamiz (malla) por abrasión del producto molido, reduciendo la apertura efectiva de la malla por debajo del valor nominal del esquema de bastidores.	La malla pierde condición de clasificación y mezcla fracciones granulométricas. El producto queda fuera de especificación y puede requerir reproceso o rechazo.	Operacional	8	5	3	120	Veto C	Alta
Cernedor	1B	Rotura puntual del tejido de tamiz (apertura de un orificio) por fatiga de la malla o impacto de cuerpo extraño.	Se contaminan fracciones inferiores con partículas de mayor tamaño. El pasaje puede quedar fuera de	Operacional	8	5	2	80	Veto C	Alta

			especificación y comprometer calidad e inocuidad.							
Cernedor	2A	Rotura del eje de la masa centrífuga (excéntrico) por fatiga de alto ciclo debido a desbalance acumulado no corregido.	Se pierde totalmente el movimiento giro planar y el cernedor se detiene bruscamente. Puede haber daño secundario y riesgo por proyección de fragmentos.	Seguridad-MA	9	2	7	126	Veto S	Alta
Cernedor	2A	Bloqueo mecánico del eje de la masa centrífuga por falta de lubricación en rodamientos o ingreso de harina en los mismos por daño en retenedores	Se pierde totalmente el movimiento giro planar y el cernedor se detiene bruscamente. Fuerte olor a quemado.	Operacional	8	4	7	224	No aplica	Alta
Cernedor	2A	Falla del motor eléctrico de accionamiento por sobrecarga térmica debida a polvo de harina acumulado en el bobinado o rodamientos del motor	Se pierde totalmente el movimiento giro planar y el cernedor se detiene bruscamente. Fuerte olor a quemado.	Operacional	8	4	7	224	No aplica	Alta
Cernedor	2A	Aflojamiento y pérdida total de la correa trapezoidal dentada durante la operación por tensión insuficiente o desgaste del perfil dentado.	Se interrumpe la transmisión y el cernedor queda sin movimiento. Se genera paro no programado con pérdida directa de capacidad de tamizado.	Operacional	8	5	5	200	No	Alta
Cernedor	2B	Desgaste del perfil dentado de la correa trapezoidal que reduce la eficiencia de transmisión, resultando en deslizamiento y caída de rpm por debajo de 250 rpm.	Disminuye la velocidad de trabajo y cae la eficiencia de separación. Se afecta la pureza granulométrica y la capacidad del cernedor.	Operacional	7	5	5	175	Veto C	Alta
Cernedor	2B	Desbalance de la masa centrífuga por pérdida parcial de contrapesos o acumulación asimétrica de producto en el excéntrico.	La oscilación se vuelve irregular y la carrera sale de tolerancia. Se reduce la eficiencia de clasificación y aumenta el esfuerzo estructural.	Operacional	7	1	7	49	No	Baja
Cernedor	3A	Desgaste excesivo de los limpiadores de plástico por abrasión continua del producto molido, reduciendo su capacidad de despejar las mallas.	Las mallas se obstruyen progresivamente y cae el área efectiva de tamizado. Se reduce la capacidad y puede afectarse la calidad del producto.	Operacional	7	6	6	252	Veto C	Alta
Cernedor	3A	Fractura o desalojo del limpiador de plástico dentro del bastidor de tamiz, con posible migración de fragmentos al pasaje de producto.	Se genera obstrucción localizada y posible contaminación física del producto. Puede requerirse parada inmediata para inspección y limpieza.	Operacional	8	3	3	72	Veto C	Alta
Cernedor	4A	Rotura de una o más varillas de suspensión por fatiga de alto ciclo acumulada por vibración continua de operación.	La carcasa pierde aislamiento dinámico y entra en vibración incontrolada. Existe riesgo de daño estructural y lesión al personal.	Seguridad-MA	9	2	4	72	Veto S	Alta

Cernedor	4A	Desprendimiento del anclaje superior o inferior de la varilla de suspensión por corrosión del perno de fijación o fatiga de la soldadura de la placa de anclaje.	Se libera un punto de soporte y la vibración se transmite a la estructura. Puede haber oscilación incontrolada y proyección de componentes.	Seguridad-MA	9	2	5	90	Veto S	Alta
Cernedor	4B	Pérdida de tensión (precarga) en la varilla de suspensión por relajación de la tuerca de ajuste o deformación plástica progresiva de la varilla.	La carcasa pierde horizontalidad y oscila fuera de tolerancia. Se deteriora el tamizado y se acelera el desgaste interno.	Operacional	6	2	5	60	No	Baja
Cernedor	5A	Falla del sensor de control de marcha concéntrica por daño eléctrico, contaminación con polvo de harina o derivación del circuito.	La protección queda ciega ante vibración anormal y no dispara alarma ni paro. La falla solo se detecta mediante prueba funcional periódica.	Oculto	7	3	9	189	Veto O	Alta
Cernedor	6A	Desgaste de los rodamientos del excéntrico que genera ruido estructural superior a 70 dB(A) en el entorno inmediato de la máquina.	Aumenta el ruido y se evidencia degradación mecánica del excéntrico. Se afecta el ambiente de trabajo y la condición de operación segura.	Seguridad-MA	8	4	4	128	No	Media
Cernedor	6A	Holgura mecánica en las uniones atornilladas de los marcos de los bastidores de tamiz que genera impactos y ruido estructural >70 dB(A).	Se incrementan el ruido y la vibración estructural durante la operación. La holgura acelera desgaste y puede derivar en contaminación física.	Seguridad-MA	8	5	4	160	No	Media
Cernedor	7A	Relajación de la tensión del sistema de sujeción de la pila de tamices por vibración continua o fluencia del material de sellado.	Los tamices adquieren holgura y mezclan fracciones sin señal evidente en operación. La falla se detecta solo en inspección interna programada.	Oculto	7	5	9	315	Veto O / Veto C	Alta
Cernedor	7A	Corrosión o fractura del elemento de sujeción de la pila de tamices por exposición a humedad del ambiente de molienda.	La pila pierde sujeción y puede desplazarse durante la operación. Existe riesgo de contaminación física y deterioro interno del módulo.	Oculto	9	2	9	162	Veto S / Veto O / Veto C	Alta

Apéndice G. Tabla 25.

Banco de Molienda.

Equipo	Cód. FF	Modo de falla	Efecto resumido	Categoría de consecuencia	S	O	D	NPR	Regla de veto	Prioridad
Banco de Molienda	1A	Desgaste severo del perfil de estrías de cilindros trituradores (abrasión acumulada)	Cilindros sin acción de molienda; cereal pasa sin reducción granulométrica.	Operacional	8	4	4	128	Veto C	Alta

	1A	Rotura del cilindro triturador por impacto de cuerpo extraño duro (piedra, metal)	Cilindro fracturado; fragmentos metálicos en cámara de molienda con daño catastrófico a cilindro opuesto y rodamientos.	Seguridad	7	2	1	14	Veto C.	Alta
	1A	Bloqueo de los rodamientos de los cilindros trituradores por falta de lubricación o contaminación con polvo de harina compactado, impidiendo la rotación de los cilindros	Rodamiento frenado; disparo del relé térmico; molino detenido. Riesgo de incendio por recalentamiento en ambiente con polvo inflamable.	Seguridad	9	3	4	108	Veto S	Alta
	1A	Falla del motor eléctrico de accionamiento por sobrecarga térmica debida a polvo de harina acumulado en el bobinado o rodamientos del motor	Se pierde totalmente la rotación de los cilindros de forma brusca. Fuerte olor a quemado.	Operacional	8	4	7	224	No aplica	Alta
	1B	El banco de molienda deja de triturar porque los cilindros trituradores no giran por pérdida total de transmisión de potencia.	Los cilindros quedan inmóviles y el producto atraviesa el banco sin reducción.	Operacional	8	5	5	200	Veto C	Alta
Banco de Molienda	2A	Rotura de galga extensométrica de celda báscula DMS (sobrecarga, fatiga, humedad)	Señal nula al controlador; cilindros de alimentación detenidos sin importar el nivel de producto.	Operacional	7	4	5	140	No aplica	Media
	2A	Falla del controlador electrónico de velocidad de cilindros de alimentación	Señal de mando interrumpida; cilindros sin control proporcional de velocidad.	Operacional	7	3	3	63	No aplica	Baja
	2B	Regulación incorrecta de alimentación por falla en calibración de celda báscula DMS por residuo de harina o humedad	Señal incorrecta al mando; velocidad de alimentación fuera del rango especificado. Subcarga o sobrecarga del molino.	Operacional	7	5	5	175	Veto C	Alta
	2B	Desgaste del mecanismo de ajuste del paralelismo de la rendija de alimentación	Rendija no paralela; distribución asimétrica del producto a lo largo del cilindro.	Operacional	7	4	6	168	Veto C	Alta
Banco de Molienda	3A	Rotura o desgaste de correa trapezoidal SPB de transmisión principal (fatiga, sobrecarga)	Transmisión de potencia interrumpida; cilindros trituradores detenidos.	Operacional	8	8	3	192	Veto C	Alta
	3A	Rotura o desgaste de correa dentada de transmisión diferencial entre cilindros	Pérdida de velocidad diferencial; cilindro trasero sin acción de cizalla. Cereal pasa sin procesar	Operacional	8	4	3	96	Veto C	Alta
	3A	Falla del perno o cojinete del rodillo de inversión de la correa dentada	Correa dentada sin guía; salida de trayectoria o rotura por acumulación.	Operacional	8	3	4	96	Veto C	Alta

