



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Gestión de mantenimiento basado en la
confiabilidad RCM para incrementar la
disponibilidad operativa de la pulidora cónica
del Molino Los Angeles SRL - Lambayeque”**

Autor:

Bach. Tapia Torres, Antony Cristopher

Asesor:

M.Sc. Villalobos Cabrera, Jony

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Gestión de mantenimiento basado en la
confiabilidad RCM para incrementar la
disponibilidad operativa de la pulidora cónica
del Molino Los Angeles SRL - Lambayeque”**

Autor:

Bach. Tapia Torres Antony Cristopher

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE : Dr. Ing. Méndez, Cruz Oscar

SECRETARIO : M.Sc. Ing. Sosa Victoriano, José Javier

MIEMBRO : M.Sc. Ing. Tello Rodríguez, Jorge Rolando

ASESOR : M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

**“Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad
RCM para incrementar la disponibilidad operativa de la
pulidora cónica del Molino Los Angeles SRL -
Lambayeque”**

CONTENIDOS

- Capítulo I : Problema de investigación
- Capítulo II : Marco teórico
- Capítulo III : Marco metodológico
- Capítulo IV : Resultados e interpretación
- Capítulo V : Conclusiones y recomendaciones
- Capítulo VI : Referencias
- Capítulo VII : Anexos

Bach. Tapia Torres Antony Cristopher

Ing. Dr. Méndez Cruz Oscar

PRESIDENTE

Ing. M.sc Sosa Victoriano

Jose Javier

SECRETARIO

Ing. M.Sc. Tello Rodríguez
Jorge Rolando

MIEMBRO

Ing. M.Sc. Villalobos Cabrera
Jony

ASESOR

**Lambayeque – Perú
2026**

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACION N°0162-2026-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 08:00 a.m. del día Lunes 01 de junio 2026. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°089-2026-D-FIME-UNPRG, de fecha 27 de mayo 2026, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

- | | |
|--|------------|
| ▪ Dr. Ing. OSCAR MÉNDEZ CRUZ | PRESIDENTE |
| ▪ M.Sc. Ing. JOSÉ JAVIER SOSA VICTORIANO | SECRETARIO |
| ▪ M.Sc. Ing. JORGE ROLANDO TELLO RODRIGUEZ | MIEMBRO |
| ▪ M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA | ASESOR |

Se recibió la Tesis titulada:

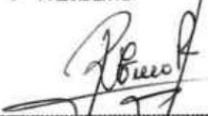
"GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD RCM PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERATIVA DE LA PULIDORA CÓNICA DEL MOLINO LOS ANGELES SRL - LAMBAYEQUE"

Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **TAPIA TORRES ANTONY CRISTOPHER.**

Finalizada la sustentación de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (16) en la escala vigesimal, mención BUENO. Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 9:00 am del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando presente esta acta el jurado respectivo:


Dr. Ing. OSCAR MÉNDEZ CRUZ
PRESIDENTE


M.Sc. Ing. JORGE ROLANDO TELLO RODRIGUEZ
MIEMBRO


M.Sc. Ing. JOSÉ JAVIER SOSA VICTORIANO
SECRETARIO


M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA
ASESOR

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

ANEXO 01

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, **M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera**, usuario revisor del documento titulado: **“GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD RCM PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERATIVA DE LA PULIDORA CÓNICA DEL MOLINO LOS ÁNGELES SRL - LAMBAYEQUE”**.

Cuyo autor es, **ANTONY CRISTOPHER TAPIA TORRES**, identificado con documento de identidad **N° 70493500** declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **16%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque 17 de junio del 2026

.....
M.SC. ING. JONY VILLALOBOS CABRERA

DNI: 16699530

ASESOR

REPORTE DEL TURNITIN

Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM
para incrementar la disponibilidad operativa de la pulidora
cónica del Molino Los Angeles SRL - Lambayeque

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	16%	2%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	7%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1%
6	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	www.promigas.com Fuente de Internet	<1%
9	www.fices.unsl.edu.ar Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet	<1%
12	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	<1%
13	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1%
repositorio.ucsm.edu.pe		

M. Sc. Ing. JONY VILLALBA CARRERA
CUI 1888630
Docente Asistente
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

REGISTRO EN EL TURNITIN



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Antony Christopher Tapia Torres
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM pa...
Nombre del archivo: TESIS_Antony_Tapia_Torres_revision_Ver07.docx
Tamaño del archivo: 4.26M
Total páginas: 180
Total de palabras: 29,615
Total de caracteres: 169,450
Fecha de entrega: 05-mar-2026 10:05a.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2895114723

	UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO" Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica PROYECTO DE INVESTIGACION Para optar el título profesional de: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA "Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM para incrementar la disponibilidad operativa de la pulidora cónica del Molino Los Angeles SRL - Lambayeque" Autor: Bach. TAPIA TORRES ANTONY CRISTOPHER Asesor: ING. M.Sc. VILLALOBOS CABRERA JONY Lambayeque - Perú 2025	
 M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA DNI 18699530 Docente Asociado Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo		

DEDICATORIA

A Dios quien ha guiado en mi camino, Nota de sapiencia y entereza espiritual que iluminó mi trayectoria académica y, consecuentemente, me otorgó la perseverancia necesaria para concretar este importante logro. A ti, Señor, dedico los frutos de este esfuerzo, pues sin tu guía y amor nada habría sido posible.

A mis padres Nina y Antonio por formarme como la persona que soy en la actualidad, que estuvieron apoyando en todo momento y son soporte para poder enfrentar todos los retos, a mis abuelos que siempre estuvieron dando consejos para mejorar cada vez más.

A mi abuela Manelly por poner en mi toda su fe y su confianza de ver este sueño hecho realidad. Ser faro de sabiduría, por sus consejos llenos de experiencia y por ser mi ejemplo de resiliencia. Sus bendiciones han sido mi sustento en este camino.

Agradezco a mis hermanos por su apoyo incondicional, a mi familia por fortalecerme en su fe y guía, y a mi compañera Ana, por estar a mi lado siendo mi soporte y alegría, por extender su mano en momento difíciles y por el amor brindado cada día.

A todos los que, con un gesto, una palabra o una oración, contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad. Esta tesis es el fruto compartido de nuestro camino juntos.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios, por ser mi guía y fortaleza durante todo este proceso, por darme sabiduría, perseverancia y la determinación para culminar este proyecto. Sin Su bendición, nada de esto habría sido posible.

A la Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo", dado que me otorgaron una preparación académica de alto nivel y por ser el espacio donde forjé conocimientos, valores y habilidades que hoy me permiten alcanzar este logro. Agradezco especialmente a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por su apoyo institucional y por promover la investigación aplicada al desarrollo industrial.

A mi asesor, Ing. M.Sc. CIP Jony Villalobos Cabrera, por su invaluable orientación, paciencia y conocimientos compartidos durante la elaboración de esta tesis. Su trayectoria y compromiso resultaron indispensables para el buen resultado de este proyecto.

A la empresa Molino Los Angeles SRL, en especial al personal de mantenimiento y producción, por facilitar los datos, el acceso a sus instalaciones y su colaboración durante el desarrollo del estudio.

Por último, a través de estas líneas, deseé expresar mi más profundo reconocimiento a todas aquellas personas que, de una u otra forma, brindaron su apoyo para la concreción de esta investigación. Este logro no es únicamente mío, sino también de quienes confiaron en mí y me brindaron su apoyo a lo largo de este camino.

RESUMEN

La investigación abordó la baja disponibilidad operativa de la pulidora cónica del Molino Los Ángeles SRL, ubicado en Lambayeque, originada por fallas mecánicas recurrentes y la ausencia de un sistema de mantenimiento estructurado. El objetivo fue implementar un modelo de gestión de mantenimiento basado en la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance) para mejorar la confiabilidad del equipo e incrementar su disponibilidad. La investigación fue de tipo aplicada, con diseño no experimental y enfoque cuantitativo, considerando como población seis pulidoras cónicas del molino. Mediante un análisis técnico se identificaron los modos de falla críticos utilizando herramientas como el AMFE y el diagrama de Pareto, priorizando aquellos con mayor impacto en la operación.

Los resultados mostraron que la disponibilidad operativa inicial de la pulidora N.º 04, entre enero y julio de 2024, fue de 85.58 %, con predominio del mantenimiento correctivo (65.43 %), seguido del preventivo (20.74 %) y predictivo (13.83 %), registrando un MTBF de 23.0 horas y un MTTR de 3.87 horas. Tras la aplicación proyectada del RCM durante siete meses, la disponibilidad operativa aumentó a 93.85 %, con mayor participación del mantenimiento preventivo (48.41 %) y predictivo (38.41 %), reduciéndose el correctivo a 13.35 %. Asimismo, el MTBF se incrementó a 48.51 horas y el MTTR se redujo a 3.17 horas. Finalmente, los indicadores económicos VAN y TIR evidenciaron la rentabilidad de la propuesta.

Palabras claves: gestión de mantenimiento, confiabilidad RCM, disponibilidad operativa

ABSTRACT

This research addressed the low operational availability of the conical polisher at Molino Los Ángeles SRL, located in Lambayeque, Bolivia, caused by recurring mechanical failures and the absence of a structured maintenance system. The objective was to implement a maintenance management model based on Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology to improve equipment reliability and increase availability. The research was applied in nature, with a non-experimental design and a quantitative approach, considering six conical polishers at the mill as the study population. Through technical analysis, critical failure modes were identified using tools such as FMEA and Pareto charts, prioritizing those with the greatest impact on operations.

The results showed that the initial operational availability of polisher No. 4, from January to July 2024, was 85.58%, with corrective maintenance predominating (65.43%), followed by preventive (20.74%) and predictive (13.83%) maintenance, registering an MTBF of 23.0 hours and an MTTR of 3.87 hours. After the projected implementation of Reliability-Centered Maintenance (RCM) for seven months, operational availability increased to 93.85%, with preventive (48.41%) and predictive (38.41%) maintenance contributing more, while corrective maintenance decreased to 13.35%. Likewise, the MTBF increased to 48.51 hours and the MTTR decreased to 3.17 hours. Finally, the NPV and IRR economic indicators demonstrated the profitability of the proposal..

Keywords: maintenance management, RCM reliability, availability

ÍNDICE

ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	1
REPORTE DEL TURNITIN	3
REGISTRO EN EL TURNITIN.....	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO.....	6
INDICE DE FIGURAS	13
INDICE DE TABALAS	15
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	19
1.1 Realidad Problemática	19
1.2 Formulación del problema de investigación	20
1.3 Delimitación de la investigación	20
1.3.1 Delimitación Teórica	20
1.3.2 Delimitación Temporal	20
1.3.3 Delimitación Espacial.....	21
1.4 Limitaciones de la Investigación.....	21
1.5 Justificación e Importancia de la Investigación	22
1.5.1 Justificación técnica	22
1.5.2 Justificación Económica.....	22
1.5.3 Justificación Ambiental	22
1.5.4 Justificación Social.....	23
1.6 Objetivos de la Investigación.	24
1.6.1 Objetivo General.	24
1.6.2 Objetivos Específicos.....	24
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	25
2.1 Antecedentes. del. Problema.....	25
2.1.1 Contexto Internacional	25
2.1.2 Contexto Nacional.....	27

2.1.3	Contexto Local	30
2.2	Bases teóricas	32
2.2.1	Pulidora Cónica.....	32
2.2.2	Principios de trabajo	33
2.2.3	El mantenimiento	35
2.2.4	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	44
2.2.5	Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)	46
2.2.6	Análisis de criticidad	47
2.2.7	Indicadores de mantenimiento	52
2.3	Definición Conceptual De La Terminología Empleada.....	54
2.3.1	Mantenimiento (Mtto)	54
2.3.2	Gestión de Mantenimiento (GM)	54
2.3.3	Plan de mantenimiento (PM).....	54
2.3.4	Elemento.....	54
2.3.5	Repuesto	55
2.3.6	Disponibilidad.....	55
2.3.7	Fiabilidad	55
2.3.8	Durabilidad.....	55
2.3.9	Vida útil	55
2.3.10	Fallo	55
2.3.11	Avería	56
2.3.12	Mantenimiento Preventivo (Mtto Prv).....	56
2.3.13	Mantenimiento Predictivo (Mtto Prd).....	56
2.3.14	Mantenimiento Correctivo (Mtto Corr).....	56
2.3.15	Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM).....	56
2.3.16	Inspección.....	56
2.3.17	Revisión	57
2.3.18	Verificación de función.....	57
2.3.19	Reparación.....	57
2.3.20	Tiempo de espera	57
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO.....		58
3.1	Tipo y diseño de la investigación.	58
3.1.1	Tipo de Investigación	58
3.1.2	Diseño de la Investigación.	58

3.1.3	Enfoque	58
3.2	Población y Muestra.....	58
3.2.1	Población	59
3.2.2	Muestra.....	59
3.3	Hipótesis	59
3.4	Operacionalización de las variables.....	59
3.5	Métodos y técnicas de investigación.....	62
3.6	Descripción de los instrumentos utilizados.	66
3.7	Análisis estadístico e interpretación de datos	67
CAPITULO IV: RESULTADOS E INTERPRETACION		68
4.1	Realizar un diagnóstico del estadio situacional de la pulidora cónica en el molino Los Angeles SRL.....	68
4.2	Elaboración la Gestión de Mantenimiento basado en la confiabilidad RCM la pulidora cónica del Molino Los Angeles SRL.	75
4.2.1	Auditoría Interna en el Área de mantenimiento.....	75
4.2.2	Diagrama de Pareto de la Auditoria del Mantenimiento.....	84
4.2.3	Análisis de criticidad de la pulidora cónica.....	93
4.2.4	Análisis de causas raíz de modos de falla críticos.....	100
4.2.5	Definición de las tareas de mantenimiento general aplicables a la pulidora cónica N° 4.....	103
4.2.6	Categorización de modos de falla por sistemas	103
4.2.7	Definición de tareas de mantenimientos para los sistemas críticos 105	
4.2.8	Establecimiento periódico de mantenimiento muy crítico	108
4.2.9	Diagrama de decisión RCM	111
4.2.10	Definición de tareas de mantenimiento para sistemas menos críticos 115	
4.2.11	Establecimiento periódico de mantenimiento poco crítico	119
4.2.12	Plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM)	120
4.2.13	Proyección en Sistema Estructura.....	127
4.2.14	Proyección en sistema de motor.....	140
4.2.15	Proyección en sistema de transmisión.....	145
4.2.16	Proyección en sistema eléctrico.....	150
4.2.17	Proyección de indicadores de disponibilidad tras implementación del Plan de Mantenimiento RCM	157

4.3	Determinación de la nueva disponibilidad operativa de la pulidora cónica después de aplicar la Gestión de Mantenimiento basado en la confiabilidad RCM	159
4.4	Evaluar económicamente de la propuesta de Gestión de Mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM).	163
4.4.1	Análisis de costos del mantenimiento general para la pulidora cónica.	163
4.4.2	Capacitación de operadores de los equipos y al personal técnico	163
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		170
CAPITULO VI: REFERENCIAS		172
CAPITULO VII: ANEXOS		176

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Vista de planta, Molino Los Angeles E.I.R.L.....	21
Figura 2	Pulidora Cónica de Arroz.....	33
Figura 3	Principios de trabajo de la pulidora cónica	34
Figura 4	Pulidora cónica desmontada	34
Figura 5	Evolución del mantenimiento.....	35
Figura 6	Avance del mantenimiento a lo largo de la historia	36
Figura 7	Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial	43
Figura 8	Análisis cualitativo del riesgo.....	49
Figura 9	Base para la clasificación de activos	49
Figura 10	Planilla de decisiones de RCM	50
Figura 11	Árbol de decisiones de RCM	51
Figura 12	Diagrama de Ishikawa de la Pulidora Cónica	63
Figura 13		69
Figura 14	Estimación de Puntajes en la pulidora cónica	70
Figura 15	Matriz de criticidad.....	70
Figura 16	Auditoria de mantenimiento - Organización de mantenimiento	76
Figura 17	Organización del mantenimiento	77
Figura 18	Planeamiento del mantenimiento	78
Figura 19	Auditoria de mantenimiento - Planeamiento de mantenimiento	78
Figura 20	Ejecución del Mantenimiento.....	79
Figura 21	Auditoria de Mantenimiento - Ejecución del mantenimiento	79
Figura 22	Habilidad del Personal de Mantenimiento	80

Figura 23 Auditoria de Mantenimiento - Habilidad del personal de Mantenimiento	80
Figura 24 Auditoria del Mantenimiento - Abastecimiento del Mantenimiento	81
Figura 25 Abastecimiento del Mantenimiento	81
Figura 26 Auditoria de Mantenimiento - Administración del Mantenimiento	82
Figura 27 Administración del Mantenimiento	82
Figura 28 Componentes general del mantenimiento	84
Figura 29 Diagrama de Pareto de Organización	86
Figura 30 Diagrama de Pareto Ejecución.	87
Figura 31 Diagrama de Pareto Planificación	88
Figura 32 Diagrama de Pareto Habilidades del personal	90
Figura 33 Diagrama de Pareto de Abastecimiento.	91
Figura 34 Diagrama de Pareto de Administración de mantenimiento.....	92
Figura 35 Flujograma de planificación y programación del mantenimiento.	126

INDICE DE TABALAS

Tabla 1	Análisis Comparativo: Beneficios y Limitaciones del Mantenimiento Correctivo.....	40
Tabla 2	Formato Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).	46
Tabla 3	Listado Pulidoras cónicas de la línea de producción del Molino Los Angeles	59
Tabla 4	Operacionalización de variables.	61
Tabla 5	Registro de fallas de la Pulidora N°04 de data de 7 meses antes del RCM	71
Tabla 6	Situación actual de la pulidora cónica N°04 antes del RCM	73
Tabla 7	Costo por el tipo de mantenimiento antes del RCM	74
Tabla 8	Valorización	75
Tabla 9	Análisis General	83
Tabla 10	Pareto de Organización	85
Tabla 11	Pareto Ejecución.	86
Tabla 12	Pareto Planificación	87
Tabla 13	Pareto de Habilidad del Personal.....	88
Tabla 14	Pareto de Abastecimiento	90
Tabla 15	Pareto de Administración.	91
<Tabla 16	Acción a realizar de los componentes más críticos	93
Tabla 17	Escala de referencia de niveles de criticidad	96
Tabla 18	Escala de calificación y criterios	97
Tabla 19	Análisis de criticidad de la Pulidora Cónica N°04.....	98
Tabla 20	Niveles de criticidad	98
Tabla 21	Modos de falla aplicables a escalas de criticidad.....	99

Tabla 22	Lista de causa raíz de modos de falla.....	101
Tabla 23	Categorización sistemático de modos de fallo	103
Tabla 24	Especificación de sistemas más críticos de la pulidora cónica N°04 ..	104
Tabla 25	Especificación de sistemas menos críticos de la pulidora cónica N°04	104
Tabla 26	Tareas de mtto para sistema de Estructura – Rotura de frenos.....	105
Tabla 27	Tareas de mtto para sistema de Estructura – Sobrecarga de material	106
Tabla 28	Tareas de mtto para Sistema de Motor – Correas desgastadas.....	107
Tabla 29	Periodicidad de mantenimiento de Sistema de Estructura - Rotura de frenos	109
Tabla 30	Periodicidad de mantenimiento de Sistema de Estructura - Sobrecarga de material.....	109
Tabla 31	Periodicidad de mantenimiento de Sistema de Motor - Correas desgastadas.....	110
Tabla 32	Tareas de mantenimiento para el Sistema de Transmisión	115
Tabla 33	Tareas de mantenimiento para el Sistema de Estructura	116
Tabla 34	Tareas de mantenimiento para el Sistema de Motor.....	117
Tabla 35	Tareas de mantenimiento para el Sistema Eléctrico	117
Tabla 36	Periodicidad general de mantenimiento por sistemas que son menos críticos	119
Tabla 37	Sistemas más críticos	127
Tabla 38	Proyecciones del sistema estructura para rotura de frenos	130
Tabla 39	Proyecciones del sistema estructura para sobrecarga de material	133
Tabla 40	Proyecciones del sistema estructura para suciedad interna	135

Tabla 41	Proyecciones del sistema estructura para falla succión de polvo.	138
Tabla 42	Proyecciones del sistema estructura para daños de cribas.	140
Tabla 43	Proyecciones del sistema de motor para correas desgastadas.	143
Tabla 44	Proyecciones del sistema de motor para engrase de rodamientos.	145
Tabla 45	Proyecciones del sistema de transmisión para desgaste de piedra.	147
Tabla 46	Proyecciones del sistema de transmisión para desalineación del eje.	150
Tabla 47	Proyecciones del sistema eléctrico para falla de tablero.	152
Tabla 48	Proyecciones del sistema eléctrico para falla de pulsador.	154
Tabla 49	Proyecciones del sistema eléctrico para falla de pulsador.	157
Tabla 50	Nuevo registro de fallas de la pulidora cónica N°04 después de aplicar RCM.	158
Tabla 51	Indicadores de la pulidora cónica N°04 aplicando RCM	161
Tabla 52	Comparativo del antes y después de aplicar el RCM en la disponibilidad de la pulidora cónica N°04.	162
Tabla 53	Equipamiento requerido para el Mantenimiento de los Sistemas Críticos.	163
Tabla 54	Cuadro de capacitación	164
Tabla 55	Costo del mantenimiento del sistema de estructura.	165
Tabla 56	Costo del mantenimiento del sistema de motor.	166
Tabla 57	Costo del mantenimiento del sistema de transmisión.	166
Tabla 58	Costo de la capacitación por un profesional.	167
Tabla 59	Costo Total de la pulidora cónica N°04.	168
Tabla 60		168

INTRODUCCIÓN

La presente tesis realiza la Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM para incrementar la disponibilidad operativa de la pulidora cónica del Molino Los Angeles SRL - Lambayeque.

En el capítulo I se discute el problema de investigación la disponibilidad operativa de la pulidora cónica. Esto da como resultado la formulación del problema de investigación, las delimitaciones, los limitantes, las justificaciones y el objetivo general y la formulación de los objetivos específicos orientados a su cumplimiento.

En el capítulo II la investigación presentó el marco teórico relacionado con los antecedentes del problema a nivel internacional, nacional y local; asimismo, desarrolló las bases teóricas que fundamentan el estudio.

El capítulo III explica el tipo y diseño de investigación, la población y muestra y cómo se recopilará y procesará la información, así como las herramientas que se utilizarán.

El capítulo IV presentó los resultados obtenidos a partir del diagnóstico, la elaboración del plan de GM, la determinación de la disponibilidad operativa y la evaluación de los indicadores financieros correspondientes.

Las conclusiones y sugerencias se exponen en el capítulo V.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Realidad Problemática

La industria del arroz en el Perú es uno de los motores económicos del país, con un alto nivel competitividad y exigencia operativa. En este contexto tener buenas condiciones las líneas de producción garantiza que el producto producido por este sea de buena calidad para el consumo humano.

Actualmente la empresa Molino Los Ángeles SRL está situada en la vía que se extendía por la carretera Panamericana Norte en dirección a Lambayeque, ubicada en el kilómetro 778, atravesaba el territorio del Distrito de Lambayeque., Provincia Lambayeque, Departamento Lambayeque. Esta empresa presente en el mercado nacional, teniendo como actividades el acopio, pilado, añejado, embolsado y la comercialización de arroz. El Molino antes mencionado la cual tiene como base principal en estrategia de preventivas programadas y correctivas, lo que derivan en fallas imprevistas, reducción de la disponibilidad operativa y altos costos asociados a paradas no planificadas a causa de esto se realizó el análisis de disponibilidad encontrándose 85.58%. en las pulidoras cónicas

Para que este problema exista es debido a la falta de mantenimiento, la falta de repuesto, falla de motor eléctrico debido a arranques bruscos, fugas de material por desgaste de mallas, manejo inadecuado por parte del operado, cuenta con mantenimiento predictivo muy escaso, y hay mucho mantenimiento correctivo el cual retrasa los arranque por falta de coordinación entre producción y mantenimiento, contaminación del arroz con piedras o cuerpos extraños los cuales dañan el equipo.

De no implementarse medidas correctivas, la escasa disponibilidad de maquinaria para el procesamiento de arroz podría comprometer significativamente tanto la eficiencia operacional como la rentabilidad de la empresa y de esta manera bajaría su prestigio.

Ante toda esta realidad problemática mi aporte proponer un plan de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad (GMBC) para incrementar la disponibilidad operativa.

1.2 Formulación del problema de investigación

¿Es factible incrementar la disponibilidad operativa de la pulidora cónica del Molino Los Angeles SRL - Lambayeque mediante la GMBC?

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Delimitación Teórica

Se centra en la GMBC que es una metodología muy poderosa que aplicada de forma correcta mejora relevantemente, utilizando los indicadores de MTBF y MTTR en la empresa Molino Los Ángeles SRL que se dedica al procesamiento de arroz, teniendo moderna tecnología y la diversidad de profesionales los cuales producen productos de calidad según los más altos estándares.

1.3.2 Delimitación Temporal

La presente investigación es de un periodo del año 2024.

1.3.3 Delimitación Espacial

El establecimiento industrial Molino Los Ángeles SRL tuvo su emplazamiento en la progresiva kilométrica 778 de la vía Panamericana Norte con dirección a Lambayeque, en el ámbito territorial del Distrito Lambayeque, perteneciente a la provincia y departamento del mismo nombre.

Figura 1

Vista de planta, Molino Los Angeles E.I.R.L.



Nota: Google Maps.

1.4 Limitaciones de la Investigación

La tesis será desarrollada en la línea de producción del Molino Los Angeles en donde no se ha tenido ninguna limitación.

1.5 Justificación e Importancia de la Investigación

1.5.1 Justificación técnica

La GMBC en el Molino Los Ángeles SRL busca solucionar las deficiencias en la operación y mantenimiento de sus equipos. Este enfoque utiliza herramientas tal como análisis de modos y efectos de fallo (AMFE) y el índice de criticidad (IC) para identificar y mitigar fallas de manera sistemática. Además, prioriza recursos en áreas críticas, prolonga la vida útil de los activos, reduce interrupciones no programadas y optimiza el rendimiento de equipos clave como la pulidora cónica, esencial en la producción de arroz.

1.5.2 Justificación Económica

Económicamente, este proyecto es viable y beneficioso para la empresa, ya que un aumento en la disponibilidad operativa de los equipos reduce significativamente los costos asociados a las fallas mecánicas, reparaciones correctivas y paradas no programadas. Además, la optimización de los recursos mediante la implementación de un mantenimiento basado en RCM disminuye la dependencia de intervenciones de emergencia, lo que se traduce en un menor costo por hora de producción detenida. La mejora en la eficiencia productiva también permite atender de manera oportuna la creciente demanda del mercado, lo que genera mayores ingresos y una mejor competitividad de la empresa en el sector.

1.5.3 Justificación Ambiental

El mantenimiento adecuado de los equipos minimiza emisiones, desechos y desperdicios, como el polvo de la pulidora cónica y el arroz perdido en

interrupciones. Un enfoque basado en confiabilidad reduce el consumo de energía y materiales al evitar la sobre exigencia de los equipos, promoviendo un uso sostenible de los recursos y disminuyendo el impacto ambiental, en línea con prácticas industriales responsables.

1.5.4 *Justificación Social*

La implementación de esta metodología mejora las condiciones laborales al reducir el estrés y las jornadas extenuantes causadas por fallas frecuentes. Además, garantiza la estabilidad operativa, asegurando una producción continua y fortaleciendo la cadena de suministro. Esto contribuye a satisfacer eficientemente el mercado local, generar empleo estable y posicionar a la empresa como un motor del desarrollo económico regional.

La investigación tuvo como finalidad de incrementar la disponibilidad de la pulidora cónica de producción en la empresa Molino Los Angeles SRL mediante la implementación de la gestión RCM. Se procuró mantener la pulidora en condiciones óptimas, evitando fallos que pudieran ocasionar la emisión de líquidos, materiales dañinos tanto para el medio ambiente como para el personal. De este modo, se evidenció una ventaja significativa para la empresa, dado que la aplicación de esta gestión contribuyó a preservar la vida útil del equipo.

La pulidora cónica, al presentar un nivel elevado de disponibilidad y ser un componente esencial de la línea de producción, permitió mejorar significativamente la producción. En consecuencia, se posibilitó trabajar un mayor número de horas de forma continua, optimizando así el rendimiento operativo del proceso productivo.

1.6 Objetivos de la Investigación

1.6.1 *Objetivo General*

Elaborar un plan de GMBC para mejorar la disponibilidad operativa de la pulidora cónica del Molino Los Angeles SRL.

1.6.2 *Objetivos Específicos*

1. Realizar. un diagnóstico del estadio situacional de la pulidora cónica en el molino Los Angeles SRL.
2. Elaborar la GMBC la pulidora cónica del Molino Los Angeles SRL.
3. Evaluar los nuevos parámetros después del RCM de la pulidora cónica N°04 en el molino.
4. Evaluar económicamente la Gestión de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Problema

2.1.1 Contexto Internacional

En Colombia, Aviles (2022) en su estudio “Propuesta de Plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM) para los Vehículos de la Empresa Arancel Servicios Logísticos y Financieros S.A.S”, La meta de este plan tiene como finalidad mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la flota, reduciendo las fallas recurrentes, los costos asociados y los tiempos de inoperatividad, garantizando una operación eficiente igualmente la investigación siguió un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) y se basó en la norma SAE JA1011. Se llevaron a cabo análisis de fallas utilizando registros históricos, observación directa y entrevistas no estructuradas. La criticidad de los componentes fue evaluada tomando en cuenta la frecuencia de fallas y los costos asociados al mantenimiento. Asimismo, se aplicó un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) con el objetivo de identificar los problemas más recurrentes. Posteriormente, se diseñaron tareas preventivas y correctivas para conformar un plan de mantenimiento RCM efectivo. En otras palabras, la implementación de dicho plan mejoró notablemente la confiabilidad y operatividad de la flota vehicular, reduciendo tanto los costos de reparación como las paradas no planificadas. Este enfoque permitió a la empresa optimizar sus recursos, aumentar la satisfacción del cliente y cumplir de manera eficiente con sus compromisos logísticos, fortaleciendo así su competitividad en el mercado.

En Ecuador, Yauli Achachi (2022) en la investigación de la “Aplicación de la metodología RCM para la gestión de los equipos industriales en la empresa ILPM ENGINEERING CIA. LTDA”. El estudio tuvo como objetivo principal diseñar

una metodología en RCM con el fin de optimizar la gestión de los equipos industriales en la empresa ILPM Engineering CIA. LTDA. Este enfoque pretendió reducir la frecuencia de fallos en los equipos críticos, incrementando su confiabilidad y disponibilidad operativa, en concordancia con las necesidades productivas de la empresa. Para ello, se desarrolló una investigación de tipo descriptivo que utilizó técnicas como el levantamiento de información sobre procesos y equipos, el análisis de modos de falla y la determinación de criticidad. Asimismo, se implementó un modelo de codificación para los equipos y se identificaron las actividades preventivas requeridas. La planificación se estructuró mediante el uso del software MP10, lo que facilitó la organización, almacenamiento y consulta de la información. Las fases metodológicas incluyeron la caracterización, el análisis a través de la criticidad, la estructuración de tareas preventivas y la validación de un plan maestro de mantenimiento. En otras palabras, la aplicación de la metodología RCM permitió optimizar la gestión del mantenimiento en la empresa, reduciendo significativamente la frecuencia de fallos y mejorando la confiabilidad de los equipos críticos. Esto se tradujo en un incremento de la disponibilidad operativa, mayor seguridad en los procesos y una mejora en la sostenibilidad económica. Además, el uso del software MP10 contribuyó a la sistematización de las actividades de mantenimiento, consolidando una estrategia eficiente y bien documentada para la gestión técnica.