Banco de Molienda	4A	Fuga severa en cilindro neumático o línea de suministro; presión < 4,5 bar	Actuador sin fuerza efectiva; cilindros bloqueados en posición actual. Si ocurre en posición embragada: imposibilidad de separación de emergencia	Seguridad	9	5	3	135	Veto S	Alta
	4A	Falla de la válvula electromagnética (solenoides) del circuito neumático de embrague	Señal de mando no ejecutada; cilindros bloqueados en posición fija. En posición embragada: imposibilidad de separación en emergencia	Seguridad	9	5	3	135	Veto S	Alta
	4B	Deterioro del resorte de retorno de desembrague; fallo en posición de seguridad ante caída de presión	Resorte sin fuerza suficiente; cilindros tienden a cerrarse por gravedad ante pérdida de presión.	Seguridad	8	1	5	40	No aplica	Baja
	4B	Desgaste de sellos dinámicos del cilindro neumático; tiempo de respuesta > 5 s	Fuerza de actuación reducida; embrague incompleto con abertura residual entre cilindros	Operacional	7	5	4	140	Veto C	Alta
Banco de Molienda	5A	Apertura o remoción del panelado terminal durante la operación	Zona de cilindros en rotación sin barrera física; personal expuesto directamente.	Seguridad	10	3	2	60	Veto S	Alta
	5A	Falla del interruptor de seguridad (parada de emergencia) del motor de cilindros de alimentación	Imposibilidad de bloqueo energético seguro; motor puede energizarse durante mantenimiento.	Seguridad	10	2	3	60	Veto S	Alta
	5B	Desgaste del cerrojo giratorio del panelado terminal; cierre incorrecto con holgura	Panelado sin sujeción positiva; riesgo de apertura accidental por vibración del molino.	Seguridad	8	5	3	120	Veto S	Alta
Banco de Molienda	6A	Obstrucción total del tubo de aspiración interno por harina compactada o cuerpo extraño	Flujo de extracción nulo; polvo de harina acumulado libremente en la cámara y entorno. Riesgo de explosión de polvo	Seguridad	10	3	3	90	Veto S	Alta
	6B	Obstrucción parcial del canal de aspiración inferior por acumulación de producto fino	Flujo reducido en zona de mayor generación de polvo; acumulación gradual en la cámara.	Seguridad	8	5	5	200	No aplica	Alta
	7B	Desgaste parcial no uniforme de cuchilla rascadora por presión de contacto incorrecta	El producto se adhiere a la superficie del cilindro y forma lámina, genera diferencia de espacio de laminación, afectación a calidad.	Operacional	7	5	5	175	Veto C	Alta

Apéndice H. Tabla 26.

FMEA Blower.

Equipo	Cód. FF	Modo de falla	Efecto resumido	Categoría de consecuencia	S	O	D	NPR	Regla de veto	Prioridad
Blower (Turbina)	1A	Falla del motor eléctrico de accionamiento (sobrecarga térmica, cortocircuito, fallo del variador, daño en rodamientos)	Motor detenido; rodete inmóvil; caudal de aire cero. Saturación de líneas de transporte; riesgo de acumulación de polvo inflamable.	Operacional	9	4	5	180	No aplica	Alta
	1A	Rotura catastrófica del rodete por fatiga, corrosión severa o impacto de cuerpo extraño	Rodete fracturado; daño catastrófico a voluta y rodamientos. Riesgo de lesión grave por proyección de fragmentos.	Seguridad	10	2	2	40	Veto S + Veto C	Alta
	1A	Obstrucción total de tubería de aspiración o descarga por producto compactado o cuerpo extraño	Caudal de transporte nulo; ventilador opera fuera de su curva con riesgo de sobrecalentamiento.	Seguridad	9	3	4	108	Veto S	Alta
	1B	Fuga de aire en juntas, bridas o conductos del sistema de transporte neumático	Pérdida de presión diferencial; caudal efectivo por debajo del nominal. Escape de polvo de harina al ambiente con riesgo de explosión en zona confinada.	Seguridad	8	5	4	160	Veto S	Alta
	2A	Rotura de correa trapezoidal de transmisión por fatiga o desalineación de poleas	Transmisión interrumpida; rodete inmóvil; caudal de aire cero. Paro total del transporte	Operacional	7	5	3	105	No aplica	Media
	2A	Cizallamiento de la chaveta de acoplamiento por sobre torque transitorio o falta de ajuste	Transmisión de par torsional interrumpida; rodete inmóvil o girando libremente. Paro total de la función; daño potencial al chavetero	Operacional	7	3	4	84	No aplica	Media
	2B	Desalineación progresiva entre ejes motor-rodete por deformación de bancada o pernos aflojados	Fuerzas radiales/axiales excesivas en rodamientos; vibración y temperatura elevada. Desgaste acelerado de rodamientos; reducción de vida útil.	Operacional	8	4	5	160	No aplica	Media
	2B	Deslizamiento de correa trapezoidal por tensión insuficiente o desgaste del perfil en V	Velocidad del rodete reducida; calentamiento de la correa por fricción. Transporte neumático degradado; riesgo de rotura de correa; olor a goma quemada en sala de molienda.	Operacional	6	5	4	120	No aplica	Media
Blower (Turbina)	3A	Gripado del rodamiento por lubricación insuficiente o contaminación con polvo de harina	Rodamiento bloqueado; paro de emergencia del ventilador; posible daño al eje. Riesgo de incendio por recalentamiento en ambiente con polvo inflamable; quemadura grave al operador.	Seguridad	9	3	4	108	Veto S	Alta

	3A	Fractura de jaula o pista del rodamiento por fatiga de alto ciclo (desbalance, desalineación)	Rodamiento con integridad comprometida; paro brusco con daño al eje, alojamiento y voluta.	Operacional	9	3	4	108	No aplica	Alta
	3B	Desgaste adhesivo/erosivo del rodamiento por contaminación del lubricante con polvo de harina	Lubricante contaminado; abrasión de elementos rodantes; vibración y temperatura elevadas. Degradación progresiva.	Operacional	7	5	4	140	No aplica	Media
	3B	Lubricación insuficiente del rodamiento por intervalo de re-engrase vencido o cantidad incorrecta	Película lubricante insuficiente; incremento de fricción; temperatura elevada sostenida. Riesgo de incendio.	Seguridad	8	5	4	160	Veto S	Alta
Blower (Turbina)	4A	Acumulación asimétrica de harina o salvado húmedo en álabes; desequilibrio dinámico severo oculto	Vibración global sin detección visual; cargas dinámicas sobre rodamientos superiores a las admisibles. Falla oculta	Oculto	7	4	8	224	Veto O	Alta
	4A	Pérdida de material del álabe por corrosión o erosión severa; desequilibrio dinámico severo oculto	Centro de masa del rodete desplazado; fuerzas dinámicas en rodamientos superiores a las admisibles. Falla oculta con idénticas consecuencias	Oculto	7	3	8	168	Veto O	Alta
	4B	Acumulación leve no uniforme de producto en álabes; vibración en zona A (2,8–4,5 mm/s RMS) oculta	Desequilibrio incipiente no evidente sin instrumentación; deterioro prematuro de rodamientos. Falla oculta parcial:	Oculto	7	5	8	280	Veto O	Alta
Blower (Turbina)	5A	Remoción de la guarda de la transmisión durante la operación o sin restaurar tras mantenimiento	Partes girantes sin barrera física. Riesgo de atrapamiento, consecuencia potencial: muerte o lesión permanente.	Seguridad	10	3	2	60	Veto S	Alta
	5A	Falla del interruptor de emergencia (daño mecánico, corrosión de contactos o bloqueado en ON)	Interruptor inoperativo; imposibilidad de corte de emergencia del suministro eléctrico al motor.	Seguridad	10	2	3	60	Veto S	Alta
	5B	Aflojamiento de la fijación de la guarda de la transmisión por vibración de la máquina	Guarda con holgura; riesgo de apertura accidental por vibración del ventilador. Posible contacto accidental del personal con la transmisión en rotación;	Seguridad	8	5	3	120	No aplica	Media
	5B	Deterioro o ilegibilidad de la señalización de peligro por polvo de harina, humedad o daño físico	Información de seguridad no disponible para el personal operador o de mantenimiento mayor riesgo de accidente para personal nuevo.	Seguridad	6	4	3	72	No aplica	Baja
Blower (Turbina)	6A	Contacto del rodete con la voluta por deformación de bancada o desgaste excesivo de rodamientos	Rozamiento metal-metal; nivel sonoro con incremento súbito; daño severo a rodete y voluta. Riesgo de incendio por fricción en ambiente con polvo inflamable;	Seguridad	10	2	1	20	Veto S	Alta

6A	Obstrucción total de la entrada de aspiración; turbulencia severa y nivel sonoro	Caudal de transporte nulo. Riesgo de explosión de polvo; motor en sobrecarga; riesgo de daño auditivo al personal expuesto.	Seguridad	9	2	3	54	Veto S	Alta
6B	Desequilibrio dinámico del rodete generando incremento sostenido de presión sonora	Vibración estructural y emisión sonora elevada. Exposición ocupacional al ruido; deterioro progresivo de rodamientos	Operacional	7	6	4	168	No aplica	Media
6B	Deterioro incipiente de rodamientos; ruido de rodadura con incremento de presión sonora	Componentes de alta frecuencia asociados a defecto de rodamiento. Exposición ocupacional aumentada; indicador de deterioro inminente del rodamiento.	Operacional	7	5	4	140	No aplica	Media

Apéndice I. Tabla 27.

FMEA Micro Dosificador.

Equipo	Cód. FF	Modo de falla	Efecto resumido	Categoría de consecuencia	S	O	D	NPR	Regla de veto	Prioridad
Micro dosificador	1A	Falla del motorreductor por sobrecarga eléctrica, devanado quemado, fallo del variador MEAG o rodamientos del motorreductor	Motorreductor detenido; tornillo sin fin y aspa sin movimiento; caudal de dosificación cero. El proceso harinero no recibe el aditivo.	Operacional	8	3	3	72	Veto C	Alta
	1A	Bloqueo mecánico del tornillo sin fin por compactación o apelmazamiento del producto a granel	Tornillo bloqueado; sobrecarga del motorreductor; disparo del relé térmico; caudal cero. Daño potencial al motor y al acoplamiento; la causa raíz debe resolverse antes de reiniciar.	Operacional	7	5	4	140	Veto C	Alta
	1A	Depósito pulmón vacío por falta de reposición de producto sin detección por el operador	Tornillo gira en vacío; caudal de dosificación cero sin alarma automática garantizada. La mezcla del proceso carece del aditivo durante el período sin producto.	Operacional	8	6	2	96	No aplica	Media
	1B	Obstrucción parcial del orificio de salida por apelmazamiento localizado o producto no fluidizable	Flujo de producto al tornillo reducido e inconsistente; caudal de dosificación por debajo del mínimo.	Operacional	7	6	4	168	Veto C	Alta
	1C	Deriva del punto de calibración del mando MEAG por envejecimiento electrónico o cambio de parámetros	Caudal real supera el límite superior configurado sin alarma de sobredosificación. Sobredosificación no detectada del aditivo;	Operacional	8	4	2	64	No aplica	Baja
	1C	Fallo del control de velocidad del motorreductor (variador o	Velocidad del tornillo superior al configurado; Sobredosificación del aditivo con impacto en	Operacional	8	3	4	96	Veto C	Alta

		potenciómetro); velocidad sobre setpoint	calidad; posibles interrupciones por alarma de caudal alto.							
	1D	Desgaste o rotura del aspa agitadora; acción de fluidización del producto nula o reducida	Formación de zonas estáticas en el depósito; flujo al tornillo intermitente e irregular. Dosificación discontinua	Operacional	8	4	5	160	Veto C	Alta
	2A	Fractura del recipiente de extracción por sobrecarga mecánica accidental durante mantenimiento o llenado	Recipiente fracturado; derrame masivo del contenido; equipo inoperativo hasta reemplazo. Pérdida total del producto	Seguridad	7	2	2	28	No aplica	Baja
	2B	Deterioro del sellado del manguito de goma por envejecimiento del elastómero o abrazaderas flojas	Fuga de producto en cantidad perceptible por la unión del manguito; pérdida gradual de caudal. Subdosificación leve;	Operacional	6	5	4	120	No aplica	Media
Micro dosificador	3A	Fallo eléctrico de la celda de carga	Señal de peso nula o fuera de rango; control gravimétrico del caudal completamente perdido.	Operacional	8	3	3	72	Veto C	Alta
	3A	Daño mecánico de la celda de carga por sobrecarga accidental (> 25 kg) durante llenado o impacto	Deformación plástica permanente de la viga elástica; señal de peso irreproducible o nula. Pérdida permanente del control gravimétrico	Operacional	8	3	3	72	Veto C	Alta
	3B	Deriva de calibración de la celda de carga por envejecimiento, temperatura o fluencia de la viga	Señal de peso con offset o ganancia incorrecta; el mando MEAG regula en función de un peso erróneo.	Operacional	8	5	7	280	Veto C	Alta
	3C	Rozamiento mecánico entre recipiente de tornillo y estructuras fijas por desalineación de apoyos, daño en rodamientos.	Señal de peso inestable sin relación con el producto real. Dosificación errática; correcciones continuas del mando; alarmas frecuentes que interrumpen el proceso.	Operacional	7	5	4	140	Veto C	Alta
	3C	Vibración de entorno excesiva (> 0,1 g a frecuencias > 25 Hz) transmitida al sistema de pesaje	Señal de peso perturbada por vibración; correcciones continuas.	Operacional	6	4	4	96	Veto C	Alta
Micro dosificador	4A	Rotura de la correa dentada de accionamiento del tornillo sin fin por fatiga o desalineación	Transmisión interrumpida; tornillo inmóvil; caudal cero, aunque el motor gire. Paro total de la dosificación.	Operacional	7	5	3	105	Veto C	Alta
	4B	Desgaste excesivo del perfil dentado de las poleas; pérdida de engrane positivo con la correa	Deslizamiento total de la transmisión; tornillo sin fin sin movimiento o con giro errático. Paro total o parcial de la dosificación	Operacional	7	3	4	84	Veto C	Alta
	4B	Patinamiento del acoplamiento de deslizamiento por desgaste de superficies de fricción o precarga incorrecta	Velocidad real del tornillo inferior a la requerida; subdosificación sin alarma inmediata en el mando. Impacto en calidad del producto	Operacional	7	4	5	140	Veto C	Alta
	5A	Inversión del sentido de giro del motorreductor por conexionado incorrecto de fases tras mantenimiento	Tornillo sin fin girando en sentido antihorario; El equipo aparece operativo, pero no dosifica; riesgo de daño al tornillo por esfuerzos inversos.	Operacional	7	2	4	56	Veto C	Alta

5B	Fallo del relé o contactor de arranque y parada (contactos soldados); motor permanece energizado tras señal de parada	El equipo para o continúa dosificando sin control tras la señal al mando MEAG. Dosificación no controlada con impacto en calidad e inocuidad.	Seguridad	8	2	2	32	Veto S	Alta
5C	Interferencia electromagnética (EMI) en el cableado de señal del mando MEAG por falta de apantallamiento	Alarmas falsas frecuentes que interrumpen el ciclo de dosificación antes de completarse. Cantidad total de aditivo por ciclo inferior a la requerida.	Operacional	6	5	5	150	Veto C	Alta
5C	Configuración incorrecta de parámetros del mando MEAG (umbrales, tiempos de respuesta, constantes PID)	Dosificación interrumpida frecuentemente. Cantidad total de aditivo por ciclo inferior a la requerida; posibles oscilaciones del caudal por PID mal ajustado.	Operacional	6	4	4	96	Veto C	Alta

Apéndice J. Tabla 28.

FMEA Soplante de lóbulos.