En Ecuador, los autores Flores Romero et al (2021). En la investigación de “Elaboración de un plan de mantenimiento basado en RCM para la flota vehicular de la empresa pública EMMAIPC-EP”. El estudio tuvo como finalidad diseñar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para optimizar

el funcionamiento de la flota vehicular de la empresa pública EMMAIPC-EP quien es responsable de la recolección de residuos sólidos en los cantones de Cañar, Biblián, El Tambo y Suscal, con la meta de reducir fallos y mejorar la eficiencia operativa. Para ello, se empleó una investigación técnica que incluyó el análisis de los historiales de mantenimiento correctivo comprendidos entre 2017 y 2020, así como la aplicación de la teoría de Pareto para priorizar los elementos críticos. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de criticidad de los sistemas automotrices con mayor susceptibilidad a fallos. La información recopilada permitió diseñar un plan de mantenimiento proactivo, basándose en las siete preguntas del RCM conforme a la norma SAE JA1011, con énfasis en garantizar la funcionalidad y minimizar las paradas inesperadas. En otras palabras, la implementación del plan con RCM en el conjunto de vehículos de EMMAIPC-EP redujo significativamente las fallas críticas, mejorando la continuidad operativa del servicio de recolección de residuos. Además, el análisis de criticidad y el enfoque proactivo contribuyeron a optimizar los costos y asegurar un servicio eficiente, sostenible y seguro para la comunidad.

2.1.2 Contexto Nacional

En Huancayo, Aguirre Cancion (2021). En esta investigación “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los equipos críticos de producción de comprimidos de un laboratorio farmacéutico”. El estudio tuvo como propósito aplicar un plan (RCM) de mejora la disponibilidad de los equipos de la fabricación de comprimidos en un laboratorio farmacéutico. Este plan buscó optimizar el funcionamiento del equipo de tratamiento de agua purificada, reduciendo las fallas y maximizando su desempeño. Para ello, se empleó un enfoque cuantitativo que incluyó el análisis

de criticidad, el AMEF y el uso de indicadores de mantenimiento como MTTR y MTBF. Además, se implementaron herramientas estadísticas, tales como las pruebas de Shapiro-Wilk y T-Student, para validar la hipótesis y medir el impacto del programa RCM en la disponibilidad del equipo crítico (EC). Las tareas se planificaron con base en los parámetros de confiabilidad establecidos. De este modo, la implementación del RCM incrementó la operatividad de los equipos de tratamiento de agua purificada del 86.5% al 96%. Esto demostró que el RCM fue efectivo para mejorar el desempeño de equipos críticos en entornos productivos, garantizando condiciones óptimas para la continuidad operativa. Asimismo, los resultados estadísticos confirmaron el impacto significativo de esta metodología en la reducción de fallas y el aumento de la eficiencia operativa.

En Ayacucho, Bocanegra Solorzano (2023). Tiene como investigación la “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de equipos lanzadores de shotcrete en una minera, Ayacucho”. La investigación tuvo como finalidad determinar de qué manera la aplicación del RCM mejoró el rendimiento operativo de los equipos lanzadores de shotcrete en una minera de Ayacucho, optimizando su operatividad y reduciendo los tiempos de inactividad. Para ello, se elaboró una investigación aplicada con un diseño pre-experimental y con un enfoque cuantitativo. La población la cual estuvo conformada por cinco equipos lanzadores de shotcrete. Las técnicas utilizadas incluyeron la observación y el análisis documental, mientras que los instrumentos empleados fueron checklists, reportes de mantenimiento y fichas de registro. Además, se aplicó herramientas como el análisis de Pareto, el AMEF y pruebas estadísticas T de Student para evaluar indicadores clave como la disponibilidad, MTBF y el MTTR. De esta manera, la implementación incrementó la

disponibilidad de los equipos del 83% al 97%, el MTBF aumentó de 47 a 88 horas y el MTTR disminuyó de 18 a 5 horas. Estos resultados demostraron que el RCM fue una metodología efectiva para mejorar el rendimiento de los equipos críticos en operaciones mineras, al reducir fallas y costos asociados, y garantizar una mayor productividad.

En Callao, Galvan Mendoza (2024). En su investigación “Implementación de mantenimiento centrado en confiabilidad para reducir costos de mantenimiento de las bombas de molienda en una planta minera”. El objetivo fue implementar un programa en RCM para reducir los costos de las bombas de molienda en una planta minera, mejorando su operatividad y asegurando la continuidad del proceso de producción. Para ello, fue una investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño preexperimental. Se analizaron las bombas críticas SHURCO 12S250 mediante herramientas como el AMEF y el análisis de Pareto. Además, se utilizaron modelos de gestión de mantenimiento (GM) a través del software SAP para estructurar tareas preventivas, predictivas y correctivas. Los datos obtenidos fueron validados mediante el análisis de indicadores como MTTR, MTBF y costos de mantenimiento, los cuales fueron evaluados estadísticamente. En otras palabras, reducción de los costos de mantenimiento correctivo y total en comparación con métodos tradicionales, mejorando la confiabilidad de las bombas y aumentando su disponibilidad. Esto demostró que el enfoque resultó eficiente y sostenible para equipos críticos, facilitando la planificación y gestión operativa a largo plazo en la industria minera.

2.1.3 Contexto Local

En Lambayeque, Tesen Inga (2024). En su investigación “Elaboración de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para incrementar la disponibilidad del tractor agrícola John Deere 5090 de la empresa plantaciones del Sol – Motupe 2023 ”, el objetivo consistió en elaborar un plan de mantenimiento basado (PMB) en la metodología RCM para mejorar la disponibilidad operativa (DO) de la maquinaria John Deere 5090 en la empresa, ubicada en Motupe, Lambayeque, durante el periodo 2023. Para ello, se empleó un enfoque cuantitativo con diseño no experimental y alcance descriptivo. El estudio incluyó el diagnóstico de la condición del tractor, mediante la identificación de AMEF más críticos en sistemas esenciales como el motor, la transmisión y la estructura. Se implementaron tareas de mantenimiento como preventivo, predictivo y correctivo, y se utilizaron MTBF, MTTR y disponibilidad para evaluar la efectividad del plan propuesto. En otras palabras, el plan diseñado e implementado logró incrementar la disponibilidad operativa del tractor del 85.16% al 90.3%, lo que representó una mejora del 5.14%. Además, se proyectó un ahorro significativo en los costos de mantenimiento, evidenciando así la viabilidad de esta metodología para optimizar recursos y garantizar la sostenibilidad operativa

En Lambayeque, en su investigación de Flores Jiménez (2022) sobre “Plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad del equipo de alta criticidad en la línea de deshidratado de la Planta de Alimentos Villa Andina S.A.C – Cajamarca”. Además, este estudio tuvo como objetivo implementar un plan de mantenimiento (PM) en (RCM) para mejorar la disponibilidad del equipo de mayor criticidad, específicamente el

deshidratador N°2, en la línea de deshidratado de la Planta de Alimentos Villa Andina S.A.C., ubicada en Cajamarca. Para ello, se empleó un diseño no experimental con un enfoque descriptivo aplicado. El proceso incluyó un análisis de criticidad de los equipos, la identificación de AMEF, así como la definición de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo. Los resultados fueron analizados utilizando indicadores como MTBF, MTTR y la densidad de fallas. En consecuencia, la implementación del plan de mantenimiento basado en RCM logró aumentar la disponibilidad del deshidratador N°2 del 92.6% al 96.2%, reduciendo de manera significativa las fallas operativas. Además, se produjeron ahorros económicos de S/. 4,178 en mantenimiento y S/. 149,835 en costos de producción, lo que evidenció la efectividad del RCM como herramienta para optimizar recursos y garantizar la sostenibilidad operativa de los equipos críticos en procesos industriales.

En Lambayeque, la investigación de Martínez Arboleda (2023) “Sistema de gestión basado en la metodología del RCM para mejorar la disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción de barras de construcción N°1 de SIDERPERU, provincia del Santa, departamento de Ancash”. En donde el propósito fue desarrollar un sistema de gestión fundamentado en la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) dado que se buscó mejorar la disponibilidad operativa de los sistemas mecánicos de la línea productora de barras de construcción N°1 de Siderperú, establecida en la provincia del Santa, departamento de Áncash, en consecuencia, se ejecutó el presente estudio, a lo cual se aplicó un enfoque descriptivo y explicativo utilizando herramientas como el AMFE y la matriz de priorización de criticidad para identificar equipos críticos y sus fallos. Con base en estos análisis, se

elaboró un PM preventivo y predictivo, sustentado en el árbol lógico de decisiones de la metodología RCM, para asignar tareas específicas que minimicen las fallas y optimicen la operatividad en general la implementación del sistema con RCM incrementó la disponibilidad de los equipos mecánicos de 86% a 94%, logrando una reducción significativa de las paradas no programadas y un retorno económico proyectado de \$510,337 en el primer año. Esto evidencia que el uso del RCM también optimiza costos y asegura la sostenibilidad operativa de la planta.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 *Pulidora Cónica*

Pulidora cónica de arroz que utiliza una piedra para poder pulir el grano de arroz la cual, gracias a la fuerza centrífuga, el grano de arroz que ingresa por una tolva en la parte superior, luego ingresa a la pulidora el cual gracias a los frenos se regular para que el grano de arroz no se quiebre y este pueda tener el pulido característico, para eliminar el polvo producto del pulido se cuenta con cribas y un sistema recolector de polvo.

Figura 2

Pulidora Cónica de Arroz



Nota: Foto tomado en el Molino Los Angeles.

2.2.2 Principios de trabajo

1. El arroz blanco sin pulir llega a la entrada de la tolva a través de un elevador, el producto cae dentro de la pulidora.
2. La piedra gira haciendo que el grano de arroz frote la superficie de la piedra pulidora y esta abrillante el grano de arroz, en donde se aplica frenos para graduar el tamaño del grano de arroz
3. El residuo del pulido es sacado a través de las cribas (malla con agujeros), donde es eliminado por el sistema aspiración que genera una corriente de aire.
4. El arroz pulido cae por gravedad a la tolva que lo lleva al siguiente proceso.

Figura 3

Principios de trabajo de la pulidora cónica



Nota: Foto tomado en el Molino Los Angeles

Figura 4

Pulidora cónica desmontada



Nota: Foto tomado en el Molino Los Angeles

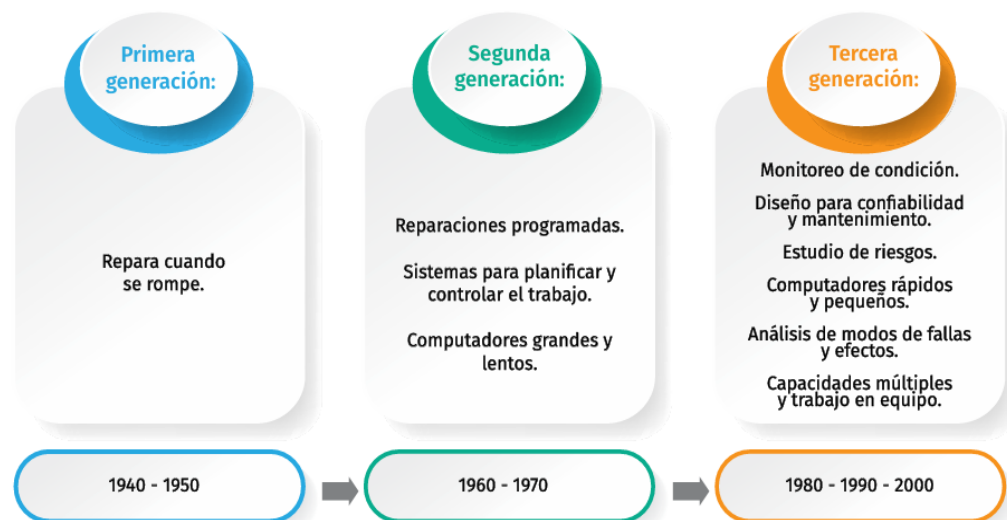
2.2.3 El mantenimiento

El mantenimiento tiene como la definición según Pérez Rondón (Pérez Rondón, 2021) que es un conjunto de acciones que debe realizar el encargado de un área específica, área de equipo, maquinaria, repuestos con el fin de que el proceso industrial se encuentre en condiciones requeridas para su correcto funcionamiento que fue diseñado, cumpliendo con los parámetros de desempeño.

El mantenimiento ha tenido grandes cambios a lo largo de la historia, en la figura 5 se detalla la evolución que tuvo.

Figura 5

Evolución del mantenimiento

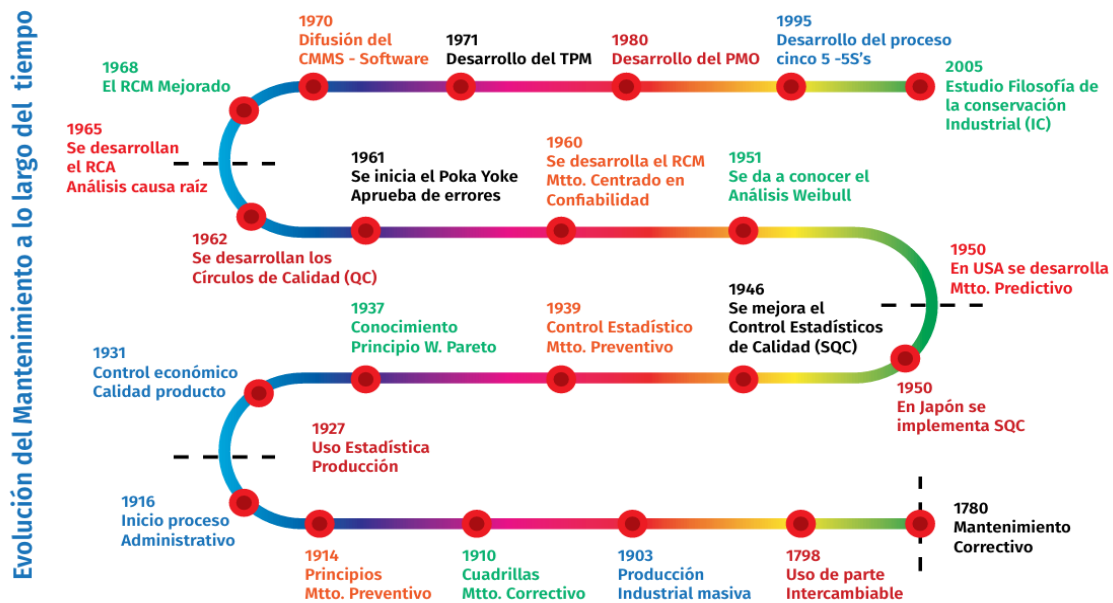


Nota: "Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)", Moubray (2024)

Es así que se puede observar en la figura 6 como a través de los años han variado las características principales en la evolución del mantenimiento industrial.

Figura 6

Avance del mantenimiento a lo largo de la historia



Nota: "Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial", Pérez Rondón, (2021)

Según (Pérez Rondón, 2021) entre las tendencias de la gestión del mantenimiento tenemos:

Período Inicial: Era Pre-Industrial (Antes de 1950)

Durante esta etapa fundacional, las organizaciones adoptaron un enfoque reactivo hacia el mantenimiento de equipos. Las intervenciones se realizaban únicamente cuando los sistemas presentaban fallas operacionales, caracterizándose por:

- Implementación de reparaciones reactivas exclusivamente
- Ausencia de planificación preventiva en los procesos industriales
- Estrategia de "reparar cuando se rompe" como filosofía dominante

Segunda Etapa: Revolución Preventiva (1950-1980)

En esta fase, se produjo una transformación significativa hacia enfoques más sistemáticos. Las organizaciones comenzaron a desarrollar metodologías proactivas que incluían:

- Desarrollo de rutinas preventivas basadas en intervalos temporales establecidos
- Implementación de mantenimiento correctivo programado con planificación anticipada
- Establecimiento de sistemas organizacionales para la planificación y supervisión de actividades

Creación de estructuras de control para optimizar recursos y tiempo

Tercera Era: Integración Tecnológica (1980-1995)

Durante este período, surgieron metodologías avanzadas que revolucionaron la gestión de activos industriales:

- Implementación de técnicas predictivas mediante monitoreo de condiciones
- Desarrollo de criterios de confiabilidad y facilidad de mantenimiento en el diseño
- Aplicación de metodologías AMEF
- Evaluación económica del ciclo de vida de equipos industriales
- Integración de principios de calidad total en procesos de mantenimiento
- Adopción de estrategias de tercerización especializada
- Implementación de tecnologías inteligentes y sistemas expertos
- Desarrollo de metodologías TPM y RCM como enfoques integrales

Cuarta Generación: Era de la Excelencia Operacional (1995-2011)

Esta etapa se caracteriza por la implementación de enfoques holísticos y estrategias de clase mundial:

Gestión Estratégica Integrada:

- Administración integral basada en conceptos innovadores de gestión de activos
- Implementación de metodologías TPM-RCM con enfoque hacia la excelencia operacional
- Desarrollo de estrategias proactivas orientadas a la gestión de riesgos

Orientación hacia Resultados:

- Administración enfocada en objetivos y satisfacción del cliente interno/externo
- Modelos de contratación basados en compartición de riesgos y resultados
- Sistemas de incentivos vinculados al desempeño operacional
- Sistemas de Calidad y Mejora Continua:
- Implementación de certificaciones integradas bajo estándares ISO 9000 e ISO 14000
- Desarrollo de procesos de benchmarking para identificación de mejores prácticas
- Metodologías de evaluación de riesgos y nuevos enfoques de consistencia operacional
- Innovación y Gestión del Conocimiento

- Procesos de reingeniería continúa orientados a maximizar disponibilidad
- Implementación de sistemas de gestión del conocimiento
- Desarrollo de estrategias de eficiencia energética como componente integral

Entre los tipos de mantenimiento más usados mundialmente tenemos: el mantenimiento correctivo (Mtto Corr), preventivo (Mtto Prv) y el predictivo (Mtto Prd) (Pérez Rondón, 2021)

El **mantenimiento correctivo**, asimismo denominado mantenimiento reactivo, como la estrategia de intervención que se aplicaba subsecuente a la interrupción del funcionamiento de la máquina, causada por la manifestación de anomalías o fallas de carácter no anticipado. De esta manera, su objetivo preponderante consistió en recuperar la operatividad funcional del sistema mecánico., procurando minimizar la afectación a la productividad. Para ello, se ejecutaron las labores de reparación o sustitución del componente correspondiente, procurando llevar a cabo estos procesos en el menor tiempo posible con el objetivo de reducir al máximo las interrupciones en la operación.

El **mantenimiento correctivo no programado** se produce la activación como consecuencia de un fallo operativo detectado en el equipo, ocasionando así la interrupción de su funcionamiento. En consecuencia, fue necesario retirar la pieza averiada y reemplazarla por un componente nuevo o usado.

El **mantenimiento correctivo programado o planificado** la ejecución de esta acción se realizó una vez que se constató la proximidad de un fallo en alguno de los componentes de los equipos, evidenciando la necesidad de

intervención oportuna; se planificó la intervención con el fin de corregir esta posible falla antes de que ocurriera (Pérez,2021).

En la tabla 1 se describen Análisis Comparativo: Beneficios y Limitaciones del Mantenimiento Correctivo.

Tabla 1

Análisis Comparativo: Beneficios y Limitaciones del Mantenimiento Correctivo

BENEFICIOS IDENTIFICADOS	LIMITACIONES OBSERVADAS
Extensión de vida útil de equipos	Aparición impredecible de averías
Los estudios demostraron que esta metodología contribuyó significativamente a extender la durabilidad de equipos mediante la reparación oportuna de componentes deteriorados. En consecuencia, se logró corregir deficiencias operacionales evitando el descarte prematuro de maquinaria.	Las investigaciones revelaron que las fallas surgían de manera impredecible durante períodos críticos de operación. Por consiguiente, esta imprevisibilidad generó interrupciones no planificadas en los procesos productivos.
Ausencia de costos fijos de mantenimiento	Incremento en inventarios de repuestos
La implementación de este enfoque eliminó la necesidad de generar gastos regulares en actividades preventivas. De esta manera, las organizaciones evitaron inversiones programadas que no se ejecutaron.	Los análisis evidenciaron que las empresas requirieron mantener inventarios extensos de componentes de repuesto. Consecuentemente, se generaron costos elevados de almacenamiento y capital inmovilizado.
Optimización del rendimiento económico	Reducción de la vida útil operacional
Los resultados mostraron que, durante períodos específicos, esta estrategia proporcionó beneficios económicos favorables cuando los equipos operaron sin requerir intervenciones.	Las evaluaciones demostraron que los equipos experimentaron una disminución acelerada de su vida útil debido a la ausencia de diagnósticos preventivos. Por tanto, las causas de las averías permanecieron sin identificar hasta la manifestación de fallas críticas.
Disponibilidad de tecnología avanzada	Complejidad en actividades de mantenimiento
La investigación mostró que existieron sistemas, equipos y herramientas especializadas que facilitaron la ejecución del mantenimiento correctivo. Además, los dispositivos electrónicos modernos proporcionaron capacidades de diagnóstico avanzadas.	Los estudios revelaron que ciertas actividades demandaron procesos de limpieza, lubricación y revisión de componentes que requirieron mantenimiento continuo y especializado para garantizar su funcionamiento óptimo.
Justificación para adopción estratégica	Riesgos operacionales y ambientales

Los análisis indicaron que múltiples organizaciones industriales adoptaron este enfoque como estrategia principal de gestión de mantenimiento debido a su aparente simplicidad operacional.

Las evaluaciones determinaron que las averías o comportamientos anómalos de equipos, componentes y sistemas generaron riesgos significativos para la producción, el personal, el medio ambiente y los activos empresariales. En este contexto, la dependencia exclusiva del mantenimiento correctivo demandó el respaldo de técnicos altamente especializados, inventarios extensos de repuestos y medidas de contingencia robustas.

Nota: Elaboración propia

El **mantenimiento preventivo** constituyó un proceso que se sustentó en una estructura integral de labores y actividades programadas, desarrolladas sistemáticamente dentro de períodos específicos previamente establecidos. Consecuentemente, se posibilitó la garantía de la correcta ejecución y el control riguroso de cada etapa inherente al procedimiento.. Se ideó con la finalidad primordial de asegurar que los activos industriales de las organizaciones satisficieran adecuadamente las funciones requeridas dentro de su ambiente operativo, orientándose hacia la optimización sustancial de la eficiencia de los procesos. Asimismo, se direccionó hacia la prevención proactiva y la anticipación de fallas potenciales en elementos, componentes, máquinas y equipos. En este contexto, se integraron múltiples acciones de intervención, incluyendo cambios o reemplazos, adaptaciones funcionales, restauraciones, inspecciones periódicas y evaluaciones de desempeño, las cuales se realizaron en intervalos establecidos, ya sea por calendario o en función del uso de los equipos(Pérez Rondón, 2021).

En el **mantenimiento predictivo** se fundamentó en la incorporación de tres elementos clave: la medición, el seguimiento y el monitoreo continuo. Asimismo, tal enfoque permitió que se realizara una evaluación persistente y

sistemática de los parámetros y condiciones operativas de equipos, máquinas e instalaciones. De esta manera, se procedió a establecer y gestionar adecuadamente los umbrales de pre-alarma y de actuación, abarcando todas las variables identificadas como significativas respecto a su medición y supervisión operacional. Asimismo, el mantenimiento predictivo fue comprendido como una técnica empleada para anticipar el momento futuro en que dichas variables se determinó que los componentes de una máquina podrían manifestar desviaciones significativas que se materializaban en la forma de fallas funcionales, anomalías operativas, roturas estructurales o averías de índole diversa. Consecuentemente, se reconoció que tales desviaciones constituirían síntomas patológicos del estado mecánico del elemento. De esta manera, se procedió a reemplazar dicho componente, siguiendo un plan establecido, justo antes de que ocurriera la falla, como resultado, se consiguieron menores tiempos de parada del equipo y una mayor longevidad en el desempeño funcional de los componentes.

Constituye un conjunto de pruebas no destructivas específicamente diseñadas para efectuar un seguimiento sistemático y detallado del monitoreo en la operación de los equipos con el fin de detectar signos de advertencia que indicaran que alguna de sus partes no estaba funcionando correctamente. Los datos más relevantes obtenidos a través de este tipo de seguimiento fueron las tendencias en los valores medidos, Debido a que facilitaron la realización de los cálculos requeridos para anticipar, con un margen de incertidumbre, el momento en que un equipo podría presentar una falla. Estas prácticas fueron denominadas técnicas predictivas. Al aplicar este mantenimiento de manera sistemática, ya sea basado en las horas de operación o en el tiempo transcurrido desde la última

inspección, presentó la ventaja de que, en la mayoría de los casos, no se requirieron desmontajes extensos; además, en numerosos casos, no fue necesaria la detención de la máquina, optimizando así la continuidad operativa.

Por lo general, se utilizaron técnicas no invasivas, y cuando la inspección detectó alguna anomalía, se programó una intervención. El objetivo principal fue anticiparse al fallo catastrófico de un componente, pieza, máquina o equipo. Así, ofrecieron un beneficio extra, puesto que la adquisición de repuestos solo se efectuó cuando fue necesaria, eliminando de esta manera la necesidad de mantener grandes inventarios, lo que implicó la reducción de capital inmovilizado o pérdidas por lucro cesante (Pérez Rondón, 2021).

En la figura 2.3 se pudo observar un enfoque de mantenimiento basado en la condición, el cual se estructuró según las estrategias implementadas, los objetivos planteados, las tecnologías aplicadas y los beneficios obtenidos.

Figura 7

Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial



Nota: "Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial", Pérez (2021)

2.2.4 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

RCM en sus siglas en ingles lo cual significa Reliability Centred Maintenace, plantea estrategias usando el mantenimiento reactivo, preventivo, predictivo y proactivo integrado para aumentar la disponibilidad y confiabilidad de un equipo. Desempeñando de manera continua las funciones para las cuales fue diseñado a lo largo de todo su ciclo de vida.

Para definir el Mtto basado en la confiabilidad, primero se precisó que “mantener un equipo” implicaba conservar su estado para que pudiera operar con normalidad. En este contexto, el mantenimiento se entendió como una manera de asegurar el funcionamiento continuo de un activo y el cumplimiento de su función. Por ello, se definió el término "mantenimiento centrado en la confiabilidad", enfocándose en las acciones que el encargado del área de mantenimiento debía llevar a cabo para garantizar que los dispositivos no fallaran y, en caso de que ocurriera alguna falla, esta no fuera catastrófica ni costosa.

El desarrollo del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad se inició con un entendimiento profundo del proceso y de los equipos que intervienen. Posteriormente, la metodología se centró en responder las siete preguntas del RCM para guiar su implementación. (Flores Jiménez, 2022)

- 1) ¿Cuáles son las funciones que desempeña el activo, así como los parámetros operativos asociados, en su contexto actual de funcionamiento?**

Esto significa comprender el propósito de cada sistema o dispositivo donde se incluye sus parámetros como por ejemplo el caudal, la temperatura, velocidad, presión, tiempo, etc. Categorizar en funciones básicas o secundarias

2) ¿Cómo la falla puede impedir el cumplimiento de esas funciones?

Centrado en las fallas por funcionamiento de los equipos o sistemas, definiendo la incapacidad como no cumplir los estándares de operación

3) ¿Cuál es el origen de cada falla funcional?

Es la causa de la pérdida de función de un dispositivo. Además, se observó que, a mayor complejidad del sistema o dispositivo, mayor era la cantidad de modos de falla que presentaba, dado que la mayoría de estos modos resultaron ser repetitivos.

4) ¿Qué resultado provoca cada falla?

Se define como efecto de falla el riesgo para la seguridad o el medio ambiente, junto con la afectación a la producción.

5) ¿Cuál es la importancia de cada falla?

Se definió la consecuencia de cada falla, las cuales se clasificaron en cuatro tipos principales. Primero, se identificaron las consecuencias de fallas ocultas, que resultaron difíciles de detectar y estuvieron orientadas a los componentes de seguridad, de modo que sus efectos podrían llegar a ser graves. En segundo lugar, se señaló la consecuencia operacional, la cual afectó la producción y generó costos asociados a su reparación. En tercer lugar, se consideraron las consecuencias ambientales y de seguridad, que podían violar normativas y causar lesiones. Finalmente, la cuarta consecuencia fue la no operacional, la cual generó un costo directo relacionado con la reparación.

6) ¿Qué acciones se pueden tomar para evitar o anticipar cada falla?

Se requería conocer el AMEF del equipo y diseñar una estrategia, ya fuera de mantenimiento preventivo, predictivo o rutinario.

7) ¿Qué procedimiento seguir en caso de no encontrar una tarea proactiva adecuada?

Si ninguna tarea resultó eficaz para el modo de falla, se optó por modificar el equipo y no realizar intervenciones hasta llegar al punto de falla.

2.2.5 Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

Se describió un método proactivo destinado a detectar fallos potenciales en los procesos empresariales, con el objetivo de prevenir o mitigar sus efectos. Para ello, se identificaron los posibles puntos de origen de dichos fallos y se determinó su impacto. Además, se empleó el enfoque sistemático del (AMFE) para identificar y resolver las causas de las fallas, lo cual contribuyó a evitar costosos problemas de producción. De esta manera, se mejoraron tanto la calidad del producto como la confiabilidad del servicio, lo que resultó en un aumento de la satisfacción del cliente. (SafetyCulture, 2024).

Tabla 2

Formato Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)

EQUIPO		Código		E.I.R.L.- XX	
FUNCIÓN (F)		FALLA FUNCIÓN (FF)		CAUSAS DE FALLO (FM)	
1	FUNCIÓN 1	A	Modo de falla A	1	Causa 1
				2	Causa 2
		B	Modo de falla B	1	Causa 1
2	FUNCIÓN 1	A		1	Causa 1

Nota. Tomado de (Astudillo Astudillo & Criollo Gallardo, 2022)

2.2.6 Análisis de criticidad

Se estableció la adecuada jerarquización de los activos facilitó una correcta asignación de recursos, lo que permitió una gestión eficiente de cada uno de ellos. Además, esta jerarquización sirvió como base para lograr mejoras y tomar decisiones de gestión apropiadas.(Cedeño, 2021)

La criticidad se puede expresar por la siguiente ecuación.

$$\text{Criticidad Total} = \text{Frecuencia de Falla} \times \text{Consecuencia}$$

Donde:

Frecuencia = Número de fallas por año.

Consecuencia= ((Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional) + Costo de Mantenimiento + Impacto Seguridad y Medio Ambiente).