Equipo	Cód. FF	Modo de falla	Efecto resumido	Categoría de consecuencia	S	O	D	NPR	Regla de veto	Prioridad
Soplante	1A	Falla del motor eléctrico de accionamiento o bloqueo de salida del VSD	Motor detenido; soplante sin operación; presión en la red cae a cero. Paro total del transporte neumático; acumulación de producto en las líneas; detención forzada del proceso harinero.	Operacional	8	5	4	160	No aplica	Media
	1A	Falla catastrófica de los lóbulos del elemento soplante por ingreso de cuerpo extraño	Contacto metal-metal en la cámara; bloqueo mecánico del rotor; parada de emergencia. Daño irreversible al elemento	Seguridad	8	2	2	32	No aplica	Baja
	1A	Obstrucción total de la línea de descarga o admisión por producto compactado o cuerpo extraño	Caudal de transporte cero; soplante en sobrecalentamiento por operación fuera de curva. Riesgo de explosión de polvo en líneas bloqueadas	Seguridad	9	3	3	81	Veto S	Alta
	1B	Desgaste progresivo de lóbulos del elemento; eficiencia volumétrica reducida	Holgura entre lóbulos aumentada; recirculación interna; caudal entregado inferior al requerido. Capacidad de transporte degradada	Operacional	7	3	5	105	No aplica	Media
	1B	Fuga de aire en juntas o bridas del sistema de tuberías de proceso	Pérdida de presión diferencial; caudal efectivo inferior al requerido; VSD a velocidad máxima.	Seguridad	8	5	4	160	No aplica	Media
Soplante	2A	Pérdida de comunicación VSD-controlador; bloqueo de salida al motor por bus o módulo fallido	VSD sin señal de referencia de velocidad; motor sin alimentación	Operacional	8	3	3	72	No aplica	Baja

	2A	Fallo del motor principal (contactos desgastados, bobina quemada o daño en rodamientos)	Motor sin alimentación a pesar de la señal del VSD. Paro total del suministro de aire.	Operacional	9	3	3	72	Veto S	Alta
	2B	Fuga en la válvula de retención de descarga; recirculación de aire hacia el soplante	Contraflujo hacia el soplante en condiciones de baja velocidad o parada. Presión insuficiente en arranques; ciclos continuos de carga/descarga; mayor desgaste mecánico.	Operacional	7	4	5	140	No aplica	Media
	2C	Fallo de la válvula sobrepresión en posición cerrada; sin capacidad de venteo ante sobrepresión	Red sin protección ante exceso de presión; riesgo de rotura de tuberías y bridas. Riesgo de lesión al personal por proyección de aire o producto a alta presión.	Seguridad	9	2	4	72	Veto S	Alta
Soplante	3A	Obstrucción del filtro de aceite por partículas metálicas; alarma de alta temperatura activada	Flujo de lubricante reducido hasta activar la protección; Requiere reemplazo del filtro y análisis del aceite para determinar la causa del desgaste interno.	Operacional	8	4	2	64	No aplica	Baja
	3A	Nivel de aceite insuficiente en el cárter por fuga no detectada o intervalo de reposición vencido	Parada automática por alarma de alta temperatura.	Seguridad	8	5	6	240	No aplica	Alta
	3B	Degradación del lubricante por sobre temperatura o contaminación; viscosidad reducida	Película lubricante insuficiente; desgaste acelerado de engranajes y rodamientos. Evolución probable a falla catastrófica del elemento si no se interviene	Operacional	7	5	4	140	No aplica	Media
Soplante	4A	Falla del motor del ventilador del refrigerador de aceite; refrigeración forzada nula	Temperatura del aceite escala sin control; parada automática del soplante por alta temperatura.	Operacional	8	3	2	48	No aplica	Baja
	4B	Incrustaciones de polvo de harina en el bloque del refrigerador; transferencia de calor reducida	Temperatura de salida del aire supera 98 °C progresivamente sin activar la parada por alarma. Aceite a temperatura superior al nominal; desgaste interno acelerado	Operacional	7	8	4	224	No aplica	Alta
Soplante	5A	Obstrucción total del filtro de aire de admisión por polvo de harina y partículas ambientales	Caída de presión en admisión supera el límite; soplante no puede aspirar el caudal requerido. Paro de producción.	Operacional	8	7	4	224	No aplica	Alta
	5B	Obstrucción parcial progresiva del filtro de aire sin activación de alarma (falla oculta)	Caudal de admisión gradualmente reducido sin señal visible al operador; VSD incrementa velocidad. Falla oculta: mayor consumo energético y desgaste del elemento.	Oculto	7	6	7	294	VetoO	Alta
Soplante	6A	Pérdida de comunicación VSD-controlador; velocidad del motor no puede regularse	VSD sin referencia de velocidad; soplante detenido o a velocidad fija fuera del punto de ajuste.	Operacional	8	3	3	72	No aplica	Baja
	6B	Velocidad mínima del VSD configurada por encima de 1.000 rpm; presión fuera del punto de ajuste	Motor no puede reducir la velocidad a la demanda real; presión supera la consigna en baja demanda.	Operacional	7	4	4	112	No aplica	Media

Soplante	7A	Rotura o desprendimiento de manguera interna de alta presión; efecto de golpe de látigo	Pérdida masiva y súbita de presión; parada automática del soplante; riesgo de golpe de látigo.	Seguridad	8	2	2	32	No aplica	Baja
	7B	Deterioro de la junta del cárter del elemento soplante (SG); fuga de aceite lubricante al entorno	Pérdida gradual de nivel de aceite; aceite acumulado en el área del equipo. Riesgo de contaminación del producto final de harina	Seguridad	8	4	6	192	No aplica	Media
	7B	Deterioro o rotura de la junta del filtro de aceite (OF) por apriete excesivo o envejecimiento	Fuga de aceite por la zona del filtro; pérdida de nivel; riesgo de alarma de baja presión. Idénticas consecuencias al modo anterior en contaminación del producto	Seguridad	8	4	3	96	No aplica	Media

Apéndice K. Tabla 29.

FMEA Esclusa.

Equipo	Cód. FF	Modo de falla	Efecto resumido	Categoría de consecuencia	S	O	D	NPR	Regla de veto	Prioridad
Esclusa (Válvula Rotativa)	1A	Bloqueo del rotor por compactación de material de alta densidad en las celdas	Celdas bloqueadas; motorreductor en sobrecarga; disparo del relé térmico; paso de material nulo.	Operacional	8	3	3	72	No aplica	Baja
	1A	Rotura o fractura del rotor por fatiga, impacto de cuerpo extraño o corrosión severa de álabes	Rotor con álabe fracturado; fragmentos metálicos dentro del cuerpo; rotor bloqueado o errático. Contaminación grave del producto con metal	Seguridad	8	2	5	80	No aplica	Media
	1B	Desgaste del cuerpo de la válvula por material abrasivo; holgura supera límite de sellado	Holgura rotor-carcasa sobre el límite de sellado; bypass progresivo de aire; partículas metálicas. Pérdida del sello de presión; posible contaminación del producto con partículas de la carcasa.	Operacional	7	4	5	140	Veto C	Alta
	2A	Deterioro de sellos de brida o juntas de montaje; fuga visible de producto al exterior	Sellado insuficiente en bridas o juntas; fuga de producto del pasaje de molienda al entorno.	Seguridad	7	5	2	70	No aplica	Baja
Esclusa (Válvula Rotativa)	3A	Rotura del acoplamiento entre motorreductor y eje del rotor por fatiga o sobre torque	Transmisión de par al rotor interrumpida; motorreductor gira en vacío; rotor inmóvil. Paro total de la transferencia; colapso del sistema neumático	Operacional	7	4	3	84	Veto C	Alta
	3A	Falla del motorreductor por desgaste interno de rodamientos; pérdida de par de salida	Reductor con rodamientos dañados; par de salida nulo; rotor inmóvil bajo carga. Paro total de la transferencia	Operacional	7	3	4	84	Veto C	Alta

	3B	Patinamiento del acoplamiento por desgaste de superficies de fricción o ajuste incorrecto	Velocidad real del rotor inferior a la teórica; subdosificación volumétrica gradual y no detectada.	Operacional	7	4	5	140	Veto C	Alta
	4A	Lubricación insuficiente de rodamientos sellados por vida útil del lubricante vencida	Película lubricante insuficiente; fricción seca; temperatura superficial del flanche elevada.	Seguridad	7	4	5	140	No aplica	Media
	4B	Frenado del rodamiento por contaminación severa	Rodamiento bloqueado; temperatura extrema en el flanche; disparo del relé térmico; rotor detenido.	Seguridad	8	3	3	72	Veto C	Alta
Esclusa (Válvula Rotativa)	5A	Rotura del visor por impacto mecánico durante mantenimiento o fatiga térmica	Visor roto; apertura al interior; fuga de producto a través de la abertura del visor. Pérdida de capacidad de inspección y falla simultánea de la función de contención	Operacional	6	3	2	36	Veto C	Alta
	5A	Opacidad progresiva del visor por deposición de polvo fino del producto en la superficie interior	Visibilidad del flujo de material nula a través del visor opaco. El operador no puede verificar el estado del rotor ni detectar anomalías en el flujo durante la operación.	Operacional	4	7	1	28	No aplica	Baja

Apéndice L. Tabla 30.

Plan de Mantenimiento Cernedor.