- Criterios Fundamentales para el análisis de criticidad.

"El término 'Crítico' y el concepto de 'Criticidad' presentan múltiples interpretaciones, dependiendo del criterio específico y del objetivo que se pretende priorizar en el proceso de jerarquización de activos."

1. Seguridad

Se identificó como aquella probabilidad de que se suscitara un acontecimiento de naturaleza indeseada que pudiese provocar lesiones, heridas o deterioro de la salud en las personas.

2. Ambiente

Se identificó como aquella probabilidad de que se suscitara un acontecimiento de naturaleza indeseada que pudiese provocar deterioro o daño al ambiente..

3. Impacto Operacional

Se identificó como la disposición que se veía interrumpida o suprimida en el momento en que se presentaba la falla del equipo o sistema.

4. Costos

Se caracterizaron como los desembolsos económicos vinculados o atribuibles a la ocurrencia de una falla o avería del equipo..

5. Flexibilidad operacional

En aquellos casos donde se contaba con un equipo similar o equivalente disponible, que facilitaba la ejecución del reemplazo del equipo original.

6. Frecuencia de Falla

Se identificó como el recuento o contabilización de la cantidad de veces que experimentaba una falla cualquier elemento constitutivo del sistema.

La figura siguiente se presentan los valores asignados para la ponderación de cada variable evaluada. Para su determinación, se consideró tanto el historial de paradas no planificadas como el criterio técnico de los principales personales del departamento de la planta. Se realizó la asignación de valores para la ponderación de cada variable evaluada, los cuales se muestran en la imagen siguiente. Para esta asignación, Se consideró tanto el registro histórico de paradas no programadas como la valoración experta de los principales colaboradores del área de mantenimiento de la planta.

Nota. Adaptación de (Astudillo Astudillo & Criollo Gallardo, 2022).

En la Figura 8, aguas abajo describe la jerarquización conforme al valor
do en el análisis, se agrupan en crítico, semi crítico y no crítico.

Base para la clasificación de activos

Nota: Adaptado de (Gutiérrez et al., 2007)

Luego de desarrollar el análisis de modos y efectos de fallas, la ruta de desarrollo para las tareas de mantenimiento siguiendo el árbol lógico de decisiones del RCM o también llamado diagrama de decisiones.

En la siguiente figura nos muestra la hoja de decisiones de RCM.

Figura 10

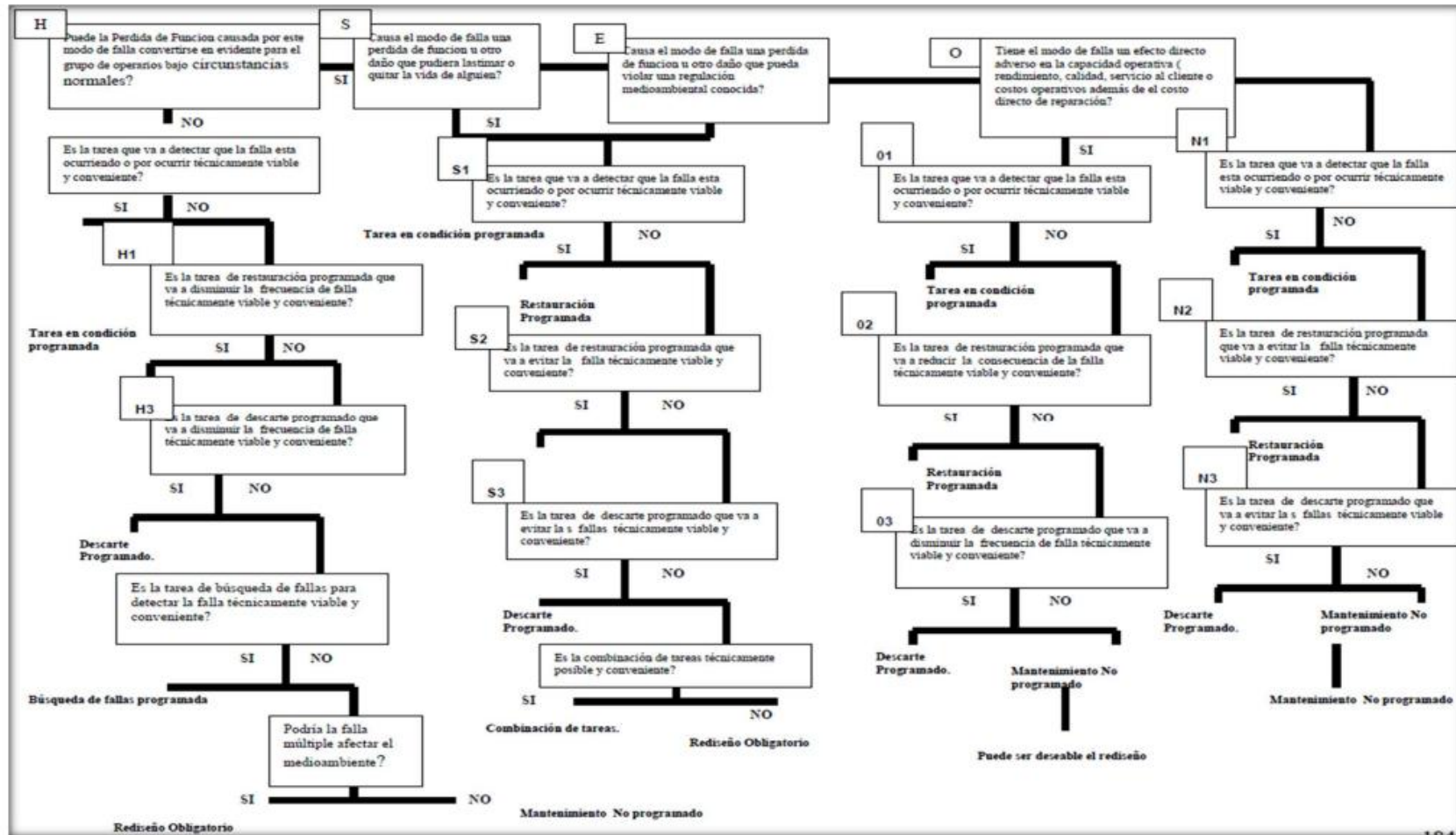
Planilla de decisiones de RCM

Planilla de decisión RCM II			Sistema										Nº de sist.	Facilitador:	Fecha	Nº de hoja
			Sub- Sistema										Nº de sub. sist.	Auditor:	Fecha	De
Referencia De informacion			Consecuencia de la evaluacion				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Accion de Default			TAREA PROPUESTA	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por	
							O1 N1	O1 N2	O3 N3							H4
F	FF	FM	H	S	E	O										

Nota. Adaptación de (Molina Ochoa, 2017)

Figura 11

Árbol de decisiones de RCM



Nota. Adaptación de (Sánchez & Ardila, 2018)

2.2.7 Indicadores de mantenimiento

Según Zambrano et al., (Zambrano et al., 2015) para verificar que la organización esté funcionando de manera óptima, se realizaron mediciones del proceso de control con el propósito de asegurar su adecuado seguimiento, pues se consideró que lo que no se mide, no se controla. Para ello, se verificó que las actividades se ejecutaran dentro del alcance definido, empleando parámetros previamente establecidos, lo cual permitió tomar las decisiones más acertadas.

Para el autor González (González, 2019) sugiere que luego de implementar un programa de mantenimiento, se establecieron variables para cuantificar el impacto en la organización, denominadas "INDICADORES". La naturaleza cuantitativa de estas variables se justificó en la necesidad de realizar mediciones objetivas, evitando así criterios subjetivos.

Tiempo Medio entre Fallos (MTBF)

Esta medida representa el tiempo promedio en el cual una máquina opera sin interrupciones debido a diferentes fallas funcionales. En otras palabras, se definió como el periodo en el que un sistema cumplió con las funciones asignadas, tomando en cuenta la instalación, un mantenimiento adecuado y las reparaciones posibles.

El uso de este indicador resultó complejo, ya que el usuario tuvo que recopilar una gran cantidad de datos que usualmente se encontraban en el área de producción, tales como el tiempo de inicio de cada operación de los equipos y el tiempo de interrupción causado por fallas, entre otros.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Total disponible} - \text{Tiempo perdido}}{N^{\circ} \text{ de fallas}} \dots\dots\dots(2.1)$$

A medida que aumentó la frecuencia de paradas imprevistas, la disponibilidad del equipo disminuyó y en consecuencia, su confiabilidad se redujo. Este indicador generalmente formó parte de una estructura que reflejaba que el sistema fallido se reparaba de inmediato, considerando el tiempo promedio. Además, este indicador correspondió a la media aritmética del tiempo transcurrido entre fallas en el funcionamiento del equipo.

Tiempo Medio para Reparar (MTTR)

Este indicador cuantificó el lapso temporal medio demandado para la realización de la reparación de un equipo en respuesta a una falla, marcando el período desde la manifestación del defecto hasta la restitución de la capacidad operativa del sistema.

El tiempo total de inactividad pudo ser ocasionado por diversas fallas en distintos escenarios, por lo que dicho indicador resultó fundamental para optimizar la gestión del mantenimiento.

Además, cuando una máquina dejó de funcionar y entró en un estado inactivo que demandó atención inmediata, esta tasa de falla pudo medirse.

El tiempo promedio para reparar se expresa de la siguiente manera:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimineto}}{\textit{Numero de fallas}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Disponibilidad

Función que permitió calcular el porcentaje de tiempo durante el cual una máquina o equipo está disponible para cumplir la función para la cual fue diseñado y construido. Esto no implica necesariamente que esté operando o funcionando, sino que se encuentra en óptimas condiciones de operar.

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.3 Definición Conceptual De La Terminología Empleada

Utilizando la Norma UNE-EN 13306:2018 la terminología establecida por los siguientes términos:

2.3.1 Mantenimiento (Mtto)

Se llevó a cabo la integración de todas las actividades tanto de ingeniería como de gestión del Mtto, gestionado durante su ciclo de vida para protegerlo o restaurarlo a una condición utilizable en un estado que se puede desempeñar según sus funciones.(UNE-EN 13306, 2018)

2.3.2 Gestión de Mantenimiento (GM)

Se consideró toda actividad de gestión que estableció objetivos, estrategias y responsabilidades para llevar a cabo dichas acciones en la planificación del mantenimiento, así como para controlar y supervisar el seguimiento del mismo.(UNE-EN 13306, 2018)

2.3.3 Plan de mantenimiento (PM)

Serie organizada y registrada de procesos que contempla las actividades, metodologías, recursos asignados y el plazo necesario para llevar a cabo las labores de mantenimiento.

2.3.4 Elemento

Es todo componente de un subsistema, sistema que puede considerarse como un elemento individual

2.3.5 *Repuesto*

Formó parte de un sistema diseñado para sustituir componentes similares con el objetivo de restaurar el equipo y garantizar que cumpliera con su función en su estado original.

2.3.6 *Disponibilidad*

Característica de un componente para trabajar en su estado optimo y que cumpla las funciones establecidas por el fabricante.

2.3.7 *Fiabilidad*

Facultad de un elemento para realizar funciones requeridas bajo condiciones determinadas durante un tiempo establecido.

2.3.8 *Durabilidad*

Facultad de un elemento para realizar funciones requeridas bajo condiciones establecidas de utilización y de mantenimiento, hasta el fin de su vida útil.

2.3.9 *Vida útil*

Se definió como el periodo de tiempo que comenzó desde el primer uso de un elemento hasta el momento en que alcanzó su límite, ya sea una tasa de fallo inaceptable o, en su defecto, un fallo irreparable.

2.3.10 *Fallo*

Interrupción de un elemento para realizar una función requerida el cual es producto de una avería paralizando de forma total o parcial.

2.3.11 Avería

Se entiende como la incapacidad de cumplir con las funciones requeridas, excluyendo la imposibilidad durante el mantenimiento preventivo u otras actividades programadas, causada por la falta de recursos externos.

2.3.12 Mantenimiento Preventivo (Mtto Prv)

Se trató de un tipo de Mtto que se llevó a cabo con una frecuencia determinada, con el propósito de disminuir la tasa de fallos de un equipo.

2.3.13 Mantenimiento Predictivo (Mtto Prd)

Tipo de Mtto el cual se basa en la previsión de fallos analizando y evaluando parámetros

2.3.14 Mantenimiento Correctivo (Mtto Corr)

Este tipo de mantenimiento se ejecutó tras la identificación de un fallo, con el fin de restaurar la función del equipo.

2.3.15 Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM)

Se consideró como el método empleado para determinar las acciones que debían tomarse con el fin de mantener un activo cumpliendo los requisitos de confiabilidad y disponibilidad establecidos por la organización.

2.3.16 Inspección

El control y verificación de la conformidad se efectúa mediante la aplicación sistemática de inspecciones, técnicas de observación, ensayos y calibración de los parámetros más relevantes de cada componente.

2.3.17 Revisión

El análisis se sustentó en la ejecución y revisión de diversos exámenes y procedimientos encaminados a establecer el grado de disponibilidad y condiciones de seguridad del componente evaluado.

2.3.18 Verificación de función

Actividad que se realiza luego de una acción de mantenimiento para corroborar que el elemento cumpla la función requerida.

2.3.19 Reparación

Procedimiento técnico orientado a la recuperación de la función requerida en un elemento que ha sufrido una falla o deterioro.

2.3.20 Tiempo de espera

Duración de intervalo del cual un elemento se encuentra en estado de espera.

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1 Tipo y diseño de la investigación.

3.1.1 *Tipo de Investigación*

Esta investigación se clasificó como aplicada, puesto que tuvo como meta implementar los conocimientos teóricos adquiridos para resolver situaciones reales o mejorar los procesos existentes. Además, se enfocó en identificar oportunidades de mejora y desarrollo mediante un proceso científico, específicamente a través del modelo teórico de GM, el cual constituyó la base del objetivo principal de este estudio.

3.1.2 *Diseño de la Investigación*

El diseño de la investigación se consideró no experimental, debido a que no se llevó a cabo una manipulación deliberada de las variables, puesto que se utilizó como método el análisis documental y la observación.

3.1.3 *Enfoque*

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, puesto que se fundamentó en la recopilación y el análisis de datos con el propósito de responder a las preguntas de investigación y, de esta manera, verificar la hipótesis planteada.

3.2 Población y Muestra

Para el presente estudio, la población se definió como finita y la muestra considerada estuvo compuesta por las pulidoras cónicas de la línea de producción del Molino Los Ángeles. Es importante destacar que no se utilizaron técnicas de muestreo, dado que la investigación se desarrolló en un lugar específico.

3.2.1 Población

Las pulidoras cónicas de la línea de producción del Molino Los Angeles SRL

Tabla 3

Listado Pulidoras cónicas de la línea de producción del Molino Los Angeles

Pulidoras cónicas - Marca SUSUKY – Año 2024											
APPCO		APPCO		APPCO		APPCO		APPCO		APPCO	
Código	01	Código	02	Código	03	Código	04	Código	05	Código	06

(Nota: Inventario de Activos Año 2024 Molino Los Angeles SRL)

3.2.2 Muestra

La muestra es la pulidora cónicas N° 04, seleccionada mediante la matriz de criticidad de la línea de producción del Molino Los Angeles SRL.

3.3 Hipótesis

La Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad si incrementa la disponibilidad operativa de la pulidora cónica del Molino Los Angeles S.R.L.

3.4 Operacionalización de las variables

Según Arias Gonzáles (Arias Gonzáles, 2021) consiste en un conjunto de métodos y técnicas permitiendo medir la variable en la investigación, separando y analizando sus componentes.

- Variable independiente “X” :

Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad

- Variable dependiente “Y” :

Disponibilidad operativa

Para la presente investigación se considera como variable independiente es gestión de mantenimiento Basado en la confiabilidad, debido a que el estudio parte de conocer la disponibilidad operativa de la pulidora cónica (variable dependiente).

Tabla 4

Operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Técnicas	Instrumentos	Indicadores
Independiente: Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad	Es un enfoque sistemático y analítico que permite determinar las estrategias de mantenimiento más adecuadas para garantizar que los activos físicos continúen operando de manera eficiente dentro de su contexto específico. (Aguilar Sota, 2024)	Se aplica mediante el análisis de activos, identificando funciones esenciales y modos de falla con herramientas como el AMEF, mantenimiento correctivo, predictivo, preventivo con la cual esta información, se establecen estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo. Su implementación reduce interrupciones, optimiza recursos y mejora la eficiencia y disponibilidad de los equipos.	• Análisis documental • Recolección de datos	• Hoja de recopilación de campo • Ficha de búsqueda bibliográfica • Guía de observación • Encuesta	• Número de errores operativos • Número de posibles fallas • Costo de mantenimiento
Dependiente: Disponibilidad operativa	La disponibilidad operativa se entiende como el índice probabilístico que refleja la capacidad operativa de un sistema, máquina o equipo para cumplir con su función especificada, considerando de manera conjunta tanto la confiabilidad como la mantenibilidad y esto expresado en porcentaje, constituye la evaluación del en los entornos industriales complejos.(Aguilar Sota, 2024)	Mide a través del análisis del tiempo efectivo de funcionamiento del equipo en relación con el tiempo total planificado de operación. Para esto se aplican estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, identificando posibles fallas mediante herramientas como el AMEF. Su implementación busca reducir interrupciones, optimizar el uso de recursos y garantizar un desempeño eficiente del equipo en su contexto de trabajo.	• Análisis documental • Recolección de datos	• Guías de investigación • Ficha de análisis documental • Guía de observación	• Tiempo medio entre fallas (MTBF) • Tiempo Medio de Reparación (MTTR) • Porcentaje de disponibilidad

(Nota: Elaboración propia)

3.5 Métodos y técnicas de investigación

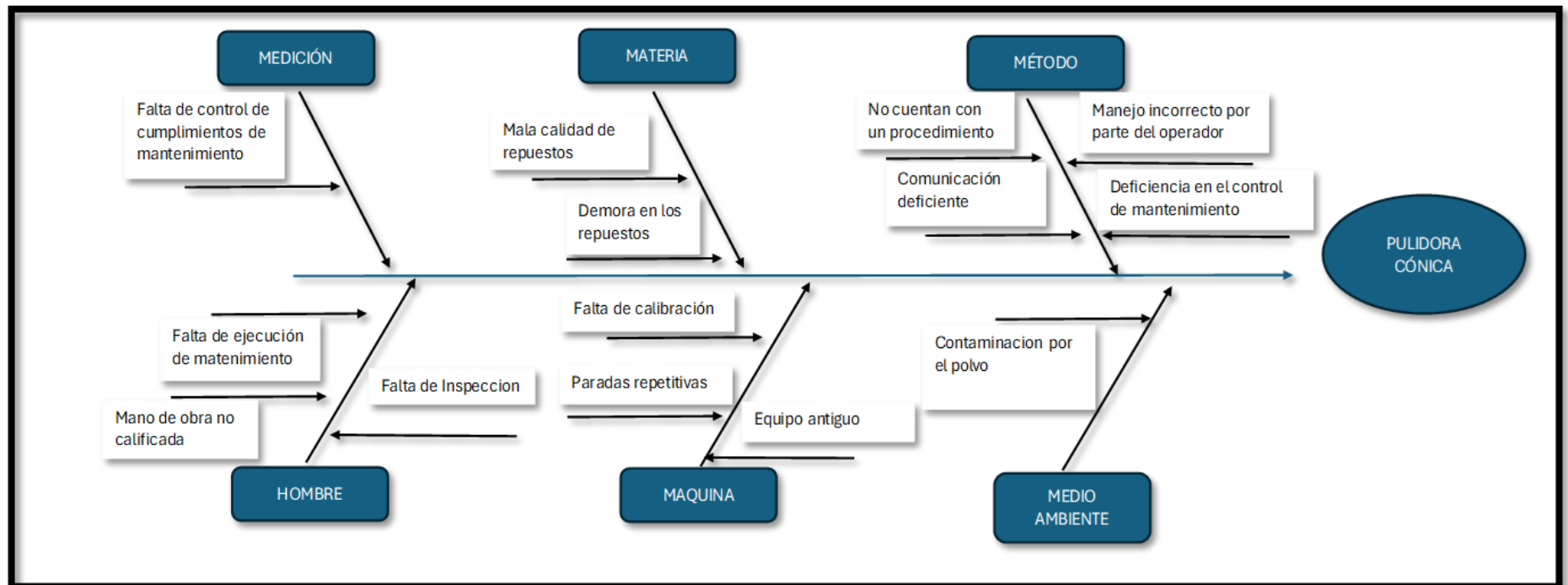
Para el desarrollo de este estudio, se aplicaron las técnicas de investigación pertinentes conforme a las herramientas de análisis disponibles.

Diagrama de causa y efecto (Ishikawa)

Se empleó como herramienta para sistematizar y presentar gráficamente las opiniones y postulados generados durante la sesión de lluvia de ideas, producido por cada miembro del grupo como respuesta a las preguntas formuladas al inicio o apertura del análisis.(Carmona Silva et al., 2019), a este tipo de diagrama también se le denominó espina de pescado, ya que se utilizó este método para obtener información directa, objetiva, retroalimentada y suficiente, con el fin de alcanzar las metas especificadas y cumplir con las expectativas establecidas.

Figura 12

Diagrama de Ishikawa de la Pulidora Cónica



Nota. Elaboración propia

Para este caso se va a utilizar las 6M, su nemotecnia

Figura 9

Método 6M – Causa y Efecto



(Nota: Elaboración propia)

Mano de Obra

Recursos humanos que operan y que cumple funciones, donde participan en los procesos de la industria, verifica las competencias técnicas y el conocimiento del personal.

Maquinaria

Los equipos, implementos y demás infraestructuras junto con los sistemas de soporte subyacentes.

Método

Son los procesos de producción, metodología y apoyo, así como su aplicación o contribución.

Materiales

Se tomó en cuenta el indicador de administración de insumos, piezas y recursos empleados para cumplir con la producción, asegurando que se respetaran las especificaciones adecuadas de los materiales, así como su correcto almacenamiento, rotulado y aplicación.

Medición

Se realizó la comprobación y evaluación de medidas físicas, ya fueran manuales o automáticas, con el objetivo de detectar posibles errores de calibración y otros inconvenientes relacionados con la medición.

Medio Ambiente

En esta categoría se agruparon las condiciones ambientales manejables, así como las inesperadas, las condiciones climáticas y otros eventos naturales (EdrawMAX, 2024).

Diagrama de Pareto

Se aplicó la fórmula generalizada de Pareto, denominada también como la regla 80/20, dicha ley señala que aproximadamente el 80% de los efectos o resultados se generan a partir del 20% de las causas en un conjunto determinado de elementos, se pudo determinar un subconjunto reducido que facilitó la obtención de los mejores resultados.

Se aplicó en el estudio de distintos fenómenos industriales utilizando diagramas de Pareto. Generalmente generados a partir de hojas de cálculo en Excel, se construyó una gráfica de distribución de frecuencias acompañada de una curva indicadora de los porcentajes acumulados, lo que permitió realizar un análisis detallado y una comunicación visual de las causas más significativas,

identificando ese 20% que generó el 80% de las afectaciones en el proceso de producción o en la problemática a mejorar dentro de la industria. (Romo Vázquez y Espinoza Valdez, 2015).

Matriz de priorización de causas raíz

Es una herramienta útil a la hora de comparar y elegir enfoque razonable entre un conjunto de alternativas de acuerdo con un criterio específico para determinar cada prioridad.

Se evaluó mediante un análisis de Pareto, en el cual se examinó la frecuencia causada por la raíz del problema o por la calificación asignada al personal involucrado, a través de una encuesta. Después de obtener las puntuaciones de las frecuencias, se ordenaron las causas raíz de mayor a menor para identificar aquellas que acumulaban el 80%. Posteriormente, se realizó un análisis estadístico que permitió priorizar las causas con mayor frecuencia de problemas, con el fin de formular una matriz de priorización. (Gallach et al., 2019)

3.6 Descripción de los instrumentos utilizados

El presente trabajo utiliza las técnicas mencionadas.

Tabla 5

Técnicas e instrumentos.

Técnicas	Instrumentos
Análisis documentario	Ficha de Análisis Documentario
Observación	Ficha de observación Fotografías Registro de Campo
Encuesta	Cuestionario

Nota: Elaboración propia

3.7 Análisis estadístico e interpretación de datos

A partir de los valores cuantitativos recogidos en la investigación, se identificaron indicadores de mantenimiento que incorporaron tanto el porcentaje de interrupciones como los costos asociados directamente a las tareas realizadas. Esta información fue representada gráficamente mediante herramientas de Excel con el fin de comparar detalladamente los registros antes y después de la ejecución de la solución.

Para este estudio, no se emplearon técnicas de muestreo, ya que el área de análisis estuvo delimitada a las pulidoras cónicas y se utilizó el análisis de criticidad. Asimismo, los costos de mantenimiento no fueron presentados debido a las restricciones en la información que la empresa autorizó publicar.

CAPITULO IV: RESULTADOS E INTERPRETACION

4.1 Realizar un diagnóstico del estadio situacional de la pulidora cónica en el molino Los Angeles SRL.

La empresa cuenta con 6 pulidoras cónicas actualmente de la marca Susuky.

4.1.1 Pulidora cónica

Equipo que permite pulir la superficie del arroz, de esta manera eliminando las capas externas permite mejorar la apariencia, la piedra de la pulidora cónica entra en contacto con el arroz permitiendo pulirlo, permite graduar a la variedad del grano.

- **Estado General**

Operativo: La pulidora cónica funciona sin problemas importantes

- **Condición física**

Buena: La carcasa presenta algunos signos de desgaste, pero sin daños significativos.

- **Rendimiento**

Adecuado: Cumple con las especificaciones básicas de funcionalidad, pudiendo tener problemas por desgaste excesivo en la piedra cónica.

- **Mantenimiento**

Mantenimiento retrasado: Debido a la alta demanda, no ha cumplido con su respectivo mantenimiento.

- **Errores y fallos**

Errores menores: ocasionalmente se desgasta los frenos, pero no afecta significativamente el uso.

- **Recomendaciones**

Como medida recomendada, se indicó llevar a cabo inspecciones en los frenos, la piedra pulidora y las fajas, para detectar eventuales fallas que pudieran afectar el funcionamiento del equipo.

Se hace el análisis de criticidad de las 6 pulidoras como se muestra en la

siguientes figuras.

Figura 13

Análisis de criticidad de las pulidoras de 7 meses antes del RCM

Análisis de criticidad		Factores Evaluados					
Código	Equipos	Frecuencia de Fallas	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de Mantenimiento	Impacto a la Seguridad	Criticidad
APPCO-01	Pulidora	3	1	2	1	2	15
APPCO-02	Pulidora	4	4	2	2	2	48
APPCO-03	Pulidora	2	1	2	1	2	10
APPCO-04	Pulidora	5	4	4	3	2	105
APPCO-05	Pulidora	4	4	2	2	2	48
APPCO-06	Pulidora	3	1	1	1	2	12

Nota: Elaboración propia

Figura 14

Estimación de Puntajes en la pulidora cónica

ESTIMACION DE PUNTAJES EN LA PULIDORA CONICAS	Frecuencia de Fallas	Puntos
	Mas de 15 Fallas al Mes	5
	De 10 a 14 Fallas al Mes	4
	De 7 a 13 Fallas al Mes	3
	De 4 a 12 Fallas al Mes	2
	Menor o igual a 3 Fallas al Mes	1
	Impacto Operacional	Puntos
	Parada Total	10
	Afecta Más del 50%	7
	Afecta Menos del 50%	4
	No Afecta	1
	Flexibilidad Operacional	Puntos
	No dispone de otro equipo	4
	El proceso sigue en funcionamiento	2
	Se dispone de otro equipo	1
	Costo de Mantenimiento	Puntos
	Más de 3.500 soles	3
	Entre 2.900 y 1.500 soles	2
	Menos de 1.400 soles	1
	Impacto en Seguridad y Ambiente	Puntos
	Daños y Lesiones Humanos	8
	Daños al Medio Ambiente	6
	Daños a Instalaciones	4
	Daños Menores	2
	Afecta Medio Ambien sin daños	1
	No causa daños	0

Nota: Elaboración propia

Figura 15

Matriz de criticidad

		CONSECUENCIA				
		6	12	18	27	30
FRECUENCIA	1	6	12	18	27	30
	2	12	24	36	54	60
	3	18	36	54	81	90
	4	24	48	72	108	120

Nota: Elaboración propia

Para poder encontrar la criticidad se utilizó la siguiente formula

- Criticidad = Frecuencia x Consecuencia.
- Consecuencia = (Impacto Operación x Flexibilidad Operacional) + Costos Mantto + Impacto Seguridad y Medio Ambiente.

A través de este análisis de criticidad, nos muestra que la pulidora N° 04 es la más crítica durante el periodo 2024 desde enero hasta julio, se selecciona como muestra para nuestra investigación.

Tabla 5

Registro de fallas de la Pulidora N°04 de data de 7 meses antes del RCM

CUADRO DE DETALLES DE FALLAS DE PULIDORA N°04				
CODIGO	SISTEMA	DESCRIPCION	CANTIDAD DE FALLAS	TIEMPO DE PARADA (HORA)
APPCO-04	Estructura	Rotura de frenos	12	39.8
	Estructura	Daños de Cribas	6	24.5
	Estructura	Sobrecarga de material	13	36.9
	Motor	Engrase de rodamientos	4	28.4
	Eléctrico	Falla de tablero	2	4
	Motor	Correas desgastadas	4	2.5
	Estructura	Suciedad Interna	23	69.9
	Eléctrico	Falla en el pulsador	1	1.5
	Estructura	Falla succión de polvo	6	20
	Transmisión	Desalineación del eje	1	6.7
	Transmisión	Desgaste de Piedra	1	48.6
	Eléctrico	Corte de energía	2	8
	TOTAL		75	290.8

Nota: Elaboración propia

Los 290.8 horas lo convertimos a horas nos da 290 horas con 48 min donde la máquina no ha funcionado.

conversión por regla de 3

$$290.8 \text{ horas} = 290 \text{ horas} + 0.8 \text{ horas}$$

$$1 \text{ hora} \longrightarrow 60 \text{ minutos}$$

$$0.8 \text{ horas} \longrightarrow x \text{ minutos}$$

$$x \text{ minutos} = 48 \text{ minutos} \longrightarrow 290 \text{ horas con 48 minutos}$$

4.1.2 Tiempo medio entre fallos – MTBF antes del RCM

El molino cuenta con jornadas laborales de 12 horas por día, los 6 días por semana. A partir de esta información, se procedió a extrapolar diversos

datos de utilización, tomando en cuenta el período de análisis. Dado que la presente investigación se centra en el año 2024, los cálculos y estimaciones fueron efectuados en una escala 7 meses.

Considerando que en 7 meses tiene 28 semanas, con esto indico que la maquina trabaja 2016 horas durante los 7 meses.