Código	Actividad	Frecuencia	Tiempo	Descripción	Responsable	Herramientas/ Materiales	Observaciones
CER01	Verificación funcional del sistema de sujeción de pilas de tamices	Cada 3 meses (trimestral) o 1.500 h	40 min	Abrir el módulo en parada segura e inspeccionar el apriete/torque de los elementos de sujeción de cada pila de tamices.; Verificar holgura, asentamiento y condición del material de sellado.; Confirmar que la pila mantiene alineación y sujeción positiva al cierre.; Reemplazar elementos con corrosión, fisura o pérdida de tensión y registrar la intervención.	Técnico de mantenimiento mecánico (supervisado por jefe)	Llave dinamométrica, llaves combinadas, linterna, formato de torque, elementos de izaje menor si aplica.	Criterio de intervención: Torque fuera de rango.; Holgura, pérdida de tensión o desplazamiento de la pila.; Corrosión visible, fisura.

CER02	Prueba funcional del sensor de control de marcha concéntrica	Cada 6 meses (semestral) o 3.000 h	20 min	Con el cernedor en condición segura de prueba, simular la condición excéntrica indicada por el fabricante.; Verificar que el sistema activa la alarma y/o el paro dentro del tiempo especificado.; Registrar tiempo de respuesta, resultado PASA/FALLA y reemplazo si aplica.	Técnico de instrumentación y control eléctrico	Kit de prueba/simulación del sensor, multímetro, cronómetro, formato PASA/FALLA.	Criterio de intervención: No activa alarma o paro ante condición simulada.; Tiempo de respuesta > 3 s.; Falla intermitente o deriva de señal. Actividad obligatoria por tratarse de una falla oculta.
CER03	Renovación programada de grasa y reemplazo preventivo de retenedores del conjunto excéntrico	Cada 5 meses (trimestral) o 3.500 h	120 min	Desenergizar, bloquear y abrir guardas del conjunto excéntrico.; Retirar grasa degradada, verificar contaminación con harina y aplicar grasa según especificación.; Reemplazar retenedores cuando se cumpla el intervalo o si presentan endurecimiento, desgaste o pérdida de sello.; Verificar libre giro del conjunto y registrar la intervención.	Técnico de mantenimiento mecánico	Grasa especificada por fabricante, pistola/dispensador, retenedores de repuesto, extractor básico, paños de limpieza.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido.; Anticipar si hay fuga de grasa, contaminación con harina, ruido anormal, temperatura elevada o deterioro del retenedor
CER04	Cambio programado de rodamientos del motor de accionamiento	Cada 24 meses (anual) o 16.000 h	180 min	Desenergizar y asegurar el motor antes del desmontaje.; Retirar rodamientos, inspeccionar eje y alojamiento, e instalar referencia nueva.; Realizar limpieza técnica complementaria del exterior y sistema de ventilación antes del montaje.; Verificar corriente de giro, ruido y temperatura inicial; registrar la intervención.	Técnico de mantenimiento mecánico	Juego de rodamientos del motor, extractor, prensa o calentador, herramientas de desmontaje, instrumentos básicos de verificación.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido.; Anticipar el cambio si las inspecciones rutinarias muestran ruido, vibración o temperatura anormal.
CER05	Reemplazo programado de correa trapezoidal dentada y ajuste de transmisión	Cada 12 meses (semestral) o 6.000 h	75 min	Bloquear el equipo, desmontar guardas y verificar desgaste del perfil dentado, alineación de poleas y tensión.; Sustituir la correa al cumplir el intervalo o si se observan dientes redondeados, fisuras o deslizamiento.; Ajustar tensión y confirmar velocidad de trabajo del cernedor según especificación.	Técnico de mantenimiento mecánico	Correa trapezoidal dentada de repuesto, tensiómetro o regla de tensión, llaves, equipo de alineación básica.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido.; Tensión fuera de rango.; Deslizamiento, caída de rpm por debajo del valor especificado o desgaste visible del perfil dentado..
CER06	Monitoreo y verificación de alineación/balance del conjunto excéntrico	Cada 3 meses o 1500 h	30 min	Verificar temperatura, fijación de componentes y posible desbalance u holgura acumulada.; Programar corrección si la tendencia supera la línea base o se detecta comportamiento anormal.	Técnico mecánico / ruta predictiva	Termómetro infrarrojo, formatos de ruta predictiva.	Criterio de intervención: Incremento súbito de ruido o temperatura.; Evidencia de desbalance, aflojamiento u holgura en el conjunto excéntrico.

CER07	Reemplazo programado de mallas de tamiz por desgaste	Cada 12 meses o 6.000 h	180 min	Realizar parada interna, desmontar bastidores y comparar la apertura efectiva de la malla con la especificación nominal.; Sustituir mallas desgastadas y restituir sellado/asentamiento del bastidor.; Registrar identificación del tamiz reemplazado.	Operador de producción	Mallas/tamices de repuesto, herramientas de apertura de bastidores, elementos de limpieza, material de sellado si aplica.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido.; Apertura efectiva fuera de especificación.; Pérdida de clasificación granulométrica o necesidad de reproceso.
CER08	Reemplazo programado de limpiadores plásticos	Cada 12 meses o 6.000 h	45 min	Abrir el bastidor en parada programada, retirar limpiadores desgastados y sustituir el juego completo según especificación.; Confirmar libre movimiento y que no existan rebabas o residuos que afecten la malla.; Registrar cantidad y posición de los limpiadores cambiados.	Operador de producción	Juego de limpiadores plásticos, herramientas manuales básicas, elementos de limpieza del bastidor.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido.; Pérdida de volumen o capacidad de limpieza.; Cegamiento progresivo de mallas o reducción del área efectiva de tamizado.
CER09	Inspección visual interna y reposición inmediata de elementos dañados del bastidor	Cada 1 mes o 500 h	45 min	Durante la parada interna programada, abrir bastidores y revisar mallas por orificios, rasgaduras o deformación.; Verificar limpiadores por fractura, pérdida de piezas o desalojo del alojamiento.; Retirar fragmentos, limpiar el módulo y reponer el elemento dañado antes de reiniciar.	Operador de producción	Linterna, herramientas de apertura de bastidor, malla o limpiador de repuesto, elementos de limpieza.	Criterio de intervención: Presencia de orificio o rasgadura.; Limpiador fracturado, suelto o ausente.; Evidencia de contaminación física o de mezcla de fracciones.
CER10	Inspección visual y verificación de seguridad de varillas de suspensión y anclajes	Cada 6 meses o 3,000 h	35 min	Revisar rectitud, corrosión, fisuras y pérdida de sección en varillas de suspensión.; Verificar soldaduras, placas y pernos de fijación en los anclajes superior e inferior. Confirmar que la carcasa mantiene soporte estable y sin oscilación anormal antes del arranque.	Técnico mecánico de mantenimiento	Linterna, galgas básicas, llaves, elementos de inspección visual, consumibles de marcación.	Criterio de intervención: Corrosión avanzada o pérdida de sección.; Fisura, deformación, perno flojo o soldadura agrietada.; Oscilación anormal o pérdida de fijación positiva. Priorizar hallazgos estructurales. Si hay fisuras, pérdida de sección o anclaje flojo, bloquear el arranque hasta corregir.

Apéndice M. Tabla 31.*Plan de mantenimiento Banco de Molienda.*

Código	Actividad	Frecuencia	Tiempo	Descripción	Responsable	Herramientas/Materiales	Observaciones
BMO01	Reemplazo programado y ajuste del sistema de transmisión principal y diferencial	Cada 18 meses o 9.000 h	180 min - 240 min	Bloquear el banco y desmontar guardas.; Sustituir correas principal y diferencial según intervalo/condición.; Verificar rodillo de inversión, alineación y tensión.; Confirmar rpm y transmisión efectiva antes del cierre.	Técnico de mantenimiento mecánico	Juego de correas SPB y dentada, herramientas de desmontaje, tensiómetro, tacómetro, rodamiento/perno del rodillo si aplica.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo.; Tensión fuera de rango.; Deslizamiento, caída de rpm, ruido anormal o deterioro visible. Actividad de máxima prioridad por impacto directo sobre la molienda.
BMO02	Calibración y verificación de la celda báscula DMS de alimentación	Cada 6 meses (semestral) o 3,000 h	60 min	Limpiar residuo sobre el sistema de pesaje.; Verificar cero; Ajustar parámetros del sistema.; Confirmar velocidad de alimentación dentro del rango especificado.	Técnico de instrumentación y control / electromecánico	Patrón de verificación, herramientas de ajuste, multímetro/equipo de configuración, formato de calibración.	Criterio de intervención: Deriva de señal.; Offset inestable.; Alimentación fuera de rango. Mantener trazabilidad metrológica del ajuste realizado.
BMO03	Reemplazo y ajuste programado del mecanismo de paralelismo de la rendija de alimentación	Cada 6 meses (semestral) o 3.000 h	45 min	Inspeccionar guías, tornillería y holguras.; Reemplazar elementos desgastados.; Ajustar y verificar paralelismo de la rendija.	Técnico de mantenimiento mecánico	Llaves, galgas/medición de abertura, elementos de fijación, repuestos del mecanismo de ajuste.	Criterio de intervención: Rendija no paralela.; Holgura o desgaste del sistema.; Distribución asimétrica del producto.
BMO04	Verificación funcional del sistema neumático de embrague y separación de emergencia	Cada 1 mes o 500 h	60 min	Verificar presión disponible y ausencia de fugas.; Ejecutar maniobra controlada de embrague/separación.; Medir tiempo de respuesta.; Sustituir sellos o componentes defectuosos si aplica.	Técnico de mantenimiento mecánico	Manómetro, solución detectora de fugas, herramientas básicas, kit de sellos, repuestos neumáticos si aplica.	Criterio de intervención: Presión < 4,5 bar.; Fuga audible/visible.; No ejecución de maniobra o respuesta > 5 s. Actividad de seguridad del banco.
BMO05	Verificación de seguridad de panelado terminal, guardas y cerrojo giratorio	Cada 1 mes o 500 h	20 min	Verificar presencia e integridad del panelado y guardas.; Inspeccionar cerrojo, holgura y cierre positivo.; Corregir o reemplazar elementos dañados.; Confirmar imposibilidad de acceso a partes girantes.	Operador de molienda y supervisor de turno	Checklist de seguridad, linterna, llaves y repuestos de cerrojo/elementos de fijación.	Criterio de intervención: Guarda ausente.; Holgura o cierre sin sujeción positiva.; Deformación o daño físico. No operar sin resguardo restituido.

BMO06	Verificación funcional del interruptor de seguridad / parada de emergencia del motor de alimentación	Cada 1 mes o 500 h	15 min	Probar el interruptor con el banco en condición segura.; Confirmar corte inmediato de energía.; Verificar integridad física y enclavamiento.; Registrar PASA/FALLA y reemplazo si aplica.	Técnico electricista o de instrumentación y control	Multímetro, checklist de seguridad, cronómetro y repuesto del interruptor si aplica.	Criterio de intervención: No corta energía.; Enclavamiento defectuoso.; Contactos erráticos o daño físico. Registrar como prueba de seguridad.
BMO07	Limpieza programada del sistema de aspiración interno del banco	Cada 1 mes o 500 h	120 min	Bloquear y abrir accesos del sistema de aspiración.; Retirar harina compactada y depósitos del tubo y canal inferior.; Verificar continuidad del flujo.; Confirmar recuperación del flujo antes del reinicio.	Operador de molienda y supervisor de turno	Cepillos, aspiradora industrial o aire controlado, EPP para polvo, herramientas de acceso y limpieza.	Criterio de intervención: Acumulación visible.; Reducción del flujo de extracción.; Liberación de polvo en cámara. Ejecutar con control de polvo y equipo bloqueado.
BMO08	Reestriado o cambio programado de cilindros trituradores	Cada 12 meses (anual) o 6.000 h	6 h - 8 h	Programar parada y desmontaje de cilindros.; Verificar desgaste del perfil de estrías o historial de campaña.; Reestriar o reemplazar cilindros.; Reinstalar, cambio de rodamientos y reengrase de sistema, alinear y validar capacidad de trituración.	Técnico mecánico especializado / proveedor de rectificado	Herramientas de desmontaje mayor, equipo de izaje, instrumentos de verificación dimensional y servicio de rectificado o cilindro de reemplazo.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo.; Pérdida del perfil de estrías.; Caída sostenida de trituración o desviación granulométrica. Puede requerir apoyo externo.
BMO09	Reemplazo y ajuste programado de cuchilla rascadora	Cada 3 meses (trimestral) o 1.500 h	35 min	Acceder al conjunto rascador con equipo bloqueado.; Sustituir la cuchilla cuando corresponda.; Ajustar la presión de contacto.; Confirmar ausencia de lámina adherida en el cilindro.	Técnico de mantenimiento mecánico	Cuchilla rascadora de repuesto, llaves de ajuste, galgas o herramienta de calibración de contacto.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo.; Laminado adherido.; Desgaste irregular o presión de contacto incorrecta.
BMO10	Estándar operativo de control de cuerpos extraños y parada segura ante impacto anormal	Cada turno / prearranque	10 min	Verificar al inicio del turno el control operacional de cuerpos extraños aguas arriba.; Detener inmediatamente ante ruido metálico o impacto anormal.; No reiniciar hasta confirmar condición segura.; Registrar hallazgo y coordinar con el proceso previo.	Operador de molienda y supervisor de turno	Checklist de prearranque, formato de novedades, comunicación con área de limpieza/prelimpia.	La causa raíz es operacional y depende del control de cuerpos extraños en etapas previas. El mantenimiento del banco no la previene por sí solo.
BMO11	Renovación programada de	Cada 6 meses	120 min	Bloquear el banco y acceder a los apoyos de los cilindros.;	Técnico de	Grasa especificada, retenedores, pistola o	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo.;

	grasa de los rodamientos de cilindros trituradores	(trimestral) o 1.500 h		Retirar grasa degradada o contaminada y renovar la carga lubricante.	mantenimiento mecánico	equipo de engrase, llaves, elementos de limpieza y EPP.	Grasa contaminada con harina. Recalentamiento o frenado anormal. Actividad crítica por riesgo de incendio.
BMO12	Cambio programado de rodamientos del motor de accionamiento y limpieza externa del sistema de ventilación	Cada 18 meses o 9,000 h	180 min	Desenergizar el motor y desmontar elementos de acceso.; Sustituir rodamientos conforme a especificación.; Limpiar carcasa, aletas y sistema de ventilación externo.	Técnico electromecánico / electricista de mantenimiento	Rodamientos del motor, extractor o herramienta de montaje, instrumentos eléctricos básicos, insumos de limpieza y EPP.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo.; Sobre temperatura, ruido o vibración anormal.; Acumulación de polvo que comprometa ventilación.; Disparos por sobrecarga u olor a recalentamiento.

Apéndice N. Tabla 32.

Plan de mantenimiento Blower.

Código	Actividad	Frecuencia	Tiempo	Descripción	Responsable	Herramientas/Materiales	Observaciones
BLO01	Prueba funcional del interruptor de emergencia del blower	Cada 6 meses (semestral) o 3.000 h	20 min	Actuar el interruptor de emergencia con el blower en condición segura de prueba y verificar el corte inmediato del suministro al motor.; Confirmar reposición, rearme y retorno controlado a servicio.; Revisar integridad mecánica, estado de contactos y accesibilidad del dispositivo.; Registrar resultado PASA/FALLA y reemplazo si aplica.	Técnico electricista / instrumentación	Multímetro, cronómetro, formato PASA/FALLA, herramientas eléctricas básicas.	Criterio de intervención: No desenergiza el motor al actuarlo.; Reset defectuoso o accionamiento intermitente.; Corrosión o daño del dispositivo. Actividad obligatoria por tratarse de una función protectora.
BLO02	Inspección visual de guarda de transmisión y restitución segura	Cada 1 semana o antes del arranque tras intervención	10 min	Verificar que la guarda de transmisión esté instalada, completa y con fijaciones en servicio.; Confirmar que no exista deformación, fisura ni interferencia con elementos girantes.	Operario de turno / supervisor de mantenimiento	Checklist pre-arranque, linterna, herramientas manuales básicas.	Criterio de intervención: Guarda ausente, floja, deformada o incompleta. No arrancar el blower sin la protección restaurada.
BLO03	Monitoreo vibracional, limpieza técnica e inspección interna del rodete	Cada 3 meses o 1500 h	60 min	Medir vibración global del blower y comparar la tendencia con la línea base.; En parada programada, inspeccionar internamente el rodete por acumulación, corrosión, erosión, grietas o pérdida de material.; Retirar depósitos adheridos y	Técnico mecánico / ruta predictiva	Colector/medidor de vibraciones, termómetro IR, linterna, herramientas de apertura, elementos de limpieza.	Criterio de intervención: Vibración por encima del umbral.; Depósitos asimétricos, corrosión, erosión, grietas o pérdida de material.