- Tiempo total disponible (TTD): 2016 hr
- Tiempo de perdido (TP): 290.8 hr
- N° de fallas: 75

El tiempo medio entre fallos es:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo Total disponible} - \textit{Tiempo perdido}}{\textit{N° de fallas}}$$

$$MTBF = \frac{2016 - 290.8}{75} = 23.0 \text{ horas}$$

4.1.3 Tiempo medio entre reparaciones – MTTR antes del RCM

Para conocer este parámetro se analizó el indicador de disponibilidad actual de la empresa, por lo tanto:

- Tiempo total de Mtto: 290.8 hrs
- N° de reparaciones: 75

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimineto}}{\textit{Numero de fallas}}$$

El tiempo medio entre reparaciones es:

$$MTTR = \frac{290.8}{75} = 3.87 \text{ horas}$$

4.1.4 Disponibilidad de la pulidora antes del RCM

Antes de iniciar la ejecución del plan de mantenimiento bajo la modalidad RCM, se consideró necesario examinar los indicadores operativos vigentes que describían el desempeño de los activos físicos empresariales. Se reconoció, en particular, que el indicador de disponibilidad asumió un papel determinante, pues su valor inicial representó una referencia indispensable para el desarrollo de la investigación..

Por lo tanto:

- MTBF: 23.0 hrs
- MTTR: 3.87 hrs

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} X 100\%$$

$$Disponibilidad = \frac{23.0}{23.0 + 3.87} X 100\% = 85.58\%$$

Tabla 6

Situación actual de la pulidora cónica N°04 antes del RCM

Código	Tiempo Programado de Operación (Horas)	Tiempo de Operación (Horas)	Tiempo de parada por fallas (Horas)	Tiempo Medio Entre Fallo (MTBF)	Tiempo medio de reparación (MTTR)	Número de Fallas detectadas	Disponibilidad
APPCO-04	2016	1725.2	290.8	23.0	3.87	75	85.58

Nota: Elaboración propia

El valor registrado de disponibilidad actual, correspondiente al 85.58%, ofreció un diagnóstico inicial sobre el estado operativo de la pulidora cónica N°

04 del molino Los Ángeles. El equipo operó durante un porcentaje específico del tiempo programado, lo que indica su nivel de disponibilidad en el intervalo evaluado.

Aunque un 85.58% de disponibilidad mostró que el equipo operó predominantemente dentro del período evaluado, pero aún existieron posibilidades de optimización. Por consiguiente, se definió este indicador como punto de partida para medir y comparar el impacto derivado de la ejecución del PM basado en la metodología RCM.

Los gastos generados por el mantenimiento de la pulidora N°04 por el mantenimiento se describe en la siguiente manera:

Tabla 7
Costo por el tipo de mantenimiento antes del RCM

Tipo de Mantenimiento	
Descripción	Monto
Mantenimiento Predictivo	S/ 1,300
Mantenimiento Preventivo	S/ 1,950
Mantenimiento Correctivo	S/ 6,150

Nota: Elaboración propia

Se analizaron los importes económicos derivados de las labores de mantenimiento correspondientes a un periodo de siete meses en el año 2024, evidenciándose que, antes de la aplicación del RCM, el mantenimiento predictivo representó un gasto de S/1 300 soles, el preventivo totalizó S/1 950 soles y el correctivo fue de S/6 150 soles.

4.2 Elaboración la Gestión de Mantenimiento basado en la confiabilidad RCM la pulidora cónica del Molino Los Angeles SRL.

4.2.1 Auditoría Interna en el Área de mantenimiento

El cuestionario se aplicó a exclusivamente al encargado de mantenimiento, dado que era la única persona con los conocimientos técnicos necesarios para responder de manera adecuada.

Las preguntas incluidas en el cuestionario se centraron en aspectos clave de la GM, abordando específicamente el planeamiento del mantenimiento, organización, ejecución, habilidad del personal, abastecimiento de recursos y administración. Cada uno de estos aspectos fue evaluado mediante una escala de calificación que oscila entre 1 y 10.

La metodología de valoración propuesta fue revisada y aprobada por la jefatura de logística, debido a que el área de mantenimiento estaba bajo la responsabilidad de dicha unidad.

Tabla 8
Valorización

Valorización	
Desaprobado	0-3
Regular	4-6
Aprobado	7-10

Nota: Elaboración propia

El cuestionario inicia con diez preguntas diseñadas para evaluar de manera integral los distintos componentes del mantenimiento en la empresa, abarcando aspectos como la planificación, organización, ejecución, competencias del personal, abastecimiento de recursos y administración del mantenimiento.

Cada pregunta tiene como objetivo valorar la relevancia del aspecto evaluado y determinar en qué medida la empresa cumple con los requisitos establecidos en cada dimensión del mantenimiento.

Figura 16

Auditoria de mantenimiento - Organización de mantenimiento

Auditoria de Mantenimiento													
Empresa: Molino Los Angeles													
Trabajador: Alejandro Maquen Niño													
Cargo: Encargado de Mantenimiento													
1	Organización del Mantenimiento												
Nº	Componentes		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Organización de mantenimiento
1.01	¿Es clara la ubicación del área de mantenimiento dentro de la estructura organizativa de la empresa?	6					X						30
1.02	¿Está bien definida y organizada la estructura del área de mantenimiento en la empresa?	7						X					28
1.03	¿Cómo calificaría la Organización del área de mantenimiento de la Empresa?	8					X						40
1.04	¿Qué nivel de autonomía tiene el área de mantenimiento dentro de la organización de la empresa?	6					X						36
1.05	¿Existen canales de comunicación claros y efectivos entre el área de mantenimiento y las demás áreas de la empresa?	8				X							56
1.06	¿Están bien establecidas y son claras las vías de comunicación interna dentro del área de mantenimiento?	8			X								64
1.07	¿El área de mantenimiento opera en base a objetivos claros y bien definidos?	8				X							56
1.08	¿Están claramente definidas las funciones y responsabilidades del área de mantenimiento?	9					X						54
1.09	¿El área de mantenimiento trabaja dentro de límites de responsabilidad bien establecidos y claros?	9					X						54
1.10	¿El área de mantenimiento es tomada en cuenta para la toma de decisiones por parte de las otras áreas de la unidad ejecutora?	8			X								64
PROMEDIO		8	SUMATORIA										482

Nota: Elaboración propia

Posteriormente, se elaborará un gráfico que represente los valores obtenidos para cada componente del mantenimiento, considerando el resultado final de la evaluación de la gestión del mantenimiento en la organización. Este análisis permitirá identificar los aspectos que requieren mayor atención y tiempo de trabajo para su mejora y optimización.

Figura 17

Organización del mantenimiento



Nota: Elaboración propia

Figura 19

Auditoria de mantenimiento - Planeamiento de mantenimiento

2	Planeamiento de mantenimiento												
Nº	Componentes		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Planeamiento de mantenimiento
2.01	¿Cómo calificaría el proceso de planeamiento de mantenimiento dentro de la estructura organizativa de la empresa?	6						X					24
2.02	¿Cómo calificaría la eficiencia en la recepción y gestión de solicitudes de servicio en el área de mantenimiento?	5					X						30
2.03	¿Qué nivel de claridad y definición existe en la elaboración y asignación de órdenes de trabajo en el área de mantenimiento?	6					X						36
2.04	¿Cómo evaluaría el planeamiento de la mano de obra requerida para las actividades de mantenimiento?	7				X							49
2.05	¿Qué nivel de eficacia tiene el proceso de planeamiento de los materiales necesarios para el mantenimiento?	7			X								56
2.06	¿Cómo calificaría la organización y planificación del uso del equipo de mantenimiento en las actividades correspondientes?	6						X					30
2.07	¿Qué nivel de eficiencia tiene la gestión logística asociada a las actividades de mantenimiento?	7		X									63
2.08	¿Cómo evaluaría la coordinación con los diferentes areas para la programación de fechas de mantenimiento general?	8		X									72
2.09	¿Qué nivel de efectividad tiene el planeamiento de las actividades de mantenimiento preventivo en el área de mantenimiento?	8				X							56
2.10	¿Cómo calificaría la calidad y precisión de los reportes de planeamiento y cumplimiento en el área de mantenimiento?	7					X						35
PROMEDIO		7	SUMATORIA										451

Nota: Elaboración propia

Figura 18

Planeamiento del mantenimiento



Nota: Elaboración propia

Figura 21

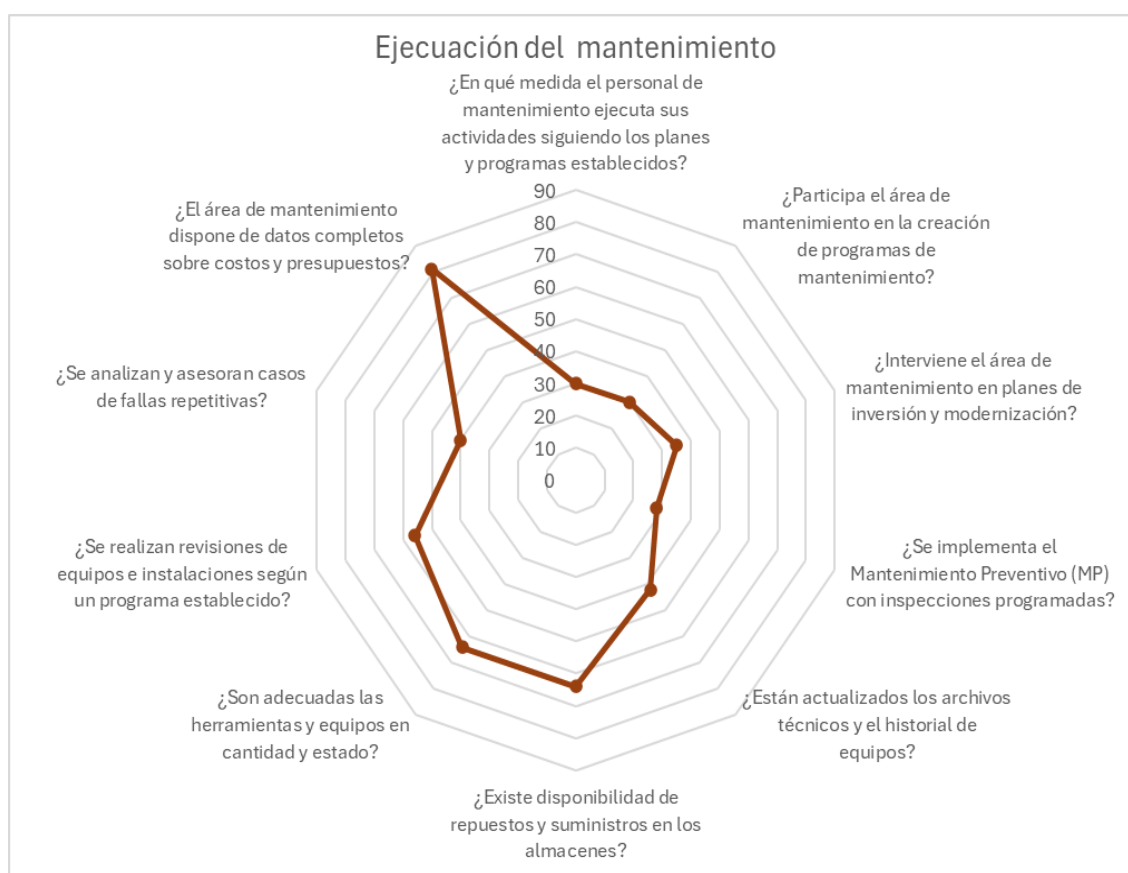
Auditoría de Mantenimiento - Ejecución del mantenimiento

3	Ejecución del mantenimiento												
Nº	Componentes		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Ejecución del mantenimiento
3.01	¿En qué medida el personal de mantenimiento ejecuta sus actividades siguiendo los planes y programas establecidos?	5					X						30
3.02	¿Participa el área de mantenimiento en la creación de programas de mantenimiento?	5					X						30
3.03	¿Interviene el área de mantenimiento en planes de inversión y modernización?	5				X							35
3.04	¿Se implementa el Mantenimiento Preventivo (MP) con inspecciones programadas?	4				X							28
3.05	¿Están actualizados los archivos técnicos y el historial de equipos?	6				X							42
3.06	¿Existe disponibilidad de repuestos y suministros en los almacenes?	8			X								64
3.07	¿Son adecuadas las herramientas y equipos en cantidad y estado?	8			X								64
3.08	¿Se realizan revisiones de equipos e instalaciones según un programa establecido?	7			X								56
3.09	¿Se analizan y asesoran casos de fallas repetitivas?	5			X								40
3.10	¿El área de mantenimiento dispone de datos completos sobre costos y presupuestos?	9		X									81
PROMEDIO		6	SUMATORIA										470

Nota: Elaboración propia

Figura 20

Ejecución del Mantenimiento



Nota: Elaboración propia

Figura 23

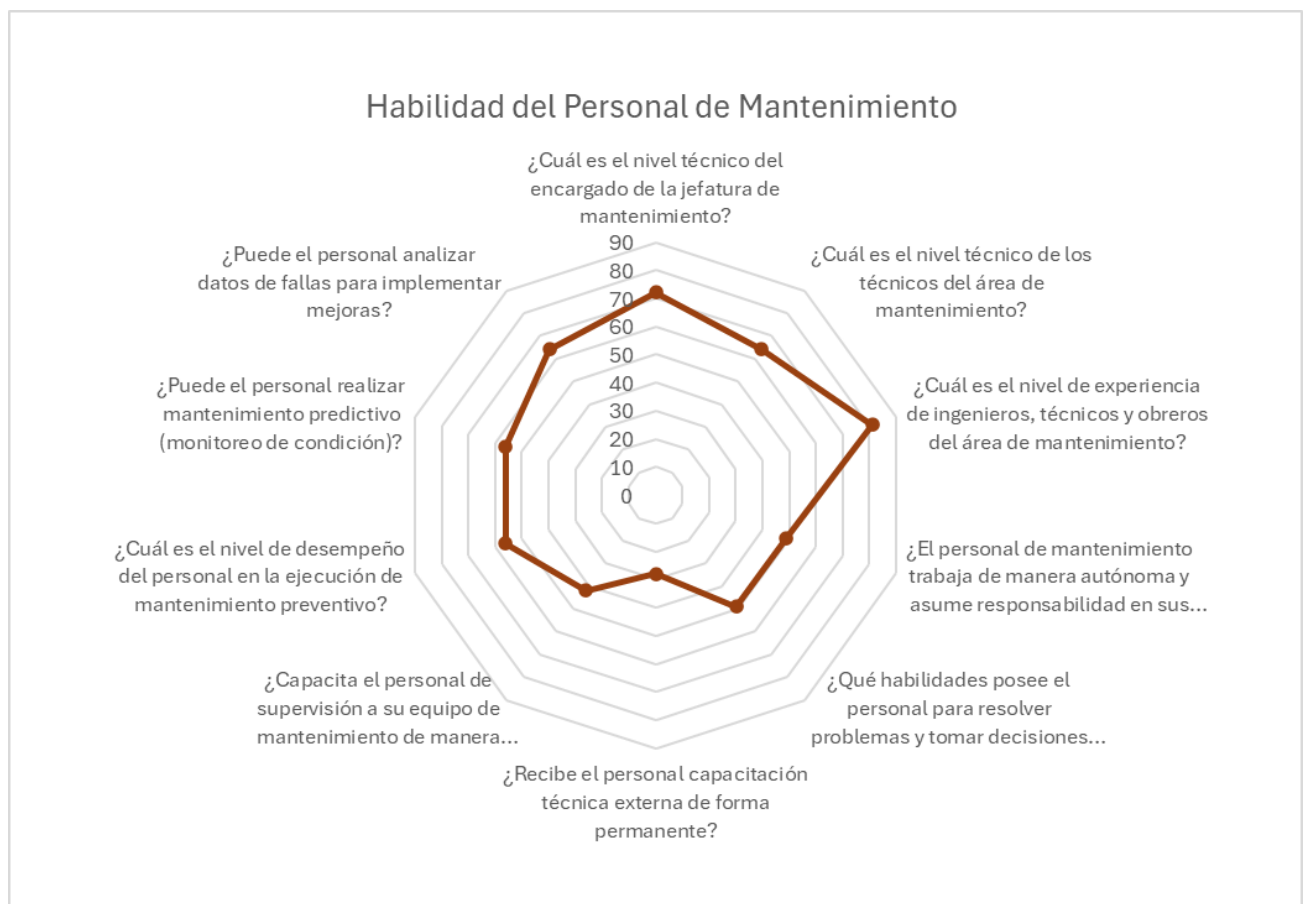
Auditoria de Mantenimiento - Habilidad del personal de Mantenimiento

4	Habilidad del Personal de Mantenimiento												
N°	Componentes		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Habilidad del Personal de Mantenimiento
4.01	¿Cuál es el nivel técnico del encargado de la jefatura de mantenimiento?	9			X								72
4.02	¿Cuál es el nivel técnico de los técnicos del área de mantenimiento?	8			X								64
4.03	¿Cuál es el nivel de experiencia de ingenieros, técnicos y obreros del área de mantenimiento?	9		X									81
4.04	¿El personal de mantenimiento trabaja de manera autónoma y asume responsabilidad en sus tareas?	7				X							49
4.05	¿Qué habilidades posee el personal para resolver problemas y tomar decisiones en mantenimiento?	7				X							49
4.06	¿Recibe el personal capacitación técnica externa de forma permanente?	4				X							28
4.07	¿Capacita el personal de supervisión a su equipo de mantenimiento de manera continua?	6				X							42
4.08	¿Cuál es el nivel de desempeño del personal en la ejecución de mantenimiento preventivo?	7			X								56
4.09	¿Puede el personal realizar mantenimiento predictivo (monitoreo de condición)?	7		X									56
4.10	¿Puede el personal analizar datos de fallas para implementar mejoras?	8			X								64
PROMEDIO		7	SUMATORIA										561

Nota: Elaboración propia

Figura 22

Habilidad del Personal de Mantenimiento



Nota: Elaboración propia

Figura 24

Auditoria del Mantenimiento - Abastecimiento del Mantenimiento

5	Abastecimiento del Mantenimiento											
Nº	Componentes	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Abastecimiento del Mantenimiento
5.01	¿Cuál es la velocidad de respuesta a las solicitudes de compras para el área de mantenimiento?	7		X								56
5.02	¿Están ordenados los almacenes de repuestos para mantenimiento en el Molino Los Angeles?	7		X								56
5.03	¿Cómo se evalúan los mecanismos de recepción de repuestos en términos de calidad y cantidad?	6		X								48
5.04	¿Se realizan compras basadas en especificaciones precisas del área de mantenimiento?	8			X							56
5.05	¿Se actualiza permanentemente el catálogo de componentes (repuestos) de la planta?	6	X									54
5.06	¿Cuál es la disponibilidad de repuestos, materiales y suministros para mantenimiento?	6			X							42
5.07	¿Participa el área de mantenimiento en el proceso de compra?	9		X								72
5.08	¿Se actualiza permanentemente el registro de proveedores para mantenimiento?	7			X							49
5.09	¿Se respetan los niveles máximo y mínimo de existencias (stock) para mantenimiento?	7		X								56
5.10	¿Cuál es el grado de facilidad para contratar servicios de terceros en mantenimiento?	8		X								64
PROMEDIO		7	SUMATORIA									553

Nota: Elaboración propia

Figura 25

Abastecimiento del Mantenimiento



Nota: Elaboración propia

Figura 26

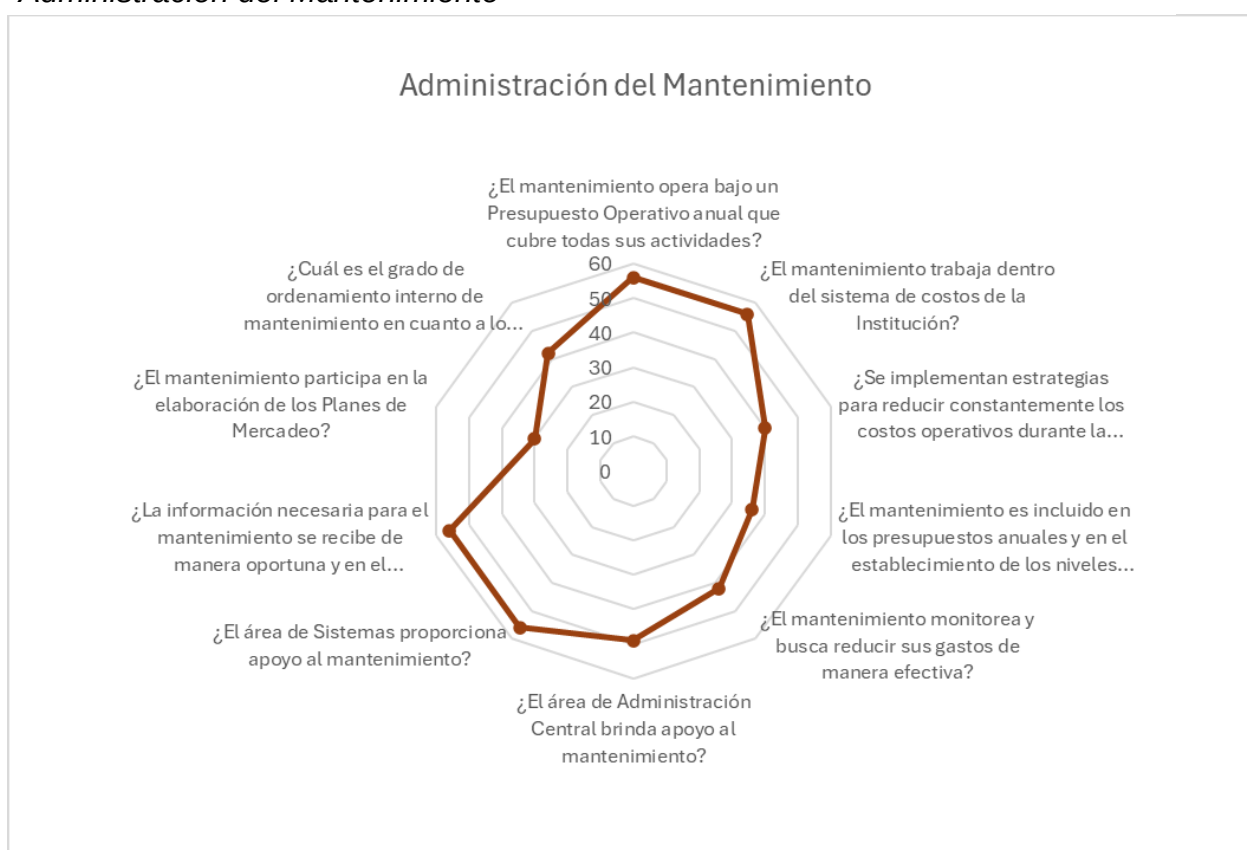
Auditoria de Mantenimiento - Administración del Mantenimiento

6	Administracion del Mantenimiento												
N°	Componentes		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Administracion del Mantenimiento
6.01	¿El mantenimiento opera bajo un Presupuesto Operativo anual que cubre todas sus actividades?	7			X								56
6.02	¿El mantenimiento trabaja dentro del sistema de costos de la Institución?	7			X								56
6.03	¿Se implementan estrategias para reducir constantemente los costos operativos durante la ejecución del mantenimiento?	5			X								40
6.04	¿El mantenimiento es incluido en los presupuestos anuales y en el establecimiento de los niveles de gastos?	6					X						36
6.05	¿El mantenimiento monitorea y busca reducir sus gastos de manera efectiva?	6				X							42
6.06	¿El área de Administración Central brinda apoyo al mantenimiento?	7				X							49
6.07	¿El área de Sistemas proporciona apoyo al mantenimiento?	7			X								56
6.08	¿La información necesaria para el mantenimiento se recibe de manera oportuna y en el formato adecuado?	8				X							56
6.09	¿El mantenimiento participa en la elaboración de los Planes de Mercadeo?	5						X					30
6.10	¿Cuál es el grado de ordenamiento interno de mantenimiento en cuanto a lo administrativo?	6				X							42
PROMEDIO		6	SUMATORIA										463

Nota: Elaboración propia

Figura 27

Administración del Mantenimiento



Nota: Elaboración propia

Tras la valoración minuciosa de los indicadores expuestos en las figuras gráficas anteriormente presentadas, se estableció de manera concluyente que los factores asociados a la configuración organizativa y la programación estratégica de actividades representan los ámbitos con brechas más significativas dentro de la estructura empresarial. En virtud de ello, resulta crucial desarrollar programas de intervención correctiva junto con metodologías estratégicas pertinentes destinadas a fortalecer la operatividad de estos componentes del esquema de conservación técnica, lo cual posibilitará elevar sustancialmente la eficacia en los procesos y certificar un rendimiento sobresaliente en dichas variables críticas del sistema de gestión.

Tabla 9

Análisis General

Aspectos del Mantenimiento	Componentes
Organización del Mtto	62.60
Planeamiento de Mtto	67.31
Ejecución del Mtto	75.81
Habilidad del personal de Mtto	77.92
Abastecimiento del Mtto	77.89
Administración del Mtto	72.34

Nota: Elaboración propia

Figura 28

Componentes general del Mto.



Nota: Elaboración propia

Los datos recabados en el marco del proceso de auditoría realizado revelaron de manera concluyente que las metodologías vinculadas a la configuración organizacional y la proyección estratégica de las tareas de conservación técnica no alcanzan a satisfacer los parámetros ni las especificaciones requeridas por los estándares operacionales. Dicha realidad pone en evidencia la necesidad crítica de ejecutar transformaciones significativas en dichos aspectos del sistema de gestión, con el objetivo fundamental de garantizar su correspondencia con las demandas funcionales del entorno productivo y asegurar un funcionamiento distinguido por su productividad y eficacia.

4.2.2 Diagrama de Pareto de la Auditoria del Mantenimiento.

Se ejecutó un proceso de evaluación sistemática mediante la aplicación de la técnica de Pareto orientada al análisis de los diversos elementos constitutivos del sistema de conservación industrial, cuyo objetivo fundamental consistió en determinar las cuatro modalidades de deficiencia con mayor tasa de

repetición dentro de cada subsistema evaluado. Esta aproximación metodológica permitió establecer prioridades estratégicas de intervención y focalizar los recursos organizacionales disponibles hacia aquellas problemáticas de carácter neurálgico que comprometen significativamente el rendimiento operacional del programa de mantenimiento, lo cual facilitó la implementación de soluciones de elevada efectividad y el logro de una gestión considerablemente más adecuada, productiva y eficiente en el contexto operacional analizado.

Tabla 10

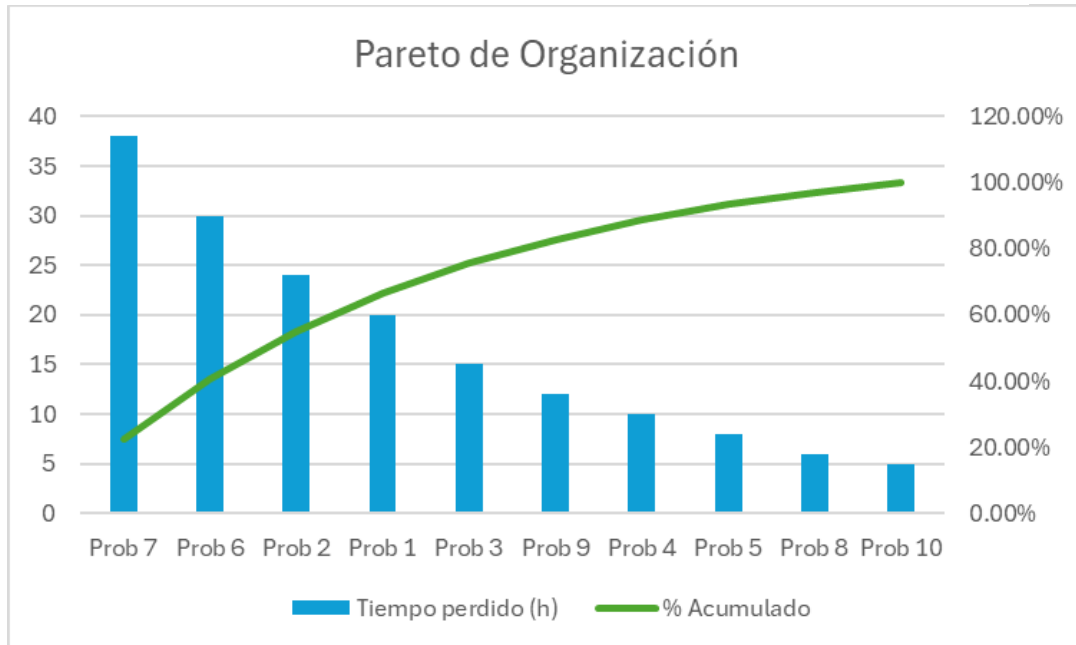
Pareto de Organización

Pareto de Organización				
Ítem	Componentes	Tiempo perdido (h)	Acumulado	% Acumulado
Prob 7	Ineficiencias en la coordinación y en la toma de decisiones relacionadas con actividades de mantenimiento esenciales y urgentes.	38	38	22.62%
Prob 6	Demoras o incapacidad para ejecutar tareas críticas de Mtto de manera oportuna.	30	68	40.48%
Prob 2	No implementar una estructura jerárquica que contemple la criticidad de los equipos para ordenar las labores de mantenimiento.	24	92	54.76%
Prob 1	Carencias en el nivel de calidad de los servicios brindados y en la percepción de satisfacción por parte del cliente.	20	112	66.67%
Prob 3	Ausencia de definición y utilización de Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) con el fin de medir el desempeño y la efectividad de las actividades de Mtto.	15	127	75.60%
Prob 9	Deficiencia en la implementación de un mecanismo formal para la evaluación y control del desempeño del equipo.	12	139	82.74%
Prob 4	Interferencia o injerencia de otras áreas en las operaciones de mant.	10	149	88.69%
Prob 5	Parte del personal carece de información sobre los objetivos que rigen el Mtto.	8	157	93.45%
Prob 8	Problemas para analizar y valorar los resultados alcanzados en las operaciones de Mtto.	6	163	97.02%
Prob 10	Falta de estandarización en los reportes de Mtto.	5	168	100.00%

Nota: Elaboración propia

Figura 29

Diagrama de Pareto de Organización



Nota: Elaboración propia

Tabla 11

Pareto Ejecución.