				programar balanceo/repación si la condición lo exige.; Registrar tendencia vibracional y condición final del rodete.			
BLO04	Renovación programada de grasa y limpieza de alojamientos de rodamientos	Cada 3 meses (trimestral) o 1.500 h	90 min	Bloquear el equipo y renovar la grasa de los rodamientos según especificación.; Limpiar puntos de engrase, exceso de grasa degradada y contaminación visible.; Verificar sellos, ingreso de polvo y condición térmica en el reinicio.; Registrar tipo/cantidad de grasa aplicada.	Técnico mecánico de mantenimiento	Grasa especificada por fabricante, pistola/dispensador, paños, elementos de limpieza, EPP.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo.; Grasa contaminada, fuga, temperatura elevada o ruido anormal.
BLO05	Cambio programado de rodamientos y verificación de holgura rotor-voluta	Cada 24 meses (anual) o 16.000 h	180 min	Desmontar alojamientos, sustituir rodamientos del blower y verificar eje/alojamiento.; Medir holgura rotor-voluta y corregir si está fuera de tolerancia.; Revisar alineación/base o bancada y marcas de roce antes del cierre.	Técnico mecánico especializado / taller	Juego de rodamientos, extractor, herramientas de desmontaje, instrumentos de medición de holgura, insumos de montaje.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo.; Ruido metálico, vibración/temperatura creciente o holgura fuera de tolerancia.
BLO06	Limpieza periódica de entrada y tuberías de aspiración/descarga	Cada 3 meses o 1.500 h	90 min	Aislar el blower Limpiar secciones críticas y verificar libre paso del aire.; Revisar estado general de ductos y soportes tras la limpieza.; Registrar hallazgos y material retirado.	Técnico mecánico + operario de apoyo	Herramientas de apertura, elementos de limpieza, aspiradora industrial o equipo de retiro, EPP.	Criterio de intervención: Caída de caudal, turbulencia severa, sobrecarga del motor o evidencia de compactación/cuerpo extraño. Confirmar restablecimiento del flujo al cierre.
BLO07	Inspección por condición de juntas, bridas y conductos con corrección de fugas	Cada 1 mes o 500 h	60 min	Inspeccionar visualmente juntas, bridas y tramos de conducto para detectar fugas de aire y escape de polvo.; Verificar presión diferencial/caudal respecto a la condición base.; Reapretar uniones y reemplazar juntas o tramos deteriorados cuando corresponda.; Registrar punto intervenido y condición final.	Técnico mecánico de mantenimiento	Llaves, detector de fugas básico o solución jabonosa si aplica, juntas de repuesto, formato de inspección.	Criterio de intervención: Fuga visible, polvo escapando, caída de presión diferencial o junta deteriorada. Priorizar estanqueidad del sistema por riesgo de polvo y pérdida de capacidad.
BLO08	Cambio programado de rodamientos del motor de accionamiento del blower.	Cada 24 meses o 16.000 h	240 min	Desmontar el motor y reemplazar los rodamientos (lado accionamiento y lado libre). Inspeccionar el bobinado (limpieza con solvente si hay polvo acumulado). Reemplazar los sellos del motor. Verificar alineación tras el montaje. Medir temperatura superficial tras 30 min de operación.	Técnico electromecánico o electricista	Rodamientos de repuesto (ref. fabricante) · Sellos/retenes del motor · Extractor de rodamientos · Alineador de acoplamientos · Termómetro de contacto	Criterio de intervención: Corriente o temperatura por encima de la línea base.; Alarmas/disparos del variador.; Olor a recalentamiento o ruido/vibración anormal.

Apéndice O. Tabla 33.*Plan de Mantenimiento Micro Dosificador.*

Código	Actividad	Frecuencia	Tiempo	Descripción	Responsable	Herramientas/Materiales	Observaciones
MIC01	Cambio programado de rodamientos del motorreductor y limpieza técnica del accionamiento	Cada 24 meses (anual) o 16.000 h	120 min	Des energizar y bloquear el equipo antes de intervenir el accionamiento.; Retirar tapas, limpiar ventilación/carcasa y reemplazar los rodamientos del motorreductor según especificación.; Verificar acoplamiento, alineación, estado del ventilador y condición del variador/borneras	Técnico electromecánico	Juego de rodamientos, extractor, grasa especificada, llaves, multímetro/pinz a amperimétrica, paños de limpieza.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido.; Anticipar si se detectan sobre temperatura, ruido anormal, incremento de corriente o alarmas repetitivas del accionamiento.; No reiniciar si se evidencia deterioro del rodamiento o ventilación obstruida.Registrar corriente, temperatura inicial y condición final del conjunto.
MIC02	Limpieza periódica del sistema de alimentación y dosificación (tolva, tornillo y orificio de salida)	Cada 1 mes o 500 h	45 min	Parar y aislar el micro dosificador antes de abrir el sistema.; Retirar producto apelmazado del tornillo sin fin, la tolva y el orificio de salida.; Limpiar superficies de contacto y verificar ausencia de costras o material no fluidizable.	Técnico mecánico con apoyo del operario	Cepillo, espátula plástica, aspiradora industrial, paños, EPP para polvo, llaves de acceso.	Criterio de intervención: Apelmazamiento o compactación del producto.; Reducción del caudal, flujo intermitente o caudal por debajo del mínimo.; Residuos adheridos en tornillo, tolva u orificio de salida. No reiniciar hasta eliminar completamente el apelmazamiento.
MIC03	Calibración y ajuste periódico del mando MEAG/variador y del cableado de señal	Cada 1 año o 8000 h	30 min	Verificar configuración del MEAG/variador, setpoints, límites, umbrales y constantes PID.; Confirmar velocidad real del tornillo frente al valor de referencia.; Revisar continuidad de apantallamiento, puesta a tierra y separación del cableado de señal respecto a potencia.; Ajustar parámetros y registrar versión/configuración validada.	Técnico de instrumentación y control	multímetro, tacómetro si aplica, herramientas de conexionado.	Criterio de intervención: Velocidad real fuera del setpoint o caudal fuera del rango esperado.; Alarmas falsas recurrentes o inestabilidad del control.; Parámetros PID/umbrales alterados o apantallamiento deficiente del cableado.

MIC04	Inspección de aspa agitadora y verificación de fluidización	Cada 3 meses (semestral) o 1.500 h	45 min	En cada reposición del producto: inspeccionar visualmente el aspa (grietas, desgaste > 20%, pérdida de material). Si hay daño: reemplazar en la misma intervención	Técnico mecánico de mantenimiento	Aspa agitadora de repuesto, llaves, extractor básico si aplica, elementos de limpieza.	Criterio de intervención: Desgaste visible, fisura, deformación o reducción de la capacidad de agitación. Formación de zonas estáticas o flujo intermitente del producto.
MIC05	Calibración y verificación funcional del sistema gravimétrico (celda de carga y lazo de pesaje)	Cada 1 año o 8000 h	30 min	Realizar verificación de cero y span con patrón conocido según procedimiento.; Confirmar integridad eléctrica del cableado, conectores y continuidad de la celda.; Ajustar calibración del lazo gravimétrico y registrar resultados	Técnico de instrumentación y control	Pesas patrón o simulador equivalente, multímetro, interfaz del MEAG, formato de calibración.	Criterio de intervención: Señal nula, fuera de rango o con deriva de cero/ganancia.; Diferencia entre peso patrón y lectura del sistema fuera de tolerancia.; Inestabilidad del cero o pérdida de repetibilidad.
MIC06	Estándar operativo de llenado controlado y protección contra sobrecarga de la celda de carga	En cada llenado / permanente	10 min	Aplicar procedimiento estandarizado de llenado del micro dosificador.; Verificar cantidad máxima permitida antes de agregar producto.; Evitar impactos, golpes o apoyos externos sobre el recipiente de pesaje.; Reportar inmediatamente cualquier evento de sobrecarga o golpe accidental.	Operario de proceso y supervisor de línea	Instructiva visual de llenado, etiqueta de carga máxima, checklist operativo.	Criterio de intervención: No exceder la carga máxima permisible de 25 kg.; No golpear el recipiente ni cargar bruscamente el sistema.; Detener el llenado si se presentan impactos o condiciones inseguras.
MIC07	Inspección por condición del sistema de pesaje, apoyos y aislamiento vibracional	Cada 1 mes o 500 h	25 min	Inspeccionar alineación de apoyos, holguras y ausencia de contacto del recipiente con estructuras fijas.; Verificar condición de soportes, anti vibratorios y rodamientos asociados.; Evaluar perturbación vibracional del entorno sobre la señal del sistema de pesaje.; Corregir interferencias mecánicas antes de recalibrar el sistema.	Técnico mecánico e instrumentación	Llaves, nivel, formato de inspección.	Criterio de intervención: Señal de peso inestable sin relación con el producto real.; Contacto o rozamiento del recipiente con estructuras fijas.; Vibración transmitida al sistema de pesaje por encima de la condición base.
MIC08	Cambio programado del sistema de transmisión dentada	Cada 36 meses (semestral) o 26.000 h	120 min	Inspeccionar correa dentada, poleas y acoplamiento de deslizamiento en condición segura.; Reemplazar componentes con desgaste de perfil, grietas, pérdida de precarga o desalineación.; Ajustar tensión y verificar transmisión positiva del movimiento	Técnico mecánico de mantenimiento	Correa de repuesto, poleas si aplica, kit de acoplamiento, llaves, alineador/tensiómetro básico.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido.; Desgaste de dientes, patinamiento o pérdida de engrane.; Velocidad real del tornillo inferior a la requerida o giro errático. Si se detecta desalineación, corregir antes de instalar la correa nueva.