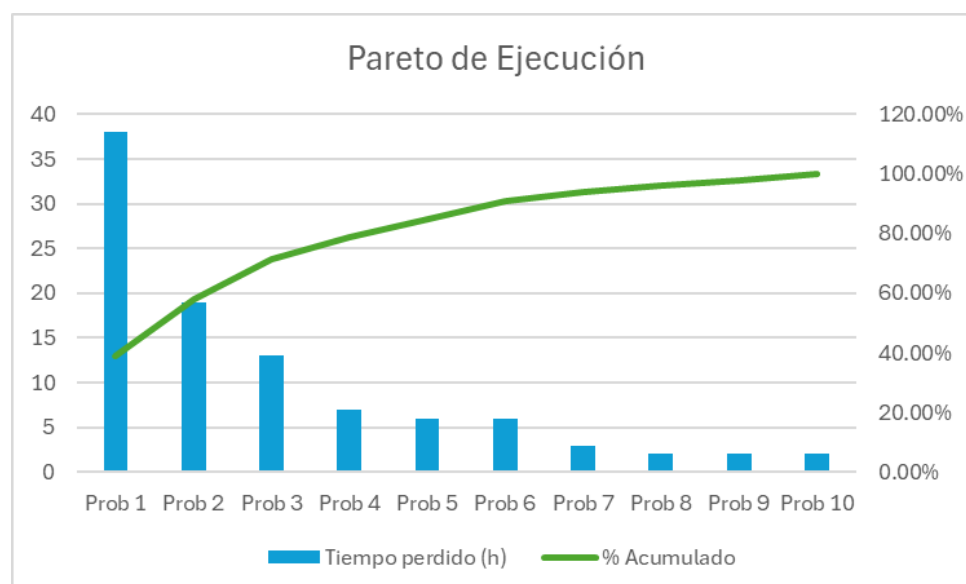
Pareto de Ejecución				
ítem	Componentes	Tiempo perdido (h)	Acumulado	% Acumulado
Prob 1	Incumplimiento en la entrega de los mantenimientos dentro del tiempo programado.	38	38	38.78%
Prob 2	Deficiencia en la documentación sistemática de los eventos recurrentes que afectan el funcionamiento.	19	57	58.16%
Prob 3	El taller responsable del Mto no cumple adecuadamente con los protocolo. establecidos en el programa de Mto.	13	70	71.43%
Prob 4	Pérdida anticipada del valor de las piezas reemplazadas debido a un Mto deficiente, resultando en un deterioro temprano de los activos.	7	77	78.57%
Prob 5	Insuficiencia en el desarrollo de un modelo de administración de recursos productivos que impide el monitoreo y la regulación constante del período operativo de los activos mecánicos.	6	83	84.69%

Prob 6	Limitaciones cognitivas del equipo especializado en relación con los calendarios de actividades proyectadas.	6	89	90.82%
Prob 7	Falta de una comunicación efectiva entre el personal de mantenimiento y los demás departamentos, generando confusiones y retrasos.	3	92	93.88%
Prob 8	Inspección rutinaria deficiente de los equipos y maquinaria.	2	94	95.92%
Prob 9	Lentitud en la compra debido a fallas en la entrega oportuna y exacta de las piezas de repuesto.	2	96	97.96%
Prob 10	Escasez de equipamiento destinado a tareas de conservación con estado de funcionamiento adecuado.	2	98	100.00%

Nota: Elaboración propia

Figura 30

Diagrama de Pareto Ejecución.



Nota: Elaboración propia

Tabla 12

Pareto Planificación

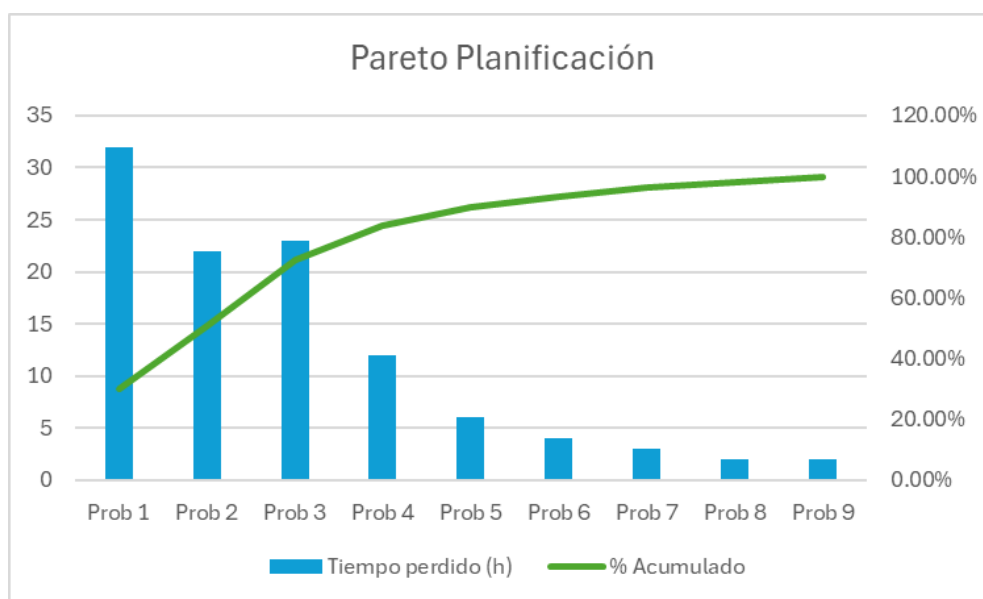
Pareto Planificación				
ítem	Componentes	Tiempo perdido (h)	Acumulado	% Acumulado
Prob 1	Dificultad para identificar y contratar empresas externas y que sean óptimos para la ejecución de mantenimientos.	32	32	30.19%
Prob 2	Carencia de monitoreos continuos de riesgos susceptibles de comprometer la ejecución del plan de mantenimiento.	22	54	50.94%

Prob 3	Presupuesto restringido para el área de mantenimiento dentro de los esquemas de inversión, crecimiento y renovación.	23	77	72.64%
Prob 4	Deficiencia en la elaboración de un plan preventivo que integre todos los equipos involucrados en las actividades del proceso.	12	89	83.96%
Prob 5	Indisponibilidad del personal técnico durante la fase de planificación de actividades de mantenimiento.	6	95	89.62%
Prob 6	Demoras en la recepción y procesamiento de órdenes de mantenimiento.	4	99	93.40%
Prob 7	Falta de claridad en la logística y gestión de materiales necesarios para el mantenimiento.	3	102	96.23%
Prob 8	Falta de establecimiento de fechas alcanzables para completar las intervenciones de mantenimiento.	2	104	98.11%
Prob 9	Incidencias inesperadas que surgen en las empresas externas contratados para realizar mantenimientos.	2	106	100.00%

Nota: Elaboración propia

Figura 31

Diagrama de Pareto Planificación



Nota: Elaboración propia

Tabla 13

Pareto de Habilidad del Personal

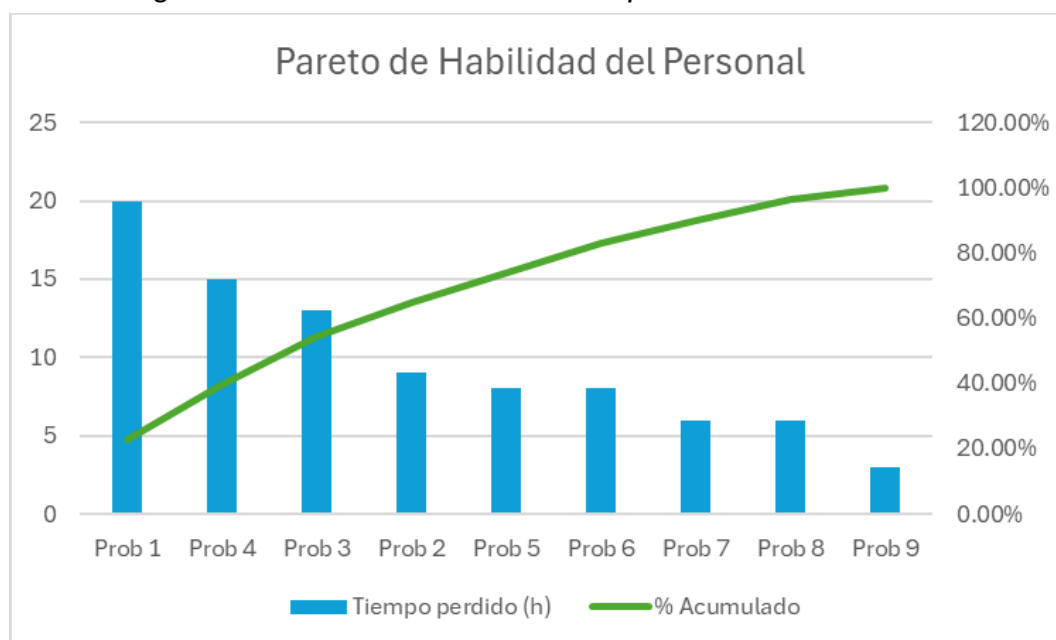
Pareto de Habilidad del Personal

ítem	Componentes	Tiempo perdido (h)	Acumulado	% Acumulado
Prob 1	No se cuenta con un esquema sistematizado que facilite el manejo de documentación técnica y el monitoreo de equipos, lo que restringe la capacidad de supervisar adecuadamente los activos operacionales y obstaculiza su correcta administración.	20	20	22.73%
Prob 4	Problemas en la comunicación entre áreas que afectan negativamente la coordinación y ejecución de los proyectos de mantenimiento.	15	35	39.77%
Prob 3	Inexistencia de un proceso formal para el seguimiento y evaluación continua de los activos en funcionamiento.	13	48	54.55%
Prob 2	Malentendido en la interpretación de guías técnicas y documentación por parte de los operadores de las unidades.	9	57	64.77%
Prob 5	Ausencia de iniciativas de desarrollo profesional, internas o externas, lo que restringe las oportunidades para que el personal adquiera las competencias técnicas requeridas.	8	65	73.86%
Prob 6	Se observan insuficiencias en las capacidades de liderazgo para proyectos de conservación de equipos, derivando en dilaciones operativas y deficiencias en la planificación sistemática de las actividades.	8	73	82.95%
Prob 7	Diversos departamentos presentan dificultades para asimilar y aplicar técnicas de procesamiento informacional instantáneo destinadas a estrategias de conservación predictiva de equipos industriales.	6	79	89.77%
Prob 8	Falta de capacidad para fomentar un ambiente de aprendizaje colaborativo entre el personal de Mtto.	6	85	96.59%
Prob 9	Fallas en la supervisión de los trabajos de Mtto, lo que afecta la calidad y eficiencia de las operaciones.	3	88	100.00%

Nota: Elaboración propia

Figura 32

Diagrama de Pareto Habilidades del personal



Nota: Elaboración propia

Tabla 14

Pareto de Abastecimiento

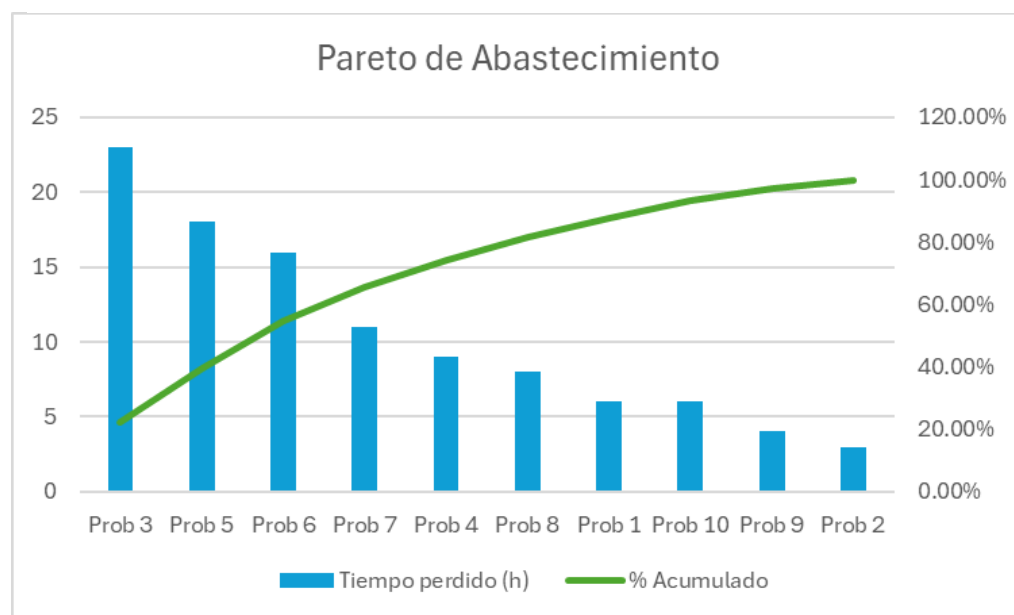
Pareto de Abastecimiento				
ítem	Componentes	Tiempo perdido (h)	Acumulado	% Acumulado
Prob 3	La ausencia de una estrategia adecuada para coordinar las solicitudes de repuestos derivó en demoras y faltantes de materiales, afectando los procesos de suministro y disponibilidad.	23	23	22.12%
Prob 5	Insuficiente acondicionamiento del lugar de almacenamiento de repuestos, ocasionando daños que conducen a la pérdida de las piezas.	18	41	39.42%
Prob 6	Falta de un criterio uniforme para la nomenclatura y especificaciones técnicas de los repuestos, lo que provoca duplicidades en el sistema y errores en la gestión del inventario.	16	57	54.81%
Prob 7	Carencia de un control adecuado del inventario debido a procedimientos incorrectos, incluyendo la salida de materiales sin registro, afectando la actualización en tiempo real del inventario.	11	68	65.38%
Prob 4	Comunicación insuficiente entre mantenimiento y almacén sobre el inventario de repuestos, causando tanto exceso como escasez de materiales.	9	77	74.04%

Prob 8	Control deficiente en la recepción de repuestos por parte de personal no calificado, lo que afecta la calidad y precisión del inventario.	8	85	81.73%
Prob 1	Retrasos en la recepción de materiales debido a la falta de cumplimiento de los plazos de entrega por parte de los proveedores, afectando el ritmo de mantenimiento.	6	91	87.50%
Prob 10	Demoras en la recepción de materiales debido a procedimientos burocráticos, documentación y autorizaciones en el proceso de adquisición.	6	97	93.27%
Prob 9	Disminución del inventario originada por la devolución de piezas defectuosas o fuera de especificación.	4	101	97.12%
Prob 2	Deficiencias en el manejo del sistema aplicado al proceso de adquisición, produciendo retrasos y disminución en la eficiencia de la gestión de materiales.	3	104	100.00%

Nota: Elaboración propia

Figura 33

Diagrama de Pareto de Abastecimiento.



Nota: Elaboración propia

Tabla 15

Pareto de Administración.

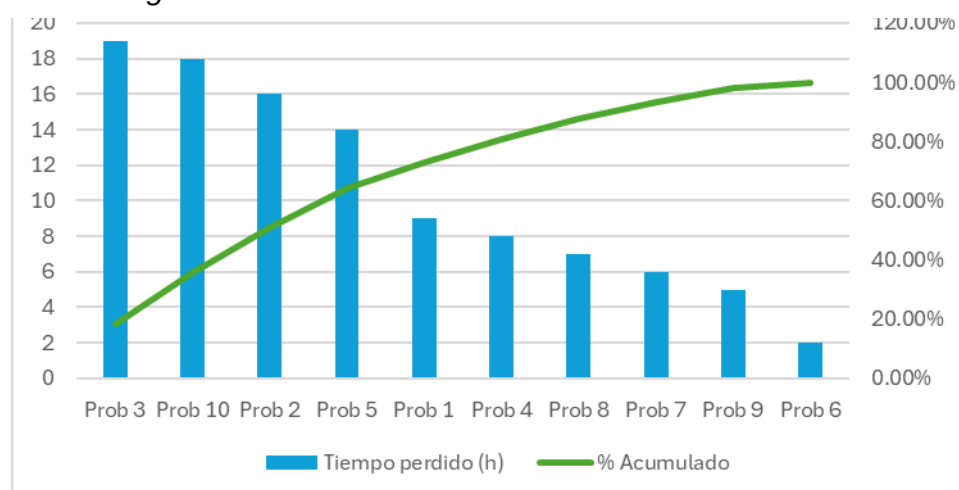
Pareto de Administración.				
ítem	Componentes	Tiempo perdido (h)	Acumulado	% Acumulado

Prob 3	Ausencia de profesionales con la formación adecuada para administrar y coordinar el área de Mnt.	19	19	18.27%
Prob 10	Inadecuado soporte financiero y de análisis de costos que dificulta una evaluación objetiva para decidir sobre la viabilidad de los proyectos de Mnt.	18	37	35.58%
Prob 2	Falta de un plan estructurado para la recepción y verificación de repuestos.	16	53	50.96%
Prob 5	Disminución sostenida año tras año del presupuesto destinado al área de Mnt restringiendo su capacidad para operar eficazmente.	14	67	64.42%
Prob 1	Ineficiente manejo administrativo de los recursos en el sector de Mnt.	9	76	73.08%
Prob 4	Ausencia de un sistema eficaz para gestionar y monitorear las solicitudes y el seguimiento de los pedidos de repuestos.	8	84	80.77%
Prob 8	Ausencia de control en la distribución de actividades del personal, lo que genera sobrecarga de trabajo y desequilibrio en las cargas laborales.	7	91	87.50%
Prob 7	Tiempos prolongados para la revisión y aprobación de reportes financieros y de gestión asociados con Mtto.	6	97	93.27%
Prob 9	Lentitud en la entrega de información clave al área de mantenimiento, lo que impacta negativamente en la toma de decisiones.	5	102	98.08%
Prob 6	Insuficiencias en la administración y clasificación de la documentación operativa del área de Mnt.	2	104	100.00%

Nota: Elaboración propia

Figura 34

Diagrama de Pareto de Administración de mtto



Nota: Elaboración propia

Tabla 16

Acción a realizar de los componentes más críticos

Concepto de Análisis	N°	Numero de	Problema	Acción a realizar
Organización del mantenimiento	1	Prob 7	Ineficiencias en la coordinación y en la toma de decisiones relacionadas con actividades de mantenimiento esenciales y urgentes.	Incorporar una aplicación computarizada para el control de mantenimiento, permitiendo jerarquizar operaciones y sincronizar actividades de forma óptima. Crear un equipo multidisciplinario que se reúna periódicamente para evaluar y priorizar las actividades de mantenimiento, considerando el impacto operativo y económico.
	2	Prob 6	Retrasos o incapacidad para ejecutar tareas críticas de mantenimiento de manera oportuna.	Implementar un programa de mantenimiento preventivo y predictivo para reducir la dependencia del mantenimiento correctivo mediante la identificación temprana de fallos potenciales. Implementar guías de actuación rápida que permitan enfrentar tareas esenciales, considerando siempre la previsión y el acceso a los insumos y al equipo necesario.
	3	Prob 2	No implementar una estructura jerárquica que contemple la criticidad de los equipos para ordenar las labores de mantenimiento.	Implementar una matriz de priorización de activos considerando criterios como el efecto sobre la producción, los niveles de seguridad industrial y el impacto en los costos operativos. Garantizar que el personal de mantenimiento entienda la relevancia de la priorización y aplique los criterios definidos.
Planeamiento de mantenimiento	1	Prob 1	Dificultad para identificar y contratar empresas externas y que sean óptimos para la ejecución de mantenimientos.	Crear un proceso de selección estandarizado en donde se desarrolle un protocolo que incluya la evaluación de experiencia, referencias, certificaciones y capacidad técnica
	2	Prob 2	Carencia de monitoreos continuos de riesgos susceptibles de comprometer la ejecución del plan de mantenimiento.	Realizar evaluaciones periódicas (anuales o semestrales) para identificar riesgos potenciales en el plan de mantenimiento, también hacer análisis los posibles fallos, sus causas y efectos, y desarrollar planes de mitigación.
	3	Prob 3	Presupuesto restringido para el área de mantenimiento dentro de los esquemas de inversión, crecimiento y renovación.	Demostrar el retorno de la inversión (ROI) de un presupuesto adecuado, destacando cómo el mantenimiento preventivo y predictivo reduce costos a largo plazo.

Nota: Elaboración propia

4.2.3 Análisis de criticidad de la pulidora cónica

La identificación de los equipos críticos es fundamental en este informe de investigación, pues sustenta el desarrollo de un plan de mantenimiento bajo criterios de confiabilidad (RCM) que busca incrementar la eficiencia y disponibilidad de la pulidora cónica N° 04 en Molino Los Angeles. Este análisis comprende las siguientes etapas:

- Registro y evaluación de averías reiterativas junto a sus tiempos de restablecimiento: Al analizar la documentación histórica, se obtendrá un listado de los defectos que presentan mayor recurrencia y el tiempo requerido para su corrección..
- Clasificación de sistemas y componentes según su criticidad: Se establecerá una jerarquización de los sistemas y componentes de la pulidora cónica, considerando variables como la frecuencia de fallas, el (MTTR), el impacto operativo y las consecuencias derivadas de las fallas.

Al priorizar los activos esenciales a través del análisis de criticidad (AC), el planteamiento RCM pudo destinar recursos hacia los componentes que tienen mayor impacto en la operación de la pulidora, logrando así una mayor continuidad operativa y reduciendo los tiempos de inactividad imprevistos. Asimismo, este análisis servirá como base para diseñar tareas de mantenimiento específicas y eficaces, adaptadas a las características particulares de los activos físicos en cuestión, garantizando así una gestión de mantenimiento óptima y sostenible.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El AC se sustenta en los datos históricos de fallas y los tiempos de reparación registrados en la Tabla 5, titulada “Cantidad de fallas en Pulidora Cónica”. Constituye un recurso crucial para identificar las fallas más comunes y los lapsos de inactividad vinculados a cada tipo.

No obstante, para precisar el grado de criticidad de cada modo de falla, se requirió incluir y valorar criterios adicionales que permitieran evaluar de forma

completa el impacto que dichas fallas tenían sobre varios aspectos operativos y de gestión de activos.

Frecuencia: Se trata de un índice que permite determinar la periodicidad con la que aparece determinado modo de falla en un rango temporal dado, definido aquí como siete meses. Una elevada frecuencia de fallas indica que el componente o sistema en cuestión presenta una tendencia a sufrir averías de manera reiterada, lo cual puede afectar de manera considerable la disponibilidad operativa de la pulidora, generando interrupciones no planificadas y reduciendo la eficiencia general del equipo.

Tiempo de reparación: Este indicador mostró el tiempo promedio empleado para restablecer el funcionamiento operativo de la pulidora. Dicho parámetro fue fundamental, los prolongados tiempos requeridos para las reparaciones se tradujeron en largos periodos de inactividad del equipo, afectando la productividad de forma directa y provocó incrementos en los costos operativos y de mantenimiento.

Impacto en la producción: Este indicador analizó el impacto de un modo de falla específico sobre la productividad y la disponibilidad para operar de la pulidora. Aquellas fallas que provocan interrupciones totales en las operaciones o que reducen de manera significativa el rendimiento del equipo tendrán un impacto considerable en la producción, afectando negativamente la eficiencia operativa y los resultados generales del proceso productivo.

Impacto ambiental: Resulta esencial evaluar las posibles repercusiones ambientales asociadas a los modos de falla, incluyendo, entre otros, emisiones de sustancias como polvo, cascara, el ruido la cual puede generar niveles

significativos de ruido y la exposición prolongada al polvo generado por la pulidora puede causar problemas respiratorios. Estos efectos adversos no solo pueden ocasionar sanciones legales y multas, sino también provocar daños significativos al medio ambiente, comprometiendo la sostenibilidad y responsabilidad ambiental de las operaciones.

Impacto en seguridad: El parámetro considerado facilitó la apreciación de los riesgos y los efectos derivados tanto en la integridad física del personal y terceros, como en posibles deterioros sobre la maquinaria y otras estructuras colindantes. Se clasificaron como de alto impacto en seguridad aquellas fallas que pudieran ocasionar accidentes, lesiones personales, daños materiales o, en situaciones extremas, pérdida de vidas humanas, requiriendo una atención prioritaria en el plan de mantenimiento con el fin de reducir dichos riesgos.

En cuanto a la asignación de puntajes, estos se establecerán en una escala del 1 al 5, considerando los siguientes niveles de criticidad:

Tabla 17

Escala de referencia de niveles de criticidad

Nivel Criticidad	
C. Severa	5
C. Mayor	4
C. Moderada	3
C. Menor	2
C. Insignificante	1

Nota. Elaboración propia

Para categorizar los modos de fallas se tiene la siguiente tabla:

Tabla 18*Escala de calificación y criterios*

Clasificación	5	4	3	2	1
Criterios					
Frecuencia	Muy frecuente	Frecuente	Media	Poco frecuente	Rara vez
Tiempo de reparación	Más de 24 horas	Entre 12 a 24 horas	Entre 6 a 12 horas	Entre 2 a 6 horas	Menor de 2 horas
Impacto en la producción	Parada total de operación	Alta Afectación a la productividad	Moderada afectación a la productividad	Baja afectación a la productividad	Mínima o nula afectación
Impacto ambiental	Contaminación grave, multas altas	Contaminación moderada, riesgo de multas	Riesgo leve de contaminación	Mínimo riesgo ambiental	Sin impacto ambiental
Impacto de seguridad	Parada total, daños graves, alto riesgo de accidentes	Parada parcial, daños moderados, riesgo de accidentes	Potencial de daños menores, riesgos bajos	Consecuencias leves	Sin consecuencias relevantes

Nota. Elaboración propia

La criticidad se calcula mediante la siguiente formula:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia (Imp. Prod. + Imp. Amb. + Imp. Seg.)}$$

Donde:

- Frecuencia: Número asignado que corresponde al nivel de reincidencia del fallo, medido sobre una escala que va del 1 al 10.
- Consecuencia: Sumatoria de impactos (Producción, ambiental y seguridad).

Sabiendo ello se realizó la tabla indicando los valores de criticidad para todos los modos de falla que presenta la pulidora cónica:

Tabla 19*Análisis de criticidad de la Pulidora Cónica N°04*

Modo de Falla	Frecuencia	Impacto en producción	Impacto ambiental	Impacto de seguridad	Consecuencia	Criticidad
Rotura de frenos	10	5	4	3	12	120
Daños de Cribas	4	2	2	3	7	28
Sobrecarga de material	10	4	3	2	9	90
Engrase de rodamientos	4	3	3	2	8	32
Falla de tablero	3	5	1	2	8	24
Correas desgastadas	8	5	3	2	10	80
Suciedad Interna	9	2	1	1	4	36
Falla en el pulsador	2	5	1	1	7	14
Falla succión de polvo	7	2	2	1	5	35
Desalineación del eje	4	5	1	2	8	32
Desgaste de Piedra	4	5	4	3	12	48
Corte de energía	2	5	1	1	7	14

Nota. Elaboración propia

Para facilitar una mejor comprensión, se incorporó una tabla que presenta los niveles de criticidad derivados del análisis realizado.

Tabla 20*Niveles de criticidad*

Puntaje Critico	Nivel de Criticidad
110-150	Muy Critico
70-110	Critico
30-70	Moderadamente critico
0-30	Poco critico

Nota. Elaboración propia

Tabla 21

Modos de falla aplicables a escalas de criticidad

Modo de Falla	Puntaje de Criticidad	Nivel de Criticidad
Rotura de frenos	120	Muy Critico
Sobrecarga de material	90	Critico
Correas desgastadas	80	Critico
Desgaste de Piedra	48	Moderadamente critico
Suciedad Interna	36	Moderadamente critico
Falla succión de polvo	35	Moderadamente critico
Engrase de rodamientos	32	Moderadamente critico
Desalineación del eje	32	Moderadamente critico
Daños de Cribas	28	Poco critico
Falla de tablero	24	Poco critico
Falla en el pulsador	14	Poco critico
Corte de energía	14	Poco critico

Nota. Elaboración propia

De la tabla 20, se muestra el AC realizado de los modos de falla de la pulidora cónica N° 04, se resaltaron los siguientes puntos importantes.

Las fallas con mayor nivel de criticidad son:

- Rotura de frenos: con un puntaje de 120
- Sobrecarga de material: con un puntaje de 90
- Correas desgastadas: con un puntaje de 80

Dichos fallos destacan por su elevada frecuencia y por el nivel de daño que pueden provocar, abarcando desde detenciones operativas prolongadas, reducción notable de la productividad, peligros para la seguridad ocupacional hasta daños importantes al ambiente.

Las fallas con menor nivel de criticidad son:

- Falla de tableros: 24

- Falla de pulsador: 14
- Corte de energía: 14

A pesar de su baja frecuencia y de las consecuencias de menor magnitud asociadas, estas fallas no deben ser subestimadas, ya que, en caso de presentarse, podrían afectar la disponibilidad operativa del equipo y, en consecuencia, impactar negativamente en la eficiencia y continuidad de las operaciones.

Finalmente:

La estructuración de prioridades permite enfocar el programa de mantenimiento en el marco RCM hacia fallas con impacto crítico sobre la operación, buscando disminuir la exposición a dichos riesgos y elevar la disponibilidad del equipo pulidor cónico N° 04, asegurando así su eficiencia operativa y continuidad en el proceso productivo.

4.2.4 *Análisis de causas raíz de modos de falla críticos*

Una vez establecido el indicador de disponibilidad y efectuado el estudio de criticidad, se priorizó la detección de las causas que estaban detrás de los fallos observados. Esta indagación resultó central para diseñar intervenciones de mantenimiento eficaces y específicamente orientadas a las condiciones del equipo. Asimismo, este procedimiento permitió localizar y controlar las Notas de los problemas o defectos que afectaban a la pulidora cónica, con el propósito de solucionarlos de manera eficaz, optimizando así la disponibilidad del equipo y del sistema en su totalidad.

De los modos de falla mostrados para la pulidora cónica N° 04, son:

Tabla 22

Lista de causa raíz de modos de falla

Causa raíz de eventos de falla	
Rotura de frenos	Desgaste excesivo debido a fricción continua sin mantenimiento preventivo.
	Empleo de materiales de calidad insuficiente en la fabricación de los frenos.
	Sobrecarga operativa que supera la capacidad de diseño de los frenos.
	Falta de ajuste inadecuado de los componentes del sistema de frenado.
Sobrecarga de material	Operación con flujos de material superiores a la capacidad de procesamiento de la máquina.
	Falta de regulación o calibración del sistema de alimentación.
	Bloqueos o atascos en el sistema de descarga, que generan acumulación interna.
	Inadecuada supervisión del proceso por parte del operador.
Correas desgastadas	Tensión incorrecta de las correas, ya sea por exceso o falta de ajuste.
	Desalineación de poleas o ejes, que genera fricción irregular.
	Exposición a condiciones ambientales adversas, como humedad o polvo, que aceleran el deterioro.
	Uso de correas de baja calidad o no adecuadas para las condiciones de operación.
Desgaste de piedra	Uso continuo sin periodos de enfriamiento o descanso, lo que genera fatiga del material.
	Contacto con impurezas o materiales abrasivos en el arroz que aceleran el desgaste.
	Falta de mantenimiento preventivo, como rectificado o reemplazo programado.
	Calidad inferior de la piedra utilizada en la fabricación del equipo.
Suciedad interna	Acumulación de residuos de arroz, polvo y otros subproductos debido a limpieza insuficiente.
	Filtros de aire o sistemas de aspiración de polvo ineficientes o obstruidos.
	Diseño inadecuado de la máquina que dificulta la limpieza interna.
	Falta de protocolos de limpieza periódica en el plan de mantenimiento.
Falla en la succión de polvo	Obstrucción en los ductos o filtros del sistema de aspiración.