MIC09	Verificación funcional del circuito de arranque/parada y recambio preventivo de contactor/relé	Cada 3 meses (trimestral) o 1.500 h	20 min	Ejecutar prueba de arranque/parada en condición segura y verificar respuesta del contactor/relé.; Revisar desgaste de contactos, calentamiento y condición del cableado asociado.; Reemplazar el elemento de maniobra si presenta soldadura de contactos o respuesta anormal	Técnico electricista de mantenimiento	Multímetro, pinza amperimétrica, repuesto de contactor/relé, destornilladores y EPP eléctrico.	Criterio de intervención: El motor no se desenergiza tras la orden de parada.; Contactos pegados, desgaste evidente o maniobra errática.; Discrepancia entre orden de mando y respuesta del circuito. Antes de declarar falla del contactor, descartar errores de señal o parametrización del mando.
MIC10	Cambio programado de correa dentada de accionamiento del tornillo sin fin.	Cada 12 meses (anual) o 8.000 h	20 min	Reemplazar la correa dentada de accionamiento del tornillo sin fin. Verificar el estado de las poleas al momento del cambio. Aplicar el torque de apriete correcto al tensor.	Técnico mecánico de mantenimiento	Correa dentada de repuesto (ref. fabricante) · Tensiómetro · Llave de torque ·	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido. Patinamiento o pérdida de engrane.; Velocidad real del tornillo inferior a la requerida o giro errático. Si se detecta desalineación, corregir antes de instalar la correa nueva.

Apéndice P. Tabla 34.

Plan de mantenimiento Soplane de lóbulos.

Código	Actividad	Frecuencia	Tiempo	Descripción	Responsable	Herramientas/Materiales	Observaciones
SOP01	Limpieza programada de la línea de admisión y descarga del soplante	Cada 1 mes o 500 h	45 min	Bloquear el soplante y abrir accesos de inspección de la línea.; Retirar producto compactado, cuerpos extraños y depósitos adheridos en admisión/descarga.; Verificar continuidad del flujo y ausencia de estrangulamientos.	Técnico de mantenimiento mecánico con apoyo del operador	Cepillos, aspiradora industrial o aire controlado, EPP para polvo, herramientas de apertura de registros.	Criterio de intervención: Acumulación visible de producto o polvo.; Caída del flujo de transporte.; Señales de sobrecalentamiento por operación fuera de curva.; Cumplimiento del intervalo programado.
SOP02	Prueba funcional de la válvula de sobrepresión	Cada 3 meses (trimestral) o 1.500 h	25 min	Verificar integridad física de la válvula y ausencia de obstrucciones.; Ejecutar prueba funcional controlada para comprobar apertura/venteo ante condición.	Técnico de mantenimiento mecánico / instrumentación	Checklist FFT, manómetro/equipo de prueba, herramientas básicas y kit de servicio de la válvula.	Criterio de intervención: La válvula no abre ante la prueba funcional.; Evidencia de atascamiento, corrosión o pérdida de calibración.; Fuga o asiento defectuoso luego de la prueba. La función protectora es de demanda oculta

SOP03	Cambio programado de aceite y control de fugas	Cada 12 meses (anual) o 1000 h	50 min	Aislar el soplante, drenar el aceite usado y limpiar según procedimiento.; Reponer aceite nuevo de la especificación definida hasta el nivel correcto.; Inspeccionar y corregir puntos de fuga externos	Técnico de mantenimiento mecánico	Aceite especificado, bandeja de drenaje, embudo, paños absorbentes, llaves y repuestos menores de sellado.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido.; Nivel de aceite por debajo del mínimo.; Evidencia de fuga externa.; Temperatura elevada asociada a lubricación deficiente.
SOP04	Limpieza programada del bloque del refrigerador	Cada 1 mes o 500 h	60 min	Bloquear el equipo y acceder al bloque del refrigerador.; Retirar incrustaciones y polvo adherido que reduzcan la transferencia térmica.; Limpiar aletas, pasos y superficies de intercambio sin dañarlas.; Confirmar recuperación de la disipación térmica antes del reinicio.	Técnico de mantenimiento mecánico	Cepillos suaves, aire controlado, paños, EPP y herramientas de acceso.	Criterio de intervención: Acumulación visible de polvo en el bloque.; Tendencia de temperatura de salida cercana o superior al límite operativo.; Cumplimiento del intervalo definido. El ensuciamiento del enfriador acelera el desgaste interno por sobre temperatura del aceite.
SOP05	Cambio programado del elemento filtrante de admisión	Cada 4 meses o 2.000 h	25 min	Desenergizar el soplante y abrir la carcasa del filtro de admisión.; Retirar el elemento saturado y limpiar el alojamiento del filtro.; Instalar el elemento nuevo conforme a especificación.	Técnico de mantenimiento mecánico	Elemento filtrante de reemplazo, herramientas básicas, aspiradora/paños para limpieza del alojamiento.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido.; Restricción elevada en admisión.; Elemento saturado o deteriorado.; Caudal insuficiente o paro de producción asociado al filtro.
SOP06	Cambio programado de rodamientos del motor de accionamiento del soplante	Cada 24 meses o 16.000 h	240 min	Desmontar el motor y reemplazar los rodamientos (lado accionamiento y lado libre). Inspeccionar el bobinado (limpieza con solvente si hay polvo acumulado). Reemplazar los sellos del motor. Verificar alineación tras el montaje.	Técnico electromecánico o electricista	Rodamientos de repuesto (ref. fabricante) · Sellos/retenes del motor · Extractor de rodamientos · Alineador de acoplamiento · Termómetro de contacto	Criterio de intervención: Corriente o temperatura por encima de la línea base.; Alarmas/disparos del variador.; Olor a recalentamiento o ruido/vibración anormal.

Apéndice Q. Tabla 35.

Plan de Mantenimiento Válvula Rotativa.

Código	Actividad	Frecuencia	Tiempo	Descripción	Responsable	Herramientas/Materiales	Observaciones
ESC01	Restauración o cambio programado del cuerpo de la	Cada 6 meses (semestral) o 3.000 h	90 min	Aislar la válvula rotativa y desmontar tapas/accesos necesarios.; Medir holgura rotor-carcasa y verificar pérdida del sello	Técnico de mantenimiento mecánico	Galgas/instrumentos de medición, herramientas de desmontaje, repuesto	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido.; Holgura rotor-carcasa por encima del límite.; Presencia de

	esclusa y control de holgura			de presión.; Restaurar o reemplazar el cuerpo/carcasa cuando se supere el límite admisible.		o servicio de restauración del cuerpo.	partículas metálicas o bypass progresivo de aire.; Pérdida del sello de presión.
ESC02	Cambio programado del tren de accionamiento (acoplamiento y motorreductor)	Cada 36 meses o 24.000 h	120 min	Des energizar la esclusa y desmontar el tren de accionamiento.; Sustituir elementos del acoplamiento con desgaste, patinamiento o fisura.; Verificar condición del motorreductor.	Técnico de mantenimiento mecánico / electromecánico	Acoplamiento de repuesto, alineador/regla, llaves, extractor/herramientas de montaje.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido.; Patinamiento, pérdida de velocidad o transmisión interrumpida.; Holgura, desgaste de superficies de fricción o ruido anormal del motorreductor.
ESC03	Cambio de rodamientos del apoyo del rotor	Cada 3 meses (trimestral) o 1.500 h	50 min	Bloquear la esclusa y acceder a los apoyos del rotor. Sustituir los rodamientos del apoyo.; Verificar libre rotación del rotor y ausencia de temperatura anormal antes del arranque.	Técnico de mantenimiento mecánico	Rodamiento de repuesto, llaves, elementos de limpieza y EPP.	Criterio de intervención: Cumplimiento del intervalo definido.; Sello dañado o ingreso de producto al apoyo.; Recalentamiento o frenado del rodamiento. Actividad crítica por potencial detención del rotor y disparo térmico.
ESC04	Inspección visual y reemplazo preventivo del visor	Cada 1 mes o 500 h	15 min	Verificar en cada intervención la integridad del visor y su sistema de sujeción.; Confirmar ausencia de grietas, opacidad severa o daño por impacto/tensión térmica.; Reemplazar el visor si presenta deterioro que comprometa la contención o la inspección interna	Técnico de mantenimiento mecánico	Linterna, herramientas básicas, visor de repuesto, empaque/sellador compatible.	Criterio de intervención: Grieta, rotura parcial o aflojamiento del visor.; Pérdida de hermeticidad.; Opacidad o daño que impida la inspección segura.