	Desgaste o daño en el ventilador o motor que impulsa la succión. Baja capacidad del sistema de aspiración para manejar el volumen de polvo generado. Falta de Mtto Prv en los componentes del sistema de succión.
Engrase de rodamientos	Uso de lubricantes inadecuados o de baja calidad. Intervalos de lubricación demasiado espaciados o inexistentes. Contaminación del lubricante por ingreso de polvo o humedad. Sobrecarga o desalineación que genera fricción excesiva en los rodamientos.
Desalineación del eje	Montaje incorrecto durante la instalación o mantenimiento. Vibraciones excesivas debido a desbalanceo de componentes rotativos. Desgaste de soportes o cojinetes que afectan la alineación. Cargas operativas desiguales o impactos mecánicos durante la operación.
Daños de cribas	Impactos repetidos por materiales duros o impurezas en el arroz. Fatiga del material debido a vibraciones constantes. Uso de cribas de baja resistencia o calidad inadecuada. Falta de inspección y reemplazo oportuno de cribas desgastadas.
Falla del tablero	Cortocircuitos debido a humedad o acumulación de polvo en los componentes eléctricos. Sobrecarga eléctrica por fallas en el sistema de alimentación. Envejecimiento o desgaste natural de los componentes electrónicos. Falta de protección contra variaciones de voltaje o picos de energía.
Falla en el pulsador	Desgaste mecánico por uso continuo sin mantenimiento. Acumulación de polvo o suciedad que afecta su funcionamiento. Conexiones eléctricas flojas o corroídas. Uso de pulsadores de baja calidad o no adecuados para las condiciones de operación.
Corte de energía	Fallas en la red eléctrica externa o en la infraestructura de suministro. Sobrecarga en el sistema eléctrico de la máquina. Cableado defectuoso o conexiones en mal estado. Falta de sistemas de respaldo o protección contra cortes de energía.

Nota: Elaboración propia.

4.2.5 Definición de las tareas de mantenimiento general aplicables a la pulidora cónica N° 4

Para determinar las labores concretas de mantenimiento que se asignarían a cada modo de fallo, se consideró pertinente, en un primer momento, efectuar una clasificación o agrupamiento de todos los eventos y modos de fallo presentes en los sistemas, conformaban el bien tangible. Este enfoque permite organizar y estructurar el análisis de manera sistemática, facilitando la identificación de las acciones de mantenimiento más adecuadas para cada componente o subsistema, y asegurando una gestión más eficiente y focalizada de los recursos.

4.2.6 Categorización de modos de falla por sistemas

La nueva disposición de los eventos de falla se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 23

Categorización sistemático de modos de fallo

Sistema de Estructura
• Daños de Cribas • Sobre carga de material • Rotura de frenos • Suciedad Interna • Falla succión de polvo
Sistema de Motor
• Engrase de rodamientos • Correas desgastadas

Sistema de Transmisión

- Desalineación del eje
- Desgaste de Piedra

Sistema Eléctrico

- Corte de energía
- Falla de tablero
- Falla en el pulsador

Nota: La tabla nos muestra la agrupación de modos. Elaboración propia

Se estableció la categorización de los modos de falla en los sistemas (Tabla 22), junto con la escala de criticidad asociada a dichos modos (Tabla 20). Con base en esta información, fue posible realizar la siguiente clasificación en función de los sistemas considerados más críticos de la pulidora cónica N°04

Tabla 24

Especificación de sistemas más críticos de la pulidora cónica N°04

Sistemas más críticos	
Sistema de Estructura	Rotura de frenos
Sistema de Estructura	Sobrecarga de material
Sistema de Motor	Correas desgastadas

Nota. Elaboración propia

Tabla 25

Especificación de sistemas menos críticos de la pulidora cónica N°04

Sistemas menos críticos	
Sistema de Estructura	Daños de Cribas

Sistema Eléctrico	Falla de tablero
Sistema Eléctrico	Falla en el pulsador

Nota. Elaboración propia

4.2.7 Definición de tareas de mantenimientos para los sistemas críticos

En esta fase, se precisó la clasificación de los sistemas más relevantes de la pulidora cónica. Se constató que el índice de disponibilidad aumentaba cuando se implementaron intervenciones de mantenimiento específicas para cada modo de fallo asociado a dichos sistemas críticos. Como se indicó anteriormente, se distinguieron tres modalidades de mantenimiento: predictivo, preventivo y correctivo. Por lo tanto, se definieron las tareas correspondientes para los sistemas identificados como prioritarios, tomando en cuenta estos tres enfoques de mantenimiento.

Los detalles de estas tareas se presentarán en las siguientes tablas.

Tabla 26

Tareas de mtto para sistema de Estructura – Rotura de frenos

Sistema de Estructura	
Modo de falla:	Rotura de frenos
Mantenimiento Preventivo:	
- Realizar inspecciones periódicas de los componentes del sistema de frenos, verificando el desgaste. - Establecer un programa de ajuste de los mecanismos de frenado para garantizar su correcto funcionamiento. - Reemplazar las piezas sujetas a desgaste de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o con base en intervalos de tiempo definidos por experiencia operativa.	
Mantenimiento Predictivo:	

- Implementar una supervisión constante que posibilite la evaluación del estado de los frenos. frenos mediante sensores de vibración y desgaste.
- Analizar tendencias en los datos recopilados para predecir fallas potenciales y planificar intervenciones antes de que ocurra una rotura.
- Utilizar métodos de análisis vibracional y termográfico para detectar irregularidades en el desempeño.

Mantenimiento Correctivo:

- Efectuar la reparación o sustitución inmediata de los frenos en caso de detectarse una rotura o mal funcionamiento durante la operación.
- Realizar un diagnóstico exhaustivo para identificar las causas raíz de la falla y aplicar las correcciones necesarias para evitar recurrencias.
- Documentar la falla y las acciones tomadas para mejorar los protocolos de mtto futuros.

Nota. Elaboración propia

Tabla 27

Tareas de mtto para sistema de Estructura – Sobrecarga de material

Sistema de Estructura	
Modo de falla:	Sobrecarga de material
Mantenimiento Preventivo:	
• Establecer un protocolo de carga máxima permitida para evitar exceder la capacidad operativa de la pulidora.	
• Capacitar al personal operativo sobre los límites de carga y los riesgos asociados a la sobrecarga de material.	
• Realizar inspecciones regulares del sistema de alimentación y de los mecanismos de regulación de flujo de material para asegurar su correcto funcionamiento.	
Mantenimiento Predictivo:	
• Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real que midan el flujo de material y alerten sobre posibles sobrecargas antes de que ocurran.	
• Utilizar sensores de peso, presión o flujo para recopilar datos y analizar tendencias que permitan predecir situaciones de riesgo.	
• Realizar análisis de vibraciones y temperatura en los componentes críticos para detectar anomalías asociadas a la sobrecarga.	
Mantenimiento Correctivo:	

- Detener inmediatamente la operación de la pulidora al detectarse una sobrecarga de material para evitar daños mayores.
- Realizar una inspección detallada del sistema de estructura y los componentes afectados para identificar posibles daños o deformaciones.
- Reparar o reemplazar las piezas dañadas, como soportes, ejes o elementos de transmisión, y ajustar los mecanismos de control de flujo.
- Documentar el incidente y las acciones correctivas tomadas para mejorar los protocolos de operación y mantenimiento.

Nota. Elaboración propia

Tabla 28

Tareas de mtto para Sistema de Motor – Correas desgastadas

Sistema de Motor	
Modo de falla:	Correas desgastadas
Mantenimiento Preventivo:	
• Establecer un plan de inspección regular de las correas para comprobar su estado de desgaste, tensión y alineación. • Realizar la lubricación adecuada de los componentes asociados, si corresponde, para reducir la fricción y el desgaste prematuro. • Reemplazar las correas de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o con base en intervalos de tiempo definidos por experiencia operativa. • Asegurar que las poleas estén correctamente alineadas y libres de contaminantes que puedan acelerar el desgaste de las correas.	
Mantenimiento Predictivo:	
• Poner en marcha un sistema de supervisión constante que facilite la evaluación del estado de las correas mediante sensores de vibración, temperatura o cámaras térmicas. • Realizar análisis de vibraciones para detectar patrones anormales que indiquen desgaste o mal funcionamiento de las correas. • Utilizar técnicas de inspección visual avanzada, como cámaras de alta resolución, para identificar signos tempranos de desgaste, grietas o deformaciones.	
Mantenimiento Correctivo:	

-
- Detener la operación de la pulidora al detectarse correas desgastadas o rotas para evitar daños mayores en el sistema de motor.
 - Reemplazar las correas desgastadas o dañadas con componentes nuevos que cumplan con las especificaciones técnicas del fabricante.
 - Realizar una inspección completa del sistema de transmisión, incluyendo poleas y rodamientos, para identificar posibles causas del desgaste acelerado.
 - Ajustar la tensión y alineación de las correas nuevas con el fin de asegurar un desempeño adecuado y extender su duración
 - Documentar la falla y las acciones correctivas tomadas para mejorar los protocolos de mantenimiento y prevenir recurrencias.
-

Nota. Elaboración propia

Comprender la imposibilidad de calendarizar el Mnt. Corr. fue determinante, pues este se dedica a reparar eventos aleatorios que no pueden ser previstos y cuya recurrencia es espontánea en los activos..

El Mnt. Corr. difiere fundamentalmente de los modelos preventivos y predictivos porque no sigue un cronograma, sino que responde exclusivamente a problemas inesperados que obligan a actuar tan pronto como ocurre el daño, con el fin de recuperar la funcionalidad del equipo.

4.2.8 *Establecimiento periódico de mantenimiento muy crítico*

En esta parte se especifica la serie de tareas programadas para ser ejecutadas en un período determinado, estableciéndose un plazo de 1 año para el caso de la pulidora cónica N°04. Cabe destacar que esta periodicidad está diseñada exclusivamente para la aplicación de Mtto de tipo Prv y Prd, ya que estas estrategias se implementan de manera anticipada, con la intención de evitar la emergencia de fallos potenciales. Por el contrario, el Mtto Corr no se incluye en esta planificación, dado que su aplicación es posterior a la manifestación de una falla, respondiendo de manera reactiva a situaciones no previstas.

Tabla 29

Periodicidad de mantenimiento de Sistema de Estructura - Rotura de frenos

Sistema de Estructura	
Modo de falla:	Rotura de frenos
Mantenimiento Preventivo:	
- Realizar inspecciones periódicas de los componentes del sistema de frenos, verificando el desgaste. (cada 3 meses) - Establecer un programa de ajuste de los mecanismos de frenado para garantizar su correcto funcionamiento. (cada 6 meses) - Reemplazar las piezas sujetas a desgaste de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o con base en intervalos de tiempo definidos por experiencia operativa. (cada 12 meses)	
Mantenimiento Predictivo:	
- Establecer un sistema de vigilancia constante que facilite la evaluación del estado de los frenos mediante sensores de vibración y desgaste. (cada semana) - Analizar tendencias en los datos recopilados para predecir fallas potenciales y planificar intervenciones antes de que ocurra una rotura. (cada mes) - Emplear métodos de análisis vibracional y termográfico para detectar irregularidades en el funcionamiento. (cada 3 meses)	

Nota. Elaboración propia

Tabla 30

Periodicidad de mantenimiento de Sistema de Estructura - Sobrecarga de material

Sistema de Estructura	
Modo de falla:	Sobrecarga de material
Mantenimiento Preventivo:	
- Establecer un protocolo de carga máxima permitida para evitar exceder la capacidad operativa de la pulidora. (cada mes) - Capacitar al personal operativo sobre los límites de carga y los riesgos asociados a la sobrecarga de material. (cada 6 meses) - Realizar inspecciones regulares del sistema de alimentación y de los mecanismos de regulación de flujo de material para asegurar su correcto funcionamiento. (cada 6 meses)	

Mantenimiento Predictivo:
• Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real que midan el flujo de material y alerten sobre posibles sobrecargas antes de que ocurran. (cada semana) • Utilizar sensores de peso, presión o flujo para recopilar datos y analizar tendencias que permitan predecir situaciones de riesgo. (cada mes) • Realizar análisis de vibraciones y temperatura en los componentes críticos para detectar anomalías asociadas a la sobrecarga. (cada 3 meses)

Nota. Elaboración propia

Tabla 31

Periodicidad de mantenimiento de Sistema de Motor - Correas desgastadas

	Sistema de Motor
Modo de falla:	Correas desgastadas
Mantenimiento Preventivo:	
• Establecer un plan de inspección regular de las correas para evaluar su condición de desgaste, tensión y alineación. (cada 2 meses) • Realizar la lubricación adecuada de los componentes asociados, si corresponde, para reducir la fricción y el desgaste prematuro. (cada 3 meses) • Reemplazar las correas de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o con base en intervalos de tiempo definidos por experiencia operativa. (cada año) • Asegurar que las poleas estén correctamente alineadas y libres de contaminantes que puedan acelerar el desgaste de las correas. (cada 6 meses)	
Mantenimiento Predictivo:	
• Implementar un funcionamiento un sistema de supervisión permanente que facilite la evaluación del estado de las correas mediante sensores de vibración, temperatura o cámaras térmicas. (cada semana) • Realizar análisis de vibraciones para detectar patrones anormales que indiquen desgaste o mal funcionamiento de las correas. (cada mes) • Utilizar técnicas de inspección visual avanzada, como cámaras de alta resolución, para identificar signos tempranos de desgaste, grietas o deformaciones. (cada 3 meses)	

Nota. Elaboración propia

4.2.9 Diagrama de decisión RCM

En la metodología RCM, los diagramas de toma de decisiones se consideran piezas esenciales, pues facilitan la adopción de criterios claros y estructurados para seleccionar las actividades de mantenimiento más eficaces para cada falla identificada.

Se consigue atender con mayor precisión los modos de falla más relevantes, lo que se traduce en un aumento de la seguridad, eficiencia y disponibilidad del sistema. La metodología aplicada permite priorizar de modo efectivo las tareas preventivas y predictivas, mitigando la aparición de eventos imprevistos y mejorando la gestión de los recursos.

Para entender el diagrama RCM es importante conocer estos parámetros:

S = Sí (respuesta afirmativa)

N = No (respuesta negativa)

F = Falla

FF = Falla Funcional

MF = Modo de Falla

H = Consecuencias de la falla (H1, H2, H3, H4, H5 representan diferentes niveles de consecuencias de la falla)

S1, S2, S3 = Tareas de mantenimiento condiciones posibles

E1, E2, E3 = Tareas de mantenimiento de sustitución cíclica posibles

O1, O2, O3 = Otras tareas de mantenimiento posibles

A, B, C... = Representan orden de prioridad

Hojas de decisión del RCM del Sistema de Estructura																
Nombre del Sistema:								Sistema de Estructura de la Pulidora cónica N°04								
Evento de falla:								Rotura de frenos								
Responsable (área)								Mantenimiento								
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones a falta de			Tareas propuestas	Frecuencia	A realizar por:
								H1	H2	H3						
								S1	S2	S3						
								O1	O2	O3						
								N1	N2	N3						
S	F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
ESTRUCTURA	1	A	1	S	N	N	S	S	S	S				Inspección de los frenos para reducir la fricción y prevenir el desgaste excesivo.	3 meses	Mecánico
	1	B	1	S	N	N	S	S	S	S				Verificación de la calidad del material de fricción y reemplazo si es necesario.	12 meses	Mecánico
	1	C	1	S	N	N	S	S	S	S				Monitoreo de la temperatura de los frenos y ajuste de la carga operativa para evitar sobrecargas.	6 meses	Mecánico
	1	D	1	S	N	N	S	S	S	S				Revisión y ajuste del sistema de frenado para asegurar la alineación adecuada.	6 meses	Mecánico
	1	E	1	S	N	N	S	S	S	S				Implementación de períodos de enfriamiento y revisión del sistema de disipación de calor.	6 meses	Mecánico

Modos de fallas específicos:

MF=1: Fricción continua sin mantenimiento preventivo

MF=2: Uso de materiales de baja calidad en la fabricación de los frenos.

MF=3: Sobrecarga operativa que supera la capacidad de diseño de los frenos.

MF=4: Falta de ajuste adecuado durante la instalación o mantenimiento incorrecto.

MF=5: Excesiva carga de trabajo en los frenos sin periodos de enfriamiento adecuados.

Nota: Elaboración propia

Indicadores:

H=Consecuencia; S=seguridad; E=Ambiental; O=Operacional

S= Mantenimiento a condición; S= SI, N=NO

E= Mantenimiento cíclico o de reemplazo; S= SI, N=NO

O= Otro tipo de mantenimiento; S= SI, N=NO

Hojas de decisión del RCM del Sistema de Estructura																	
Nombre del Sistema:				Sistema de Estructura de la Pulidora cónica N°04													
Evento de falla:				Sobre carga de material													
Responsable (área)				Mantenimiento													
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones a falta de			Tareas propuestas		Frecuencia	A realizar por:
								H1	H2	H3							
S	F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
								O1	O2	O3							
								N1	N2	N3							
ESTRUCTURA	1	A	1	S	N	N	S	S	S	S				Ajustar el sistema de alimentación para controlar el ingreso.	Semanal	Mecánico	
	1	B	1	S	N	N	S	S	S	S				Programar mantenimiento preventivo para inspección y calibración del sistema de alimentación.	Mensual	Mecánico	
	1	C	1	S	N	N	S	S	S	S				Implementar inspección visual frecuente en el área de descarga, estableciendo limpieza regular en la zona.	Diario	Mecánico	
	1	D	1	S	N	N	S	S	S	S				Establecer procedimientos estandarizados para el montaje y mantenimiento.	Anual	Mecánico	
	1	E	1	S	N	N	S	S	S	S				Capacitar a los operadores sobre procedimientos de operación segura y eficiente.	3 meses	Supervisión	

Modos de fallas específicos:

MF=1: Operación con flujos de material superiores a la capacidad de procesamiento de la máquina.

MF=2: Falta de regulación o calibración del sistema de alimentación.

MF=3: Bloqueos o atascos en el sistema de descarga, que generan acumulación interna.

MF=4: Falta de ajuste adecuado durante la instalación o mantenimiento incorrecto.

MF=5: Inadecuada supervisión del proceso por parte del operador.

Indicadores:

H=Consecuencia; S=seguridad; E=Ambiental; O=Operacional

S= Mantenimiento a condición; S= SI, N=NO

E= Mantenimiento cíclico o de reemplazo; S= SI, N=NO

O= Otro tipo de mantenimiento; S= SI, N=NO

Nota: Elaboración propia

Hojas de decisión del RCM del Sistema de Estructura																
Nombre del Sistema:								Sistema de Motor de la Pulidora cónica N°04								
Evento de falla:								Correas desgastadas								
Responsable (área)								Mantenimiento								
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones a falta de			Tareas propuestas	Frecuencia	A realizar por:
								H1	H2	H3	H4	H5	S4			
S	F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3						
								O1	O2	O3						
								N1	N2	N3						
MOTOR	1	A	1	S	N	N	S	S	S	S				Inspección y ajuste de la tensión de las correas.	Semanal	Mecánico
	1	B	1	S	N	N	S	S	S	S				Implementar resguardos contra polvo y humedad.	Mensual	Mecánico
	1	C	1	S	N	N	S	S	S	S				Uso de correas certificadas y adecuadas para la carga de trabajo, incluyendo un registro de vida útil.	3 meses	Mecánico
	1	D	1	S	N	N	S	S	S	S				Cambio preventivo de correas basado en horas de operación.	6 meses	Mecánico
	1	E	1	S	N	N	S	S	S	S				Medición de alineación de poleas y ejes.	3 meses	Mecánico

Modos de fallas específicos:

MF=1: Tensión incorrecta de las correas, exceso o falta de ajuste.

MF=2: Exposición a condiciones ambientales adversas (humedad, polvo).

MF=3: Uso de correas de baja calidad o inadecuadas para las condiciones de operación.

MF=4: Correas desgastadas por uso prolongado sin mantenimiento preventivo.

MF=5: Desalineación de eje, generando fricción irregular.

Indicadores:

H=Consecuencia; S=seguridad; E=Ambiental; O=Operacional

S= Mantenimiento a condición; S= SI, N=NO

E= Mantenimiento cíclico o de reemplazo; S= SI, N=NO

O= Otro tipo de mantenimiento; S= SI, N=NO

Nota: Elaboración propia

4.2.10 Definición de tareas de mantenimiento para sistemas menos críticos

Hasta ese punto, se habían realizado los AMEF considerados de alta criticidad. Sin embargo, para desarrollar un programa de mantenimiento completo, fue necesario incluir todos los sistemas que conformaban el activo físico, abarcando también aquellos con niveles bajos de criticidad o muy bajos. La inclusión de estos sistemas permitió disminuir la acumulación de criticidad y, al mismo tiempo, optimizar la disponibilidad operativa del equipo, garantizando su funcionamiento en condiciones óptimas.

En dicho escenario, se realizó un estudio detallado de cada sistema y sus correspondientes tipos de falla, definiendo las tareas de Mto anticipativo, programado y reactivo necesarias. Esto facilitó garantizar un funcionamiento eficaz y seguro del equipo, disminuir la probabilidad de averías inesperadas y extender su durabilidad.

Tabla 32

Tareas de mantenimiento para el Sistema de Transmisión

Sistema de transmisión
Modo de falla: Desgaste de piedra
Mantenimiento preventivo: • Establecer un programa de descanso y enfriamiento del sistema. • Implementar inspecciones periódicas para detectar desgaste prematuro. • Realizar rectificadores programados o reemplazos según el ciclo de vida útil. • Utilizar piedras de alta calidad certificadas para aumentar la durabilidad.
Mantenimiento predictivo: • Monitorear el espesor de la piedra mediante mediciones periódicas. • Analizar las vibraciones y el rendimiento del pulido para detectar deterioro.
Mantenimiento correctivo: • Sustituir la piedra cuando se detecte desgaste excesivo. • Rectificar o reparar la piedra si presenta irregularidades.
Modo de falla: Desalineación del eje

Mantenimiento preventivo:

- Asegurar un montaje preciso durante la instalación.
- Revisar periódicamente la alineación y reajustar si es necesario.
- Controlar el balanceo de los componentes rotativos.

Mantenimiento predictivo:

- Medir la alineación del eje con herramientas de precisión.
- Monitorear vibraciones anómalas.

Mantenimiento correctivo:

- Realignar el eje en caso de desviaciones detectadas.
 - Reemplazar soportes o cojinetes desgastados.
-

Nota: Elaboración propia

Tabla 33*Tareas de mantenimiento para el Sistema de Estructura*

Sistema de Estructura
Modo de fallo: Suciedad interna
Mantenimiento preventivo: • Programar limpiezas internas regulares según el uso de la máquina. • Mejorar la eficiencia de los filtros y sistemas de aspiración. • Rediseñar o modificar las áreas críticas para facilitar la limpieza.
Mantenimiento predictivo: • Inspeccionar visualmente la acumulación de residuos y polvo. • Monitorear la presión en los ductos para detectar obstrucciones.
Mantenimiento correctivo: • Desmontar y limpiar los componentes internos si la acumulación afecta el rendimiento. • Sustituir filtros obstruidos o dañados.
Modo de fallo: Falla en la succión de polvo
Mantenimiento preventivo: • Establecer limpiezas programadas de los ductos y filtros. • Lubricar y revisar el motor del sistema de succión periódicamente. • Evaluar la capacidad del sistema para posibles mejoras.
Mantenimiento predictivo: • Monitorear la presión y también el flujo de aire en el sistema de succión. • Analizar vibraciones en el ventilador y el motor para detectar fallos incipientes.
Mantenimiento correctivo: • Reemplazar el motor o el ventilador si presentan fallos. • Desobstruir ductos o reemplazar filtros dañados.
Modo de fallo: Daños de cribas

Mantenimiento preventivo:

- Inspeccionar cribas regularmente y reemplazar antes de su fallo.
 - Utilizar cribas de mayor resistencia si se detecta desgaste acelerado.
-

Mantenimiento predictivo:

- Medir el desgaste mediante análisis de vibraciones.
 - Realizar inspecciones visuales con periodicidad establecida.
-

Mantenimiento correctivo:

- Sustituir cribas rotas o desgastadas.
 - Reparar la estructura si se detectan fallas en la sujeción.
-

Nota: Elaboración propia

Tabla 34*Tareas de mantenimiento para el Sistema de Motor*

Sistema de Motor
Modo de fallo: Engrase de rodamientos
Mantenimiento preventivo: • Utilizar lubricantes adecuados y de alta calidad. • Aplicar lubricación en los intervalos recomendados. • Proteger los rodamientos contra polvo y humedad.
Mantenimiento predictivo: • Registrar la temperatura y las vibraciones de los rodamientos. • Analizar la calidad del lubricante periódicamente.
Mantenimiento correctivo: • Sustituir rodamientos dañados o sobrecalentados. • Realizar limpieza profunda y lubricación correctiva en caso de contaminación.

Nota: Elaboración propia

Tabla 35*Tareas de mantenimiento para el Sistema Eléctrico*

Sistema Eléctrico
Modo de fallo: Falla del tablero

Mantenimiento preventivo:

- Proteger el tablero contra humedad y polvo con cubiertas adecuadas.
- Inspeccionar conexiones eléctricas y apretar terminales flojos.
- Implementar sistemas de protección contra sobrecargas y picos de voltaje.

Mantenimiento predictivo:

- Medir la resistencia de los componentes eléctricos.
- Analizar la estabilidad del voltaje y la temperatura del tablero.

Mantenimiento correctivo:

- Sustituir componentes eléctricos defectuosos.
- Reparar o reemplazar el tablero si presenta daños severos.

Modo de fallo: Falla en el pulsador

Mantenimiento preventivo:

- Realizar limpiezas periódicas para evitar acumulación de polvo.
- Verificar conexiones eléctricas y apretar terminales.
- Usar pulsadores de alta calidad y resistencia.

Mantenimiento predictivo:

- Inspeccionar el funcionamiento del pulsador con pruebas eléctricas.
- Detectar fallos de contacto antes de que afecten la operación.

Mantenimiento correctivo:

- Sustituir pulsadores desgastados o defectuosos.
- Reparar conexiones eléctricas dañadas.

Modo de fallo: Corte de energía

Mantenimiento preventivo:

- Inspeccionar y mantener la infraestructura eléctrica de la máquina.
- Instalar sistemas de respaldo como UPS o generadores.
- Reemplazar cables defectuosos o conexiones en mal estado.

Mantenimiento predictivo:

- Medir la estabilidad del suministro eléctrico.
- Monitorear el estado del cableado con pruebas de resistencia.

Mantenimiento correctivo:

- Reparar fallas en el sistema de alimentación.
- Reemplazar componentes eléctricos defectuosos.

Nota: Elaboración propia

4.2.11 Establecimiento periódico de mantenimiento poco crítico

De manera similar a las actividades de mantenimiento destinadas a los modos de falla más críticos, en este caso también se consideran únicamente enfoques de Mto Prv y Prd. Para esto, se establece lo siguiente:

Tabla 36

Periodicidad general de mantenimiento por sistemas que son menos críticos

Sistema de Estructura
Modo de fallo: Suciedad interna
• Preventivo: Limpieza interna programada cada semana. • Predictivo: Monitoreo del nivel de residuos cada 15 días.
Modo de fallo: Falla en la succión de polvo
• Preventivo: Limpieza y revisión de filtros y ductos cada mes. • Predictivo: Medición de presión y flujo de aire cada 2 meses.
Modo de fallo: Daños de cribas
• Preventivo: Inspección visual cada 15 días y reemplazo si es necesario. • Predictivo: Medición de desgaste cada mes.
Sistema de Motor
Modo de fallo: Engrase de rodamientos
• Preventivo: Lubricación cada 500 horas de operación o según recomendación del fabricante. • Predictivo: Análisis de vibraciones y temperatura cada 3 meses.
Sistema eléctrico
Modo de fallo: Falla del tablero
• Preventivo: Inspección y limpieza de componentes eléctricos cada 3 meses. • Predictivo: Medición de voltaje y resistencia cada 6 meses.
Modo de fallo: Falla en el pulsador
• Preventivo: Limpieza y revisión de contactos eléctricos cada 3 meses. • Predictivo: Pruebas de continuidad y funcionamiento cada 6 meses.
Modo de fallo: Corte de energía
• Preventivo: Inspección del sistema eléctrico y conexiones cada 6 meses. • Predictivo: Medición de estabilidad del voltaje cada mes.
Nota: Elaboración propia

Es imprescindible resaltar que, aunque el procedimiento utilizado para los sistemas de alta y baja relevancia siguió un enfoque similar, existió una diferencia considerable entre ambos. Los sistemas categorizados con menor gravedad no demandaron la creación de diagramas de decisión conforme a la metodología (RCM), puesto que dichos diagramas fueron diseñados específicamente para AMEF más relevantes y de mayor incidencia en el activo físico.

Por consiguiente, aunque los sistemas con baja prioridad no necesitan el uso de diagramas de decisión RCM, su inclusión en el PM es esencial para asegurar una visión integral, posibilitando de este modo optimizar la disponibilidad y el rendimiento operativo de la pulidora cónica N°04.

4.2.12 Plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM)

La planificación se sustentó en la verificación precisa de la situación del activo, junto con la prioridad asignada por el análisis de criticidad, la exploración de las Notas de fallos más relevantes y una revisión sistemática de dichos modos y sus impactos, todos consignados previamente en las hojas de decisión de RCM.

Los diagramas de decisión creados permitieron realizar una identificación minuciosa de los modos de falla más críticos en los sistemas de la pulidora cónica, analizar sus impactos operativos y establecer las estrategias de Mtto más adecuadas para su reducción. El análisis se enfocó en los sistemas estructurales y el motor, ya que representan las áreas con mayor criticidad según el estudio de criticidad realizado con anterioridad. Además, se tomaron en cuenta los sistemas de menor importancia, los cuales, aunque individualmente tienen un impacto limitado, en conjunto aportan al desempeño integral del activo físico.

Así, el esquema de Mtto respaldado por RCM, que se introduce en los apartados siguientes, busca principalmente estructurar la atención de los modos de fallo de mayor severidad, integrando distintas técnicas tanto de Mtto Prv como Prd y Corr. La puesta en marcha de estas acciones posibilitó mejorar la confiabilidad operativa, aumentar la disponibilidad y reforzar la seguridad de la pulidora cónica N°04, favoreciendo así la optimización de su vida útil y la disminución de costos derivados de fallas inesperadas.

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA PULIDORA CÓNICA N°04

Sistema	Modos de fallo	Mantenimiento Preventivo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mantenimiento Predictivo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mantenimiento Correctivo
Sistema Estructura	Rotura de frenos	Uso de repuestos certificados y de alta calidad.													Análisis de la resistencia de los materiales.													Sustitución de frenos si se detecta desgaste prematuro o falla en el material.
		Capacitación del personal de mantenimiento.													Revisión de alineación y ajuste de frenos.													Realineación y ajuste inmediato si se detectan desviaciones en la instalación.
	Sobrecarga de material	Capacitación del operador sobre los límites de carga y monitoreo de flujo.													Sensores de monitoreo de carga y flujo.													Reducción de carga y revisión inmediata del sistema si se detecta sobrecarga.
		Capacitación del personal en supervisión y detección de anomalías.													Auditorías internas y análisis de registros operativos.													Corrección de errores operativos mediante ajustes en los procedimientos y entrenamiento adicional.

[illegible]

		Protección de las correas con cubiertas y limpieza																		Análisis de condiciones ambientales (medición de humedad y polvo)														Sustitución de correas afectadas y mejora de las condiciones ambientales de operación.
		Selección y compra de correas de calidad certificada acorde a las especificaciones.																		Evaluación del rendimiento de las correas mediante inspección visual														Reemplazo inmediato si se detectan signos de deterioro prematuro.
	Engrase de rodamientos	Lubricación de operación o según recomendación del fabricante.																		Análisis de vibraciones y temperatura.														Sustitución de rodamientos si se detecta sobrecalentamiento o falla.
Sistema de transmisión	Desgaste de Piedra	Inspección visual y rectificado.																		Monitoreo del espesor de la piedra.														Reemplazo inmediato cuando se detecte desgaste crítico.
	Desalineación del eje.	Revisión y ajuste de alineación																		Monitoreo de vibraciones														Reemplazo de soportes o ajuste de alineación en caso de desviaciones críticas.

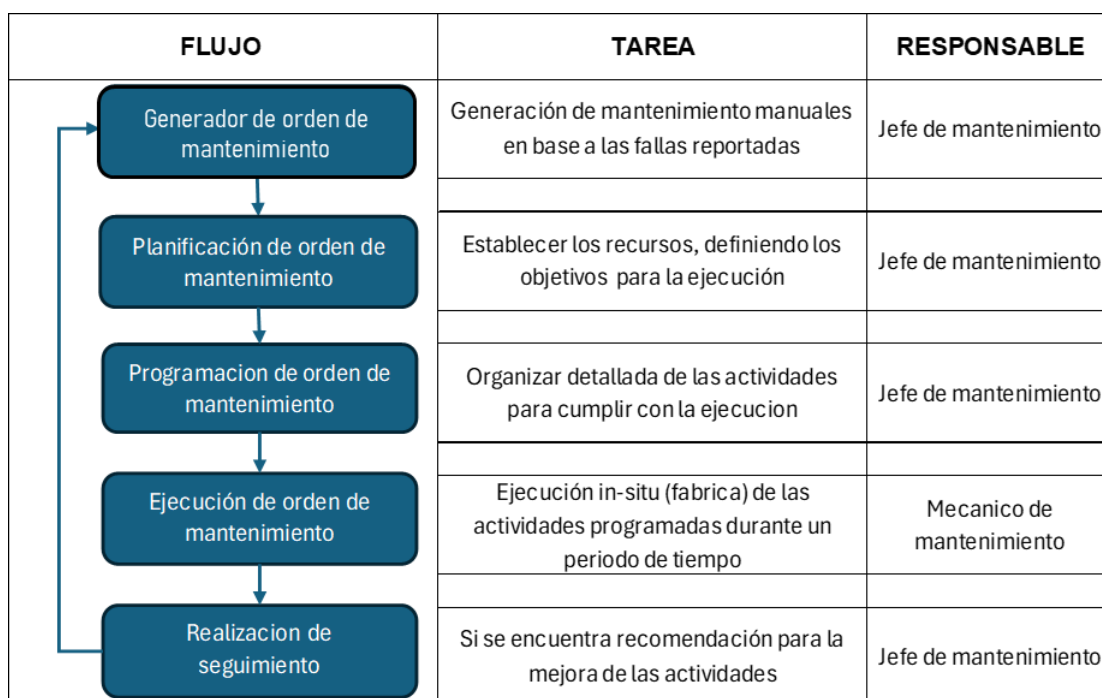
Sistema eléctrico	Falla de tablero	Inspección y limpieza de componentes eléctricos.								Medición de voltaje y resistencia.									Reemplazo de componentes dañados o reparación en caso de fallos eléctricos.
	Falla en el pulsador	Limpieza y revisión de contactos eléctricos.								Pruebas de continuidad y funcionamiento.									Reemplazo inmediato si presenta fallos mecánicos o eléctricos.
	Corte de energía	Inspección del sistema eléctrico y conexiones.								Medición de estabilidad del voltaje.									Reparación de cableado o instalación de sistemas de respaldo en caso de fallos recurrentes.

Nota: Elaboración propia

En la siguiente figura nos enseña el flujo de planificación y programación del Mto del molino indicando los responsables de garantizar por el buen funcionamiento de los equipos incluyendo tareas preventivas, correctivas y de reparaciones no programadas para poder evitar paradas imprevistas.

Figura 35

Flujograma de planificación y programación del mantenimiento.



Nota: elaboración propia.

Para determinar los indicadores de disponibilidad estimados tras aplicar el RCM, es fundamental enfocar el análisis en los modos de falla y sistemas de mayor relevancia que fueron identificados con antelación. De acuerdo con el análisis de criticidad presentado en la Tabla 20, los modos de falla y sistemas que muestran el nivel más alto de criticidad.

Tabla 37*Sistemas más críticos*

Modo de Falla	Sistema	Puntaje de Criticidad	Nivel de Criticidad
Rotura de frenos	Sistema de Estructura	120	Muy Critico
Sobrecarga de material	Sistema de Estructura	90	Critico
Correas desgastadas	Sistema de Motor	80	Critico
Desgaste de Piedra	Sistema de transmisión	48	Moderadamente critico
Suciedad Interna	Sistema de Estructura	36	Moderadamente critico
Falla succión de polvo	Sistema de Estructura	35	Moderadamente critico
Engrase de rodamientos	Sistema de Motor	32	Moderadamente critico
Desalineación del eje	Sistema de transmisión	32	Moderadamente critico

Nota: Elaboración propia

4.2.13 Proyección en Sistema Estructura**ROTURA DE FRENOS**

Dentro del sistema estructura, el modo de falla de mayor criticidad identificado corresponde a la condición de "Rotura de frenos". Con el objetivo de mitigar este fallo, el PM diseñado en RCM incorpora la implementación de estrategias de Mtto Prv y Prd específicas, las cuales se describen a continuación.

Actividades preventivas:

- Realizar inspecciones periódicas de los componentes del sistema de frenos, verificando el desgaste.

- Establecer un programa de ajuste de los mecanismos de frenado para garantizar su correcto funcionamiento.
- Reemplazar las piezas sujetas a desgaste de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o con base en intervalos de tiempo definidos por experiencia operativa.

Actividades predictivas:

- Implementar en marcha supervisión constante que facilite la evaluación del estado de los frenos mediante sensores de vibración y desgaste.
- Analizar tendencias en los datos recopilados para predecir fallas potenciales y planificar intervenciones antes de que ocurra una rotura.
- Emplear métodos de análisis vibracional y termográfico para detectar irregularidades en el desempeño.

Es esencial identificar, la tabla 6 del apartado Diagnostico del estado actual de la pulidora cónica, las cantidades de ocurrencias de una falla y el tiempo.

Para este caso del sistema estructura de rotura de frenos, se sabe que:

La tasa de fallas: 12 eventos

Tiempo: 7 meses

Tiempo total inactivo: Los 12 eventos de “rotura de frenos” se tiene un total de 39.8 hrs de tiempo de parada.

Análisis del sistema estructura

El diagnóstico de la posible reducción en la tasa de averías y en los intervalos de restauración tras aplicar el plan de mantenimiento según RCM, se llevó a cabo siguiendo un método de naturaleza no experimental y fundamentándose en la evaluación detallada de la eficiencia técnica de las alternativas de Mtto. Prv y predictivo sugeridas. Cuanto mayor sea la eficacia de estas estrategias en la prevención de fallas y en la detección temprana de anomalías, se prevé una reducción significativa en estos indicadores. En este sentido, con base en criterios ingenieriles y en el impacto estimado de las acciones de mantenimiento, se proyectan reducciones en un rango del 60-70% para la frecuencia de fallas y del 25-40% para los tiempos de reparación.

Por eso, se evaluó el efecto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema, mostrando la siguiente estimación:

1. Disminución del 30% en la frecuencia de esta falla como resultado de la implementación de tareas de Mtto Prv.
2. Reducción complementaria del 35% en la FO, atribuida a la aplicación de estrategias de Mtto Prd.

Estimar la nueva frecuencia proyectada (FP):

FP: 12 eventos/7 meses

- Reducción por tareas preventivas:

$$12 \cdot (1 - 30\%) = 8.4 \text{ eventos / 7 meses}$$

- Reducción adicional por tareas predictivas:

$$8.4 \cdot (1 - 35\%) = 5.46 \text{ eventos/ 7 meses}$$

$$\text{FP después} = 5.46 \text{ eventos/ 7 meses}$$

Se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

3. Estimaré una disminución del 15% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado (TPP):

Tiempo de parada actual (TPA): 39.8 hrs / 7 meses

- T. prom. por reparación actual:

$$39.8/12 = 3.31 \text{ hrs/ reparación}$$

- Nuevo T. prom. con 15% de reducción:

$$3.31 \cdot (1 - 15\%) = 2.81 \text{ hrs/ reparación}$$

T. de parada proyectado:

$$5.46 \text{ eventos/ 7 meses} \cdot 2.81 \text{ hrs/ reparación} = 15.34 \text{ hrs / 7 meses}$$

Tabla 38

Proyecciones del sistema estructura para rotura de frenos

Nuevas proyecciones para sistema estructura para rotura de frenos

FP	5.46 = 6 eventos por 7 meses
TPP	15.34 hrs por 7 meses

Nota: Elaboración propia

SOBRECARGA DE MATERIAL

Dentro del sistema estructura encontramos también el modo de falla de "sobrecarga de material". Con el fin de mitigar este fallo.

Actividades preventivas:

- Establecer un protocolo de carga máxima permitida para evitar exceder la capacidad operativa de la pulidora.
- Capacitar al personal operativo sobre los límites de carga y los riesgos asociados a la sobrecarga de material.
- Realizar inspecciones regulares del sistema de alimentación y de los mecanismos de regulación de flujo de material para asegurar su correcto funcionamiento.

Actividades predictivas:

- Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real que midan el flujo de material y alerten sobre posibles sobrecargas antes de que ocurran.
- Utilizar sensores de peso, presión o flujo para recopilar datos y analizar tendencias que permitan predecir situaciones de riesgo.
- Realizar análisis de vibraciones y temperatura en los componentes críticos para detectar anomalías asociadas a la sobrecarga.

Es esencial identificar, la tabla 6 del apartado Diagnostico del estado actual de la pulidora cónica, las cantidades de ocurrencias de una falla y el tiempo.

Para este caso del sistema estructura de sobrecarga de material, se sabe que la frecuencia de ocurrencia (FO): Tubo un registro de 13 eventos de esta falla durante el periodo de 7 meses de actividades realizadas.

Tiempo total de parada (TTP): Los 13 eventos de “sobrecarga de material” se tiene un total de 36.9 hrs de tiempo de parada.

Análisis del sistema estructura

Por este motivo se realizó un impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema estructura, indicando la siguiente estimación:

1. Disminución del 35% en la frecuencia de esta falla como resultado de la implementación de tareas de Mtto Prv.
2. Reducción complementaria del 35% en la FO, atribuida a la aplicación de estrategias de Mtto Prd.

FP: 18 eventos/7 meses (antes)

- Reducción por tareas preventivas:

$$13 \cdot (1 - 35\%) = 8.45 \text{ eventos/ 7 meses}$$

- Reducción adicional por tareas predictivas:

$$8.45 \cdot (1 - 35\%) = 5.49 \text{ eventos/ 7 meses}$$

FP = 5.49 eventos/ 7 meses (después)

Se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

3. Estimaré una disminución del 10% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

TPA: 36.9 hrs / 7 meses

- Tiempo promedio por reparación actual (TPRA):

$$36.9/13 = 2.83 \text{ hrs / reparación}$$

- Nuevo tiempo promedio con 15% de reducción:

$$2.83 * (1 - 15\%) = 2.41 \text{ hrs / reparación}$$

$$\text{TPP: } 5.49 \text{ eventos / 7 meses} * 2.41 \text{ hrs / reparación} = 13.24 \text{ hrs / 7 meses}$$

Tabla 39

Proyecciones del sistema estructura para sobrecarga de material

Nuevas proyecciones para sistema estructura para sobrecarga de material	
FP	5.49 = 8 eventos por 7 meses
TPP	13.24 hrs por 7 meses

Nota: Elaboración propia

SUCIEDAD INTERNA

Dentro del sistema estructural, se ha identificado el modo de falla asociado a la “suciedad interna”. Para mitigar este problema y preservar la operatividad del equipo.

Actividades preventivas:

- Programar limpiezas internas regulares según el uso de la máquina.

- Mejorar la eficiencia de los filtros y sistemas de aspiración.
- Rediseñar o modificar las áreas críticas para facilitar la limpieza.

Actividades predictivas:

- Inspeccionar visualmente la acumulación de residuos y polvo.
- Monitorear la presión en los ductos para detectar obstrucciones.

Es esencial identificar, la tabla 6 del apartado Diagnostico del estado actual de la pulidora cónica, las cantidades de ocurrencias de una falla y el tiempo.

La FO: Tubo un registro de 23 eventos de esta falla durante el periodo de 7 meses de actividades realizadas.

TTP: Los 23 eventos de “suciedad interna” se tiene un total de 69.9 hrs de tiempo de parada.

Análisis del sistema estructura

Por este motivo se realizó un impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema estructura, indicando la siguiente estimación:

1. Disminución del 40% en la frecuencia de esta falla como resultado de la implementación de tareas de Mtto Prv.
2. Reducción complementaria del 35% en la FO, atribuida a la aplicación de estrategias de Mtto Prd.

FP: 40 eventos/7 meses (antes)

- Reducción por tareas preventivas:

$$23*(1-40\%) = 13.8 \text{ eventos/ 7 meses}$$

- Reducción adicional por tareas predictivas:

$$13.8*(1-35\%) = 8.97 \text{ eventos/ 7 meses}$$

FP = 8.97 eventos/ 7 meses (después)

Se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

3. Estimaré una disminución del 15% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

TPA: 69.9 hrs / 7 meses

- TPRA: $69.9/23 = 3.04$ hrs / reparación
- Nuevo tiempo promedio con 15% de reducción:

$$3.04*(1-15\%) = 2.55 \text{ hrs / reparación}$$

TPP: 8.97 eventos/ 7meses * 2.55 hrs / reparación = 22.94 hrs / 7 meses

Tabla 40

Proyecciones del sistema estructura para suciedad interna

Nuevas proyecciones para sistema estructura para suciedad interna	
FP	8.97 = 9 eventos por 7 meses
TPP	22.94 hrs por 7 meses

Nota: Elaboración propia

FALLA SUCCIÓN DE POLVO

Dentro del sistema estructural, se ha identificado el modo de falla asociado a la “falla succión de polvo”. Para mitigar este problema y preservar la operatividad del equipo.

Actividades preventivas:

- Establecer limpiezas programadas de los ductos y filtros.
- Lubricar y revisar el motor del sistema de succión periódicamente.
- Evaluar la capacidad del sistema para posibles mejoras.

Actividades predictivas:

- Monitorear la presión y flujo de aire en el sistema de succión.
- Analizar vibraciones en el ventilador y el motor para detectar fallos incipientes.

Es esencial identificar, la tabla 6 del apartado Diagnostico del estado actual de la pulidora cónica, las cantidades de ocurrencias de una falla y el tiempo.

La FO: Tubo un registro de 6 eventos de esta falla durante el periodo de 7 meses de actividades realizadas.

TTP: Los 6 eventos de “falla succión de polvo” se tiene un total de 20 hrs de tiempo de parada.

Análisis del sistema estructura

Por este motivo se realizó un impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema estructura, indicando la siguiente estimación:

1. Disminución del 35% en la frecuencia de esta falla como resultado de la implementación de tareas de Mtto Prv.
2. Reducción complementaria del 30% en la FO, atribuida a la aplicación de estrategias de Mtto Prd.

FP: 10 eventos/7 meses (antes)

- Reducción por tareas preventivas:

$$6*(1-35\%) = 3.9 \text{ eventos/ 7 meses}$$

- Reducción adicional por tareas predictivas:

$$3.9*(1-30\%) = 2.73 \text{ eventos/ 7 meses}$$

FP = 2.73 eventos/ 7 meses (después)

Se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

3. Estimaré una disminución del 10% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

TPA: 20 hrs / 7 meses

- TPRA: $20/10 = 2.00$ hrs / reparación
- Nuevo tiempo promedio con 10% de reducción:

$$2.00*(1-10\%) = 1.80 \text{ hrs / reparación}$$

TPP: $2.73 \text{ eventos} / 7 \text{ meses} * 1.80 \text{ hrs} / \text{reparación} = 4.91 \text{ hrs} / 7 \text{ meses}$

Tabla 41

Proyecciones del sistema estructura para falla succión de polvo.

Nuevas proyecciones para sistema estructura para falla succión de polvo	
FP	2.73 = 3 eventos por 7 meses
TPP	4.91 hrs por 7 meses
Nota: Elaboración propia	

DAÑOS DE CRIBAS

Dentro del sistema estructural, se ha identificado el modo de falla asociado a “daños de cribas”. Para mitigar este problema y preservar la operatividad del equipo.

Actividades preventivas:

- Inspeccionar cribas regularmente y reemplazar antes de su fallo.
- Utilizar cribas de mayor resistencia si se detecta desgaste acelerado.

Actividades predictivas:

- Medir el desgaste mediante análisis de vibraciones.
- Realizar inspecciones visuales con periodicidad establecida.

Es esencial identificar, la tabla 6 del apartado Diagnostico del estado actual de la pulidora cónica, las cantidades de ocurrencias de una falla y el tiempo.

La FO: Tubo un registro de 6 eventos de esta falla durante el periodo de 7 meses de actividades realizadas.

TTP: Los 6 eventos de “falla succión de polvo” se tiene un total de 24.5 hrs de tiempo de parada.

Análisis del sistema estructura

Por este motivo se realizó un impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema estructura, indicando la siguiente estimación:

1. Disminución del 30% en la frecuencia de esta falla como resultado de la implementación de tareas de Mtto Prv.
2. Reducción complementaria del 30% en la FO, atribuida a la aplicación de estrategias de Mtto Prd.

FP: 9 eventos/7 meses (antes)

- Reducción por tareas preventivas:

$$6 \cdot (1 - 30\%) = 4.2 \text{ eventos/ 7 meses}$$

- Reducción adicional por tareas predictivas:

$$4.2 \cdot (1 - 30\%) = 2.94 \text{ eventos/ 7 meses}$$

FP = 2.94 eventos/ 7 meses (después)

Se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

3. Estimaré una disminución del 10% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

TPA: 24.5 hrs / 7 meses

- TPRA: $24.5/6 = 4.08$ hrs / reparación
- Nuevo tiempo promedio con 10% de reducción:

$$4.08 \cdot (1 - 10\%) = 3.67 \text{ hrs / reparación}$$

$$\text{TPP: } 2.94 \text{ eventos/ 7 meses} \cdot 3.67 \text{ hrs / reparación} = 10.80 \text{ hrs / 7 meses}$$

Tabla 42

Proyecciones del sistema estructura para daños de cribas.

Nuevas proyecciones para sistema estructura para daños de cribas	
FP	2.94 = 3 eventos por 7 meses
TPP	10.8 hrs por 7 meses

Nota: Elaboración propia

4.2.14 Proyección en sistema de motor

CORREAS DESGASTADAS

Dentro del sistema de motor, se ha determinado como modo de falla crítico las "Correas desgastadas".

Actividades preventivas:

- Establecer un programa de inspección periódica de las correas para verificar su estado de desgaste, tensión y alineación.

- Realizar la lubricación adecuada de los componentes asociados, si corresponde, para reducir la fricción y el desgaste prematuro.
- Reemplazar las correas de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o con base en intervalos de tiempo definidos por experiencia operativa.
- Asegurar que las poleas estén correctamente alineadas y libres de contaminantes que puedan acelerar el desgaste de las correas.

Actividades predictivas:

- Implementar un sistema de monitoreo continuo que permita evaluar el estado de las correas mediante sensores de vibración, temperatura o cámaras térmicas.
- Realizar análisis de vibraciones para detectar patrones anormales que indiquen desgaste o mal funcionamiento de las correas.
- Utilizar técnicas de inspección visual avanzada, como cámaras de alta resolución, para identificar signos tempranos de desgaste, grietas o deformaciones.

Es esencial identificar, la tabla 6 del apartado Diagnostico del estado actual de la pulidora cónica, las cantidades de ocurrencias de una falla y el tiempo.

La FO: Tubo un registro de 4 eventos de esta falla durante el periodo de 7 meses de actividades realizadas.

TTP: Los 4 eventos de “correas desgastadas” se tiene un total de 2.5 hrs de tiempo de parada.

Análisis del sistema del motor

Por este motivo se realizó un impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema estructura, indicando la siguiente estimación:

1. Disminución del 20% en la frecuencia de esta falla como resultado de la implementación de tareas de Mtto Prv.
2. Reducción complementaria del 10% en la FO, atribuida a la aplicación de estrategias de Mtto Prd.

FP: 4 eventos/7 meses (antes)

- Reducción por tareas preventivas:

$$4 \cdot (1 - 20\%) = 3.2 \text{ eventos/ 7 meses}$$

- Reducción adicional por tareas predictivas:

$$3.2 \cdot (1 - 10\%) = 2.88 \text{ eventos/ 7 meses}$$

FP = 2.88 eventos/ 7 meses (después)

Se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

3. Estimaré una disminución del 10% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

TPA: 2.5 hrs / 7 meses

- TPRA: $2.5/4 = 0.625$ hrs / reparación
- Nuevo tiempo promedio con 10% de reducción:

$$0.625 \cdot (1 - 10\%) = 0.56 \text{ hrs / reparación}$$

$$\text{TPP: } 2.88 \text{ eventos/ 7 meses} \cdot 0.56 \text{ hrs / reparación} = 1.61 \text{ hrs / 7 meses}$$

Tabla 43

Proyecciones del sistema de motor para correas desgastadas.

Nuevas proyecciones para sistema de motor para correas desgastadas	
FP	2.88 = 3 eventos por 7 meses
TPP	1.61 hrs por 7 meses
Nota: Elaboración propia	

ENGRASE DE RODAMIENTOS

Dentro del sistema de motor, también se ha determinado como modo de falla crítico las "engrase de rodamientos".

Actividades preventivas:

- Utilizar lubricantes adecuados y de alta calidad.
- Aplicar lubricación en los intervalos recomendados.
- Proteger los rodamientos contra polvo y humedad.

Actividades predictivas:

- Medir la temperatura y vibraciones de los rodamientos.
- Analizar la calidad del lubricante periódicamente.

Es esencial identificar, la tabla 6 del apartado Diagnostico del estado actual de la pulidora cónica, las cantidades de ocurrencias de una falla y el tiempo.

La FO: Tubo un registro de 4 eventos de esta falla durante el periodo de 7 meses de actividades realizadas.

TTP: Los 4 eventos de “correas desgastadas” se tiene un total de 28.4 hrs de tiempo de parada.

Análisis del sistema del motor

Por este motivo se realizó un impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema estructura, indicando la siguiente estimación:

1. Disminución del 20% en la frecuencia de esta falla como resultado de la implementación de tareas de Mtto Prv.
2. Reducción complementaria del 20% en la FO, atribuida a la aplicación de estrategias de Mtto Prd.

FP: 4 eventos/7 meses (antes)

- Reducción por tareas preventivas:

$$4 \cdot (1 - 20\%) = 3.2 \text{ eventos/ 7 meses}$$

- Reducción adicional por tareas predictivas:

$$3.2 \cdot (1 - 20\%) = 2.56 \text{ eventos/ 7 meses}$$

FP = 2.56 eventos/ 7 meses (después)

Se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

3. Estimaré una disminución del 15% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

TPA: 28.4 hrs / 7 meses

- TPRA: $28.4/4 = 7.1$ hrs / reparación
- Nuevo tiempo promedio con 15% de reducción:

$$7.1 * (1 - 15\%) = 6.03 \text{ hrs / reparación}$$

TPP: $2.56 \text{ eventos/ 7 meses} * 6.03 \text{ hrs / reparación} = 15.43 \text{ hrs / 7 meses}$

Tabla 44

Proyecciones del sistema de motor para engrase de rodamientos.

Nuevas proyecciones para sistema de motor para engrase de rodamientos	
FP	2.56 = 3 eventos por 7 meses
TPP	15.43 hrs por 7 meses

Nota: Elaboración propia

4.2.15 Proyección en sistema de transmisión

DESGASTE DE PIEDRA

Dentro del sistema de transmisión, se ha determinado como modo de falla crítico las "desgaste de piedra".

Actividades preventivas:

- Establecer un programa de descanso y enfriamiento del sistema.

- Implementar inspecciones periódicas para detectar desgaste prematuro.
- Realizar rectificadores programados o reemplazos según el ciclo de vida útil.
- Utilizar piedras de alta calidad certificadas para aumentar la durabilidad.

Actividades predictivas:

- Monitorear el espesor de la piedra mediante mediciones periódicas.
- Analizar las vibraciones y el rendimiento del pulido para detectar deterioro.

Es esencial identificar, la tabla 6 del apartado Diagnostico del estado actual de la pulidora cónica, las cantidades de ocurrencias de una falla y el tiempo.

La FO: Tubo un registro de 1 eventos de esta falla durante el periodo de 7 meses de actividades realizadas.

TTP: Los 1 eventos de “correas desgastadas” se tiene un total de 48.6 hrs de tiempo de parada.

Análisis del sistema del motor

Por este motivo se realizó un impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema estructura, indicando la siguiente estimación:

1. Disminución del 20% en la frecuencia de esta falla como resultado de la implementación de tareas de Mtto Prv.
2. Reducción complementaria del 10% en la FO, atribuida a la aplicación de estrategias de Mtto Prd.

FP: 4 eventos/7 meses (antes)

- Reducción por tareas preventivas:

$$1 \cdot (1 - 20\%) = 0.8 \text{ eventos / 7 meses}$$

- Reducción adicional por tareas predictivas:

$$0.8 \cdot (1 - 10\%) = 0.72 \text{ eventos / 7 meses}$$

$$\mathbf{FP} = 0.72 \text{ eventos / 7 meses (después)}$$

Se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

3. Estimaré una disminución del 15% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

$$\text{TPA: } 48.6 \text{ hrs / 7 meses}$$

- TPRA: $48.6 / 1 = 48.6 \text{ hrs / reparación}$
- Nuevo tiempo promedio con 15% de reducción:

$$48.6 \cdot (1 - 15\%) = 41.31 \text{ hrs / reparación}$$

$$\mathbf{TPP: } 0.72 \text{ eventos / 7 meses} \cdot 41.31 \text{ hrs / reparación} = 29.74 \text{ hrs / 7 meses}$$

Tabla 45

Proyecciones del sistema de transmisión para desgaste de piedra.

Nuevas proyecciones para sistema de transmisión para desgaste de piedra

FP	0.72 = 1 eventos por 7 meses
TPP	29.74 hrs por 7 meses

Nota: Elaboración propia

DESALINEACIÓN DEL EJE

Dentro del sistema de transmisión, se ha determinado como modo de falla crítico las "desalineación del eje".

Actividades preventivas:

- Asegurar un montaje preciso durante la instalación.
- Revisar periódicamente la alineación y reajustar si es necesario.
- Controlar el balanceo de los componentes rotativos.

Actividades predictivas:

- Medir la alineación del eje con herramientas de precisión.
- Monitorear vibraciones anómalas.

Es esencial identificar, la tabla 6 del apartado Diagnostico del estado actual de la pulidora cónica, las cantidades de ocurrencias de una falla y el tiempo.

La FO: Tubo un registro de 1 eventos de esta falla durante el periodo de 7 meses de actividades realizadas.

TTP: Los 1 eventos de "desalineación del eje" se tiene un total de 6.7 hrs de tiempo de parada.

Análisis del sistema del motor

Por este motivo se realizó un impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema estructura, indicando la siguiente estimación:

1. Disminución del 30% en la frecuencia de esta falla como resultado de la implementación de tareas de Mtto Prv.
2. Reducción complementaria del 20% en la FO, atribuida a la aplicación de estrategias de Mtto Prd.

FP: 4 eventos/7 meses (antes)

- Reducción por tareas preventivas:

$$1 \cdot (1 - 30\%) = 0.7 \text{ eventos/ 7 meses}$$

- Reducción adicional por tareas predictivas:

$$0.7 \cdot (1 - 20\%) = 0.56 \text{ eventos/ 7 meses}$$

$$FP = 0.56 \text{ eventos/ 7 meses (después)}$$

Se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

3. Estimaré una disminución del 15% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

$$TPA: 6.7 \text{ hrs / 7 meses}$$

- TPRA: $6.7/1 = 6.7 \text{ hrs / reparación}$
- Nuevo tiempo promedio con 15% de reducción:

$$6.7 \cdot (1 - 15\%) = 5.69 \text{ hrs / reparación}$$

$$\textbf{TTP: } 0.56 \text{ eventos/ 7 meses} \cdot 5.69 \text{ hrs / reparación} = 3.18 \text{ hrs / 7 meses}$$

Tabla 46

Proyecciones del sistema de transmisión para desalineación del eje.

Nuevas proyecciones para sistema de transmisión para desalineación del eje	
FP	0.56 = 1 eventos por 7 meses
TPP	3.18 hrs por 7 meses
Nota: Elaboración propia	

4.2.16 Proyección en sistema eléctrico

FALLA DE TABLERO

Dentro del sistema de eléctrico, se ha determinado como modo de falla la "falla de tablero".

Actividades preventivas:

- Asegurar conexiones eléctricas firmes y libres de corrosión durante el montaje.
- Realizar inspecciones visuales periódicas de terminales, cables y fusibles.

Actividades predictivas:

- Monitorear corrientes y voltajes con multímetro o pinza amperimétrica.

Es esencial identificar, la tabla 6 del apartado Diagnostico del estado actual de la pulidora cónica, las cantidades de ocurrencias de una falla y el tiempo.

La FO: Tubo un registro de 2 eventos de esta falla durante el periodo de 7 meses de actividades realizadas.

TTP: Los 2 eventos de “falla de tablero” se tiene un total de 4 hrs de tiempo de parada.

Análisis del sistema eléctrico

Por este motivo se realizó un impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema estructura, indicando la siguiente estimación:

1. Disminución del 30% en la frecuencia de esta falla como resultado de la implementación de tareas de Mtto Prv.

2. Reducción complementaria del 30% en la FO, atribuida a la aplicación de estrategias de Mtto Prd.

FP: 2 eventos/7 meses (antes)

- Reducción por tareas preventivas:

$$2 \cdot (1 - 30\%) = 1.4 \text{ eventos/ 7 meses}$$

- Reducción adicional por tareas predictivas:

$$1.4 \cdot (1 - 30\%) = 0.98 \text{ eventos/ 7 meses}$$

FP = 0.98 eventos/ 7 meses (después)

Se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

3. Estimaré una disminución del 15% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

TPA: 4 hrs / 7 meses

- TPRA: $4/2 = 2$ hrs / reparación
- Nuevo tiempo promedio con 15% de reducción:

$2 \cdot (1 - 15\%) = 1.7$ hrs / reparación

TPP: $0.98 \text{ eventos} / 7 \text{ meses} \cdot 1.7 \text{ hrs} / \text{reparación} = 1.66 \text{ hrs} / 7 \text{ meses}$

Tabla 47

Proyecciones del sistema eléctrico para falla de tablero.

Nuevas proyecciones para sistema eléctrico para falla de tablero.

FP	0.98 = 1 eventos por 7 meses
-----------	------------------------------

TPP	1.66 hrs por 7 meses
------------	----------------------

Nota: Elaboración propia

FALLA DE PULSADOR

Dentro del sistema de eléctrico, se ha determinado como modo de falla la "falla de pulsador".

Actividades preventivas:

- Asegurar los pulsadores expuestos a polvo y humedad.
- Limpiar contactos y mecanismos periódicamente para prevenir acumulación de suciedad.

- Verificar funcionamiento mecánico y continuidad eléctrica en inspecciones programadas.

Actividades predictivas:

- Probar de pulsadores con multímetro (continuidad/resistencia).
- Monitorear tiempo de respuesta y repeticiones fallidas en registros operativos.

Es esencial identificar, la tabla 6 del apartado Diagnostico del estado actual de la pulidora cónica, las cantidades de ocurrencias de una falla y el tiempo.

La FO: Tubo un registro de 1 eventos de esta falla durante el periodo de 7 meses de actividades realizadas.

TTP: Los 1 eventos de “falla de pulsador” se tiene un total de 1.5 hrs de tiempo de parada.

Análisis del sistema eléctrico

Por este motivo se realizó un impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema estructura, indicando la siguiente estimación:

1. Disminución del 20% en la frecuencia de esta falla como resultado de la implementación de tareas de Mtto Prv.

2. Reducción complementaria del 20% en la FO, atribuida a la aplicación de estrategias de Mtto Prd.

FP: 1 eventos/7 meses (antes)

- Reducción por tareas preventivas:

$$1 \cdot (1 - 20\%) = 0.8 \text{ eventos / 7 meses}$$

- Reducción adicional por tareas predictivas:

$$0.8 \cdot (1 - 20\%) = 0.64 \text{ eventos / 7 meses}$$

$$\mathbf{FP} = 0.64 \text{ eventos / 7 meses (después)}$$

Se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

3. Estimaré una disminución del 15% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

$$\text{TPA: } 1.5 \text{ hrs / 7 meses}$$

- TPRA: $1.5/1 = 1.5 \text{ hrs / reparación}$
- Nuevo tiempo promedio con 15% de reducción:

$$1.5 \cdot (1 - 15\%) = 1.27 \text{ hrs / reparación}$$

$$\mathbf{TPP: } 0.64 \text{ eventos / 7 meses} \cdot 1.27 \text{ hrs / reparación} = 0.81 \text{ hrs / 7 meses}$$

Tabla 48

Proyecciones del sistema eléctrico para falla de pulsador.

Nuevas proyecciones para sistema eléctrico para falla de pulsador.

FP	0.64 = 1 eventos por 7 meses
TPP	0.81 hrs por 7 meses

Nota: Elaboración propia

CORTE DE ENERGÍA

Dentro del sistema de eléctrico, se ha determinado como modo de falla el "corte de energía".

Actividades preventivas:

- Instalar protectores contra sobrecargas y baja voltajes en tablero principal.
- Realizar mantenimiento preventivo a conexiones eléctricas y bornes de alimentación.

Actividades predictivas:

- Monitorear calidad de suministro eléctrico (voltaje, frecuencia, armónicos).
- Detectar puntos calientes en conexiones mediante termografía infrarroja.

Es esencial identificar, la tabla 6 del apartado Diagnostico del estado actual de la pulidora cónica, las cantidades de ocurrencias de una falla y el tiempo.

La FO: Tubo un registro de 2 eventos de esta falla durante el periodo de 7 meses de actividades realizadas.

TTP: Los 2 eventos de "corte de energía" se tiene un total de 8 hrs de tiempo de parada.

Análisis del sistema eléctrico

Por este motivo se realizó un impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema estructura, indicando la siguiente estimación:

1. Disminución del 20% en la frecuencia de esta falla como resultado de la implementación de tareas de Mtto Prv.

2. Reducción complementaria del 20% en la FO, atribuida a la aplicación de estrategias de Mtto Prd.

FP: 2 eventos/7 meses (antes)

- Reducción por tareas preventivas:

$$2 \cdot (1 - 20\%) = 1.6 \text{ eventos/ 7 meses}$$

- Reducción adicional por tareas predictivas:

$$1.6 \cdot (1 - 20\%) = 1.28 \text{ eventos/ 7 meses}$$

FP = 1.28 eventos/ 7 meses (después)

Se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

3. Estimaré una disminución del 15% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

TPA: 8 hrs / 7 meses

- TPRA: $8/2 = 4$ hrs / reparación
- Nuevo tiempo promedio con 15% de reducción:

$$4 \cdot (1 - 15\%) = 3.4 \text{ hrs / reparación}$$

TTP: 1.28 eventos/ 7meses * 3.4 hrs / reparación = 4.35 hrs / 7 meses

Tabla 49*Proyecciones del sistema eléctrico para falla de pulsador.*

Nuevas proyecciones para sistema eléctrico para falla de pulsador.	
FP	1.28 = 2 eventos por 7 meses
TPP	4.35 hrs por 7 meses

Nota: Elaboración propia

4.2.17 Proyección de indicadores de disponibilidad tras implementación del Plan de Mantenimiento RCM

En la Tabla 6, Diagnóstico del estado actual, se efectuó el cálculo de la disponibilidad operativa de la pulidora cónica N° 04, obteniendo un valor aproximado del 84.36%. Aunque este porcentaje puede considerarse relativamente elevado para un activo que carece de un plan de mantenimiento formal, no alcanza el nivel óptimo esperado para maquinaria agrícola de esta categoría. La puesta en marcha de un PM fundamentado en la metodología (RCM) tuvo como propósito principal mejorar este indicador de disponibilidad operativa. Cualquier incremento, por pequeño que fuera, evidenciará el impacto positivo del RCM en la fiabilidad y mantenibilidad del activo.

El enfoque RCM da prioridad al manejo de los modos de falla según su nivel de criticidad, pero también incluye un análisis exhaustivo fallas detectadas. Dentro de esta evaluación, se definen estrategias de Mtto Prv y predictivo orientadas a mitigar o eliminar dichos fallos, sin importar su grado de criticidad actual, en alineación con la filosofía proactiva del RCM.

A pesar de que determinados modos de falla reportan frecuencias bajas, con dos o tres episodios al año, y pueden no parecer críticos, el plan construido bajo la metodología RCM incorpora tareas preventivas y predictivas precisas para asegurar que su frecuencia se sostenga en niveles óptimos. En este sentido, se justifica técnicamente disminuir la recurrencia de estos fallos a un promedio de un evento anual, siempre que se ejecuten de manera rigurosa las tareas de mantenimiento definidas en el plan. Esto contribuirá significativamente a la optimización de la disponibilidad operativa proyectada del activo, asegurando una mayor eficiencia y confiabilidad en su desempeño.

Tras haber realizado las proyecciones pertinentes con base en el PM establecido la siguiente tabla muestra los cambios.

Tabla 50

Nuevo registro de fallas de la pulidora cónica N°04 después de aplicar RCM.

NUEVO CUADRO DE DETALLES DE FALLAS DE PULIDORA N°04 APLICANDO RCM				
CODIGO	SISTEMA	DESCRIPCION	CANTIDAD	TIEMPO DE PARADA (HORA)
APPCO-04	Estructura	Rotura de frenos	6	15.3
	Estructura	Daños de Cribas	3	10.8
	Estructura	Sobrecarga de material	6	13.24
	Motor	Engrase de rodamientos	3	15.43
	Eléctrico	Falla de tablero	1	1.66
	Motor	Correas desgastadas	3	1.61
	Estructura	Suciedad Interna	9	22.94
	Eléctrico	Falla en el pulsador	1	0.81
	Estructura	Falla succión de polvo	3	4.91
	Transmisión	desalineación del eje	1	3.18
	Transmisión	Desgaste de Piedra	1	29.74
	Eléctrico	Corte de energía	2	4.35
TOTAL			39	123.97

Nota: Elaboración propia

4.3 Determinación de la nueva disponibilidad operativa de la pulidora cónica después de aplicar la Gestión de Mantenimiento basado en la confiabilidad RCM

Luego de aplicar la GMBC en RCM se tiene nuevos registros de fallas los cuales son mostrados en la tabla 46, con esta nueva data se va a realizar a determinar la nueva disponibilidad operativa de la pulidora cónica.

Los 123.97 hrs lo convertimos a hrs nos da 123 hrs con 58.2 min donde la máquina no ha funcionado.

conversión por regla de 3

$$123.97 \text{ hrs} = 130 \text{ hrs} + 0.97 \text{ hrs}$$

$$1 \text{ hora} \longrightarrow 60 \text{ minutos}$$

$$0.97 \text{ hrs} \longrightarrow x \text{ minutos}$$

$$x \text{ minutos} = 58.2 \text{ minutos} \longrightarrow 123 \text{ hrs con } 58.2 \text{ minutos}$$

4.1.5 Tiempo medio entre fallos – MTBF aplicando RCM

El equipo objeto de estudio opera bajo un régimen laboral que comprende turnos de 12 hrs diarias durante seis días a la semana. Considerando este esquema operativo, cabe señalar que la investigación se focaliza específicamente en el año 2024, que fueron delimitados a un periodo representativo de siete meses. De esta manera, los datos obtenidos proporcionan una base sólida y contextualizada para la evaluación de desempeño y disponibilidad de la pulidora cónica durante el intervalo estudiado.

Considerando que en 7 meses tiene 28 semanas, con esto indico que la maquina trabaja 2016 hrs durante los 7 meses.

- Tiempo total disponible: 2016 hrs
- Tiempo perdido: 123.97 hrs
- N° de fallas: 39

El tiempo medio entre fallos es:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Total disponible} - \text{Tiempo perdido}}{\text{N° de fallas}}$$

$$MTBF = \frac{2016 - 123.97}{39} = 48.51 \text{ horas}$$

4.1.6 Tiempo medio entre reparaciones – MTTR aplicando RCM

Para conocer este parámetro se analizó el indicador de disponibilidad actual de la empresa, por lo tanto:

- Tiempo total de mantenimiento: 123.97 hrs
- N° de fallas: 39

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimineto}}{\text{Numero de fallas}}$$

El tiempo medio entre reparaciones es:

$$MTTR = \frac{123.97}{39} = 3.17 \text{ horas}$$

4.1.7 Disponibilidad de la pulidora aplicando el RCM

Luego de la implementación de la gestión de mantenimiento basado (RCM), se halla los nuevos parámetros de MTBF y MTTR, ya que estos nos ayuda a determinar la disponibilidad operativa de la pulidora cónica N°04

Por lo tanto:

- MTBF: 48.51 hrs
- MTTR: 3.17 hrs

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$$

$$Disponibilidad = \frac{48.51}{48.51 + 3.17} \times 100\% = 93.85\%$$

Tabla 51

Indicadores de la pulidora cónica N°04 aplicando RCM

Código	Tiempo Programado de Operación (Horas)	Tiempo de Operación (Horas)	Tiempo de parada por fallas (Horas)	Tiempo Medio Entre Fallo (MTBF)	Tiempo medio de reparación (MTTR)	Número de Fallas detectadas	Disponibilidad
APPCO-04	2016	1892.03	123.97	48.51	3.17	39	93.85

Nota: Elaboración propia

Tabla 52

Comparativo del antes y después de aplicar el RCM en la disponibilidad de la pulidora cónica N°04.

Indicadores antes y después del RCM de la disponibilidad de la pulidora N° 04		
	Antes del RCM	Después del RCM
Mtto Prev	20.74%	48.24%
Mtto Corr	65.43%	13.35%
Mtto Pred	13.83%	38.41%
Total, de hrs	2016	2016
Tiempo de inactividad	315.4	123.97
N° de paradas	75	39
MTBF	23.00	48.51
MTTR	3.87	3.17
Disponibilidad	85.58%	93.85%

Nota: Elaboración propia

Tras la implementación de un PM se evidencia un incremento estadísticamente significativo en la disponibilidad operativa del activo con mantenimiento (predictivo=38.41%, preventivo=48.24% y correctivo=13.35%). Los resultados cuantitativos reflejan una mejora sustancial, con un aumento del indicador desde un 85.58% hasta un 93.85%. Este avance demuestra que la aplicación del enfoque RCM ha sido efectiva, logrando con éxito el objetivo principal de optimizar la disponibilidad del equipo, lo cual refuerza su viabilidad como estrategia de mantenimiento en contextos agroindustriales.

4.4 Evaluar económicamente de la propuesta de Gestión de Mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM).

4.4.1 Análisis de costos del mantenimiento general para la pulidora cónica.

Para llevar a cabo la evaluación financiera del estudio orientada al PMB en RCM para la pulidora cónica N° 04, se considerarán los datos recopilados a lo largo de un período de 7 meses. La evaluación se enfocará en los subsistemas de mayor relevancia, previamente identificados mediante un análisis de criticidad. Se procederá a la estimación detallada de los recursos requeridos, con el propósito de realizar un análisis exhaustivo de costos que permita evaluar la viabilidad y eficiencia económica de la estrategia de mantenimiento implementada.

Tabla 53

Equipamiento requerido para el Mantenimiento de los Sistemas Críticos.

SISTEMA	Repuestos/Insumos
Estructura	Accesorios
Estructura	Implemento electrónico
Estructura	Implemento general
Estructura	Filtros
Estructura	Accesorios
Motor	Accesorio
Motor	Lubricante
Transmisión	Equipo de análisis
Transmisión	Componente de transmisión

Nota: Elaboración propia

4.4.2 Capacitación de operadores de los equipos y al personal técnico

Para realizar la evaluación de costos detallado del plan (RCM) aplicado a la pulidora cónica N°04, es esencial considerar la inversión en capacitación para operadores y técnicos. La participación de estos técnicos es esencial para el éxito

de la implantación del RCM, haciendo imprescindible que estén instruidos en temas como la base conceptual de la metodología, métodos sofisticados de diagnóstico, rutinas de mantenimiento adaptadas al sistema, manipulación de equipos especializados y cumplimiento de estándares de seguridad. En consecuencia, es imprescindible asignar un presupuesto adecuado que contemple los costos asociados a la capacitación, incluyendo materiales didácticos, honorarios de los instructores y gastos operativos indirectos vinculados a la ejecución del programa de formación.

Tabla 54

Cuadro de capacitación

Capacitación	Descripción	Periodo	Duración	Herramientas
Fundamentos RCM	Introducción a la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	Comienzo del proyecto	10 hrs	Materiales didácticos, presentaciones
Familiarización de la pulidora cónica	Estudio detallado de los componentes que conforman el equipo	3 meses	2 hrs	Manual de operación y servicio
Diagnóstico de la línea del sistema de estructura	Inspección y mantenimiento del sistema de estructura, frenos, límite de cargas, limpieza de componentes internos, filtros, conductos de succión y cribas	tetramestre	18 hrs	Equipos de calibración de espesor, báscula industrial, kits de limpieza, medidor de vibración.
Diagnóstico de la línea del sistema de motor	Inspección y mtto del sistema de motor, correas y rodamientos	Trimestral	12 hrs	Instrumentos para prueba y diagnóstico, dispositivos especializados.
Diagnóstico de la línea del sistema de transmisión	Inspección y mtto del sistema de transmisión, ajuste de parámetros operativos y alineación del eje	Trimestral	8 hrs	Equipos de análisis de vibraciones, termómetros

Lubricación y Consumibles	Correcta gestión de lubricantes, grasas, filtros y materiales consumibles.	Anual	3 hrs	Muestras de lubricantes y consumibles
Seguridad ocupacional	Normativas de seguridad en trabajos de mtto	Semestral	4 hrs	Equipos de protección personal por actividad específica
Rellenado de Registros	Relleno apropiado de listas de verificación y registros de mantenimiento.	Trimestral	4 hrs	Formatos de registros y check-lists

Nota: Elaboración propia

Con el propósito de evaluar la disminución de los costos operativos, se realiza un análisis detallado de los gastos asociados a las actividades de inspección, monitoreo y reparación dentro del mtto de los sistemas de estructura, motor y transmisión.

Tabla 55

Costo del mantenimiento del sistema de estructura.

	Sistema Estructura	Mantenimiento	Costo		Total, Anual
			Mano de obra	Repuestos	
Componentes de frenado	Frenos	Inspección	S/ 80.00		S/ 80.00
		Monitoreo	S/ 90.00		S/ 90.00
		Reparación	S/ 150.00	S/ 300.00	S/ 450.00
Componentes de estructura	cribas, báscula,	Inspección	S/ 14.00		S/ 14.00
		Monitoreo	S/ 28.00		S/ 28.00
		Reparación	S/ 100.00	S/ 380.00	S/ 480.00
Componentes de ventilación	succión de polvo	Inspección	S/10.00		S/ 10.00
		Monitoreo	S/ 22.00		S/ 22.00
		Reparación	S/ 70.00	S/ 240.00	S/ 310.00
Equipo de análisis	Calibrador de espesor, sensor,	Inspección	S/ 90.00		S/ 90.00
		Monitoreo	S/ 100.00		S/ 100.00

Implementos generales	medidor de flujo, vibración	Reparación	S/ 120.00	S/ 850.00	S/ 970.00
	Cepillo, trapo, solventes, filtros, desengrasantes	Inspección	S/ 40.00		S/ 40.00
		Monitoreo	S/ 55.00		S/ 55.00
		Reparación	S/ 80.00	S/ 200.00	S/ 280.00
	TOTAL				S/ 3,019.00

Nota: Elaboración propia

Tabla 56

Costo del mantenimiento del sistema de motor.

	Sistema Motor	Mantenimiento	Costo		Total, Anual
			Mano de obra	Repuestos	
Implementos mecánicos	Correas, engrase rodamientos	Inspección	S/ 8.00		S/ 8.00
		Monitoreo	S/ 9.00		S/ 9.00
		Reparación	S/ 20.00	S/ 100.00	S/ 120.00
Equipo de análisis	Calibrador de espesor, sensor, vibración	Inspección	S/ 80.00		S/ 80.00
		Monitoreo	S/ 90.00		S/ 90.00
		Reparación	S/ 150.00	S/ 768.00	S/ 918.00
Implementos generales	Cepillo, trapo, solventes, filtros, desengrasantes	Inspección	S/ 8.00		S/ 8.00
		Monitoreo	S/ 9.00		S/ 9.00
		Reparación	S/ 3.00	S/ 80.00	S/ 83.00
TOTAL					S/ 1,325.00

Nota: Elaboración propia

Tabla 57

Costo del mantenimiento del sistema de transmisión.

	Sistema Transmisión	Mantenimiento	Costo		Total, Anual
			Mano de obra	Repuestos	
Componentes de transmisión	Eje, Piedra pulidora	Inspección	S/ 40.00		S/ 40.00
		Monitoreo	S/ 55.00		S/ 55.00
		Reparación	S/ 90.00	S/ 560.00	S/ 650.00
Equipo de análisis	Calibrador de espesor, sensor, vibración	Inspección	S/ 80.00		S/ 80.00
		Monitoreo	S/ 90.00		S/ 90.00
		Reparación	S/ 200.00	S/ 390.00	S/ 590.00
		Inspección	S/ 8.00		S/ 8.00

Implementos generales	Cepillo, trapo, solventes, filtros, desengrasantes	Monitoreo	S/ 9.00		S/ 9.00
		Reparación	S/ 3.00	S/ 80.00	S/ 83.00
		TOTAL			S/ 1,605.00

Nota: Elaboración propia

Tras realizar el calcular de los costos de mtto, se contempla el gasto asociado a la capacitación, el cual será cubierto por un ingeniero mecánico-eléctrico. El monto total destinado a las capacitaciones asciende a S/ 2,045.00

Tabla 58

Costo de la capacitación por un profesional.

Costos de capacitación		Und.	Cantidad	Precio unitario	Cantidad de veces al año	Presupuesto Anual
ítem	Descripción					
1	Conocimientos					
1.1	Capacitación por un profesional	día	3	S/ 200.00	2	S/ 1,200.00
1.2	Talleres presenciales por un profesional	día	2	S/ 150.00	2	S/ 600.00
2	Transporte y Viáticos					
2.1	Movilidad	und	5	S/ 8.00	2	S/ 80.00
2.2	Alimentación	und	5	S/ 8.00	2	S/ 80.00
3	Equipos y materiales					
3.1	Pizarra acrílica de 2m x 1.2m	und	5	S/ 4.00	2	S/ 40.00
3.2	Plumones de colores (azul, rojo, negro)	und	1	S/ 12.00	1	S/ 12.00
3.3	Folder	Paq	1	S/ 5.00	1	S/ 5.00
3.4	Papel Bond	Paq	1	S/ 12.00	1	S/ 12.00
3.5	Lapiceros	Paq	2	S/ 8.00	1	S/ 16.00
TOTAL						S/ 2,045.00

Nota: Elaboración propia

Asimismo, con la finalidad de garantizar la cobertura integral de los costos asociados al mtto, se realiza una consolidación de los gastos correspondientes a los sistemas de estructura, transmisión, motor, obteniendo como resultado un monto

total de S/ 5,949.00. A dicho valor se incorporan los costos derivados de la capacitación del personal, así como otros gastos operativos vinculados directamente con las actividades de mtto, los cuales también son absorbidos como parte del presupuesto asignado.

Tabla 59

Costo Total de la pulidora cónica N°04.

Total, gastos por el mtto de equipos críticos	S/ 5,949.00
Total, capacitación por un profesional	S/ 2,045.00
Otros gastos generales por mtto	S/ 2,300.00
Total, de gastos	S/ 10,294.00

Nota: Elaboración propia

Se hace un análisis del Valor actual Neto (VAR) y Tasa Interna de Retorno (TIR), como muestra en la siguiente tabla.

Tabla 60

Análisis de VAR y TIR en la pulidora Cónica

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Estimación de Venta		480.00	490.00	500.00	510.00	525.00
Precio Venta		120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
Ingreso Operacionales		57,600.00	58,800.00	60,000.00	61,200.00	63,000.00
Gastos						
Costos Variables	-9,400.00	-9,400.00	-10,810.00	-12,431.50	-4,296.23	-16,440.66
Costos Fijos						
S. Estructura	-3,019.00	-3,320.90	-3,622.80	-3,924.70	-4,226.60	-4,528.50
S. Motor	-1,325.00	-1,457.50	-1,590.00	-1,722.50	-1,855.00	-1,987.50
S. transmisión	-1,605.00	-1,765.50	-1,926.00	-2,086.50	-2,247.00	-2,407.50
Documentos	-2,045.00	-2,249.50	-2,454.00	-2,658.50	-2,863.00	-3,067.50
Transporte	-1,600.00	-1,760.00	-1,920.00	-2,080.00	-2,240.00	-2,400.00
Gastos Administrativos	-950.00	-1,045.00	-1,140.00	-1,235.00	-1,330.00	-1,425.00
Depreciación de Equipo	-1,000.00	-1,100.00	-1,200.00	-1,300.00	-1,400.00	-1,500.00
Otros gastos	-2,300.00	-2,530.00	-2,760.00	-2,990.00	-3,220.00	-3,450.00

Gastos Operacionales	-23,244.00	-4,628.40	-27,422.80	-30,428.70	-3,677.83	-37,206.66
Utilidades	-23,244.00	32,971.60	31,377.20	29,571.30	27,522.18	25,793.34

Tasa de Retorno Exigida	11%
VAN (Valor Actual Neto)	S/. 86,985.67
TIR (Tasa Interna de Retorno)	135%

Nota: Elaboración propia

Al hacer el análisis de VAR nos cuantifica el riesgo financiero que puede haber en la implementación del RCM, durante el periodo de 5 años el dinero invertido es rentable generando una ganancia de S/. 86,985.67 con una tasa de 11%, de la misma forma se analiza el TIR el cual nos muestra si un proyecto es económicamente viable, en este caso el valor de TIR es de 135% la cual es mayor que la tasa del objetivo (11%) se recomienda invertir.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Realizado el diagnóstico del estado situacional de la pulidora cónica N° 04 se obtuvo el porcentaje del mantenimiento correctivo (65.43%), preventivo (20.74%), predictivo (13.83%), además se obtuvo los indicadores MTBF (23.00), el MTTR (3.87) y la disponibilidad (85.58%)
2. La elaboración la aplicación de la GM basado en la confiabilidad RCM fue determinante para el desarrollo de estrategias preventivas y predictivas de la pulidora cónica que comienza en la pag.74 en adelante. Además, como las propuestas de mantenimiento que comienzan en la tabla 26 en la (pag.104) hasta la tabla 36 en la (pag.118), donde inicialmente era de 290.8 hrs y al final lo redujo a 123.97 hrs.
3. Realizado el mantenimiento basado en la confiabilidad en 7 meses, se obtuvo el porcentaje del mantenimiento correctivo (13.35%), el preventivo (48.41%), predictivo (38.41%). Se obtuvieron los indicadores MTBF (48.51), el MTTR (3.17) y la disponibilidad (93.85%), encontrando que el mantenimiento correctivo disminuyó un 52.08% y el preventivo aumento en 27.5%, y predictivo aumento en 24.58%. Asimismo, el indicador de disponibilidad aumento en 8.26%.
4. Al evaluar el VAN revela que la implementación del RCM genera un valor positivo significativo, con una rentabilidad neta de S/. 86,985.67 a 5 años considerando una tasa de descuento del 11%. Asimismo, la TIR obtenida de 135% supera ampliamente la tasa mínima requerida (11%), confirmando

la viabilidad económica del proyecto y recomendando su ejecución inmediata

Recomendaciones

La implementación del RCM en la pulidora cónica del Molino Los Angeles SRL no solo incrementó su disponibilidad operativa, sino que también optimizó costos, mejoró la seguridad y redujo impactos ambientales. Los resultados respaldan la adopción del RCM como estrategia clave para la gestión de mantenimiento en equipos industriales críticos, validando su eficacia tanto técnica como económicamente.

Se recomienda replicar de manera paulatina la metodología RCM estructurada en esta investigación a las cinco pulidoras cónicas restantes de la planta.

Priorizar el cumplimiento del calendario de mantenimientos proactivos en los sistemas críticos asegurando que el personal técnico respete estrictamente la periodicidad y tareas proyectadas.

Establecer un programa continuo de capacitación y control de indicadores operativos tanto a los operadores de los equipos como al personal técnico, con el fin de corregir deficiencias en el manejo.

CAPITULO VI: REFERENCIAS

- Aguilar Sota, L. M. (2024). GESTION DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM), PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA VEHICULAR DE LA RED DE SERVICIOS DE SALUD CUSCO NORTE -2022 [UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO]. En https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/9862/253T20241581_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/9862/253T20241581_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aguirre Cancion, A. M. (2021). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los equipos críticos de producción de comprimidos de un laboratorio farmacéutico* [Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9225/4/IV_FIN_108_TE_Aguirre_Cancion_2021.pdf
- Arias Gonzáles, J. L. (2021). Guía para elaborar la operacionalización de variables. *Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, X(28), 42-56.
<https://doi.org/10.31644/IMASD.28.2021.a02>
- Astudillo Astudillo, R. A., & Criollo Gallardo, S. G. (2022). Analisis del modo y efecto de fallo (AMEF) para la empresa Tedasa SA [Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. En <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23477/4/UPS-CT010083.pdf>.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23477/4/UPS-CT010083.pdf>
- Avilés Vargas, L. A. (2023). *Propuesta de Plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM) para los Vehículos de la Empresa Arancel Servicios Logísticos y Financieros S.A.S.*
<https://repositorio.uan.edu.co/items/0e45b069-b921-4a8a-80f4-f041ee0ad7c2>.
- Bocanegra Solorzano, P. E. (2023). Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de equipos lanzadores de shotcrete en una minera, ayacucho [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO]. En https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/9056/TE_SIS%20-BOCANEGRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/9056/TE_SIS%20-BOCANEGRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Carmona Silva, J. L., Cruz de los Ángeles, J. A., & Sánchez Flores, L. (2019). La actividad agrícola en localidades rurales en procesos conurbatorios: Una aproximación mediante el diagrama de Ishikawa. *RICEA Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, 8(16), 49-79. <https://doi.org/10.23913/ricea.v8i16.134>
- Cedeño, W. , & G. F. (2021). *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar>.
<https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/issue/view/48>
- Flores Jiménez, V. A. (2022). Plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad del equipo de alta criticidad en la línea de deshidratado de la Planta de Alimentos Villa Andina S.A.C - Cajamarca [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. En <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10493>.
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10493>
- Flores Romero, D. J., & Molina Rivera, D. M. (2021). *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA LA FLOTA VEHICULAR DE LA EMPRESA PÚBLICA EMMAIPC-EP. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA*.
- Gallach, F. S., Soler, V. G., Molina, A. I. P., & Bernabeu, E. P. (2019). *Diagrama de Pareto y Lean Manufacturing*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8430236>.
- Galvan Mendoza, C. C. (2024). Implementación de mantenimiento centrado en confiabilidad para reducir costos de mantenimiento de las bombas de molienda en una planta minera [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO]. En <https://hdl.handle.net/20.500.12952/9352>.
<https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/9352>
- González, V. (2019, enero). *Vista de Indicadores de mantenimiento en las instituciones universitarias públicas de la Costa Oriental del Lago*. <https://revistarebi.org/index.php/rebi/article/view/102/294>.
<https://revistarebi.org/index.php/rebi/article/view/102/294>
- Gutiérrez, E., Agüero, M., & Calixto, I. (2007, marzo). *Análisis de Criticidad Integral de Activos* . <https://pdfcoffee.com/pt013-analisis-de-criticidad-integral-de-activos-4-pdf-free.html>.
- Martínez Arboleda, G. A. (2023). Sistema de gestión basado en la metodología del RCM para mejorar la disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción de barras de construcción N°1 de Siderperu, provincia del Santa, departamento de Ancash [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. En

<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11445>.
[https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/11445/
Martinez_%20Arboleda_Guillermo_Arturo.pdf?sequence=1&isAllowed=
y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/11445/Martinez_%20Arboleda_Guillermo_Arturo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Molina Ochoa, L. F. (2017). Aproximación conceptual aplicada de programa informático RCM [UNIVERSIDAD EAFIT]. En <https://repository.eafit.edu.co/items/c02fc0c2-adad-443e-b2ec-d54e968d5ba1>. <https://repository.eafit.edu.co/items/c02fc0c2-adad-443e-b2ec-d54e968d5ba1>

Moubray, Jhon. (2024). Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) (S. Ellmann & Asociados, Trads.). En Rob Lockhart (Ed.), <https://es.scribd.com/document/399048691/1-Libro-RCM-J-Moubray-pdf> (2.^a ed., Vol. 2). Aladon LLC.

Pérez Rondón, F. A. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial* (Universidad Santo Tomás, Ed.). Universidad Santo Tomás; USTA. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf>

SafetyCulture. (2024, enero 15). *AMFE: Definición, Pasos, Tipos y Herramientas*. <https://safetyculture.com/es/temas/amfe/>.
<https://safetyculture.com/es/temas/amfe/>

Sánchez, C., & Ardila, J. (2018). *Propuesta de implementación de un Sistema de Gestión de activos en la Planta de producción de acero figurado bajo los lineamientos de la NTC ISO 55001*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/items/1a217d91-857a-47c2-8d1b-7416a97a3419>

Tesen Inga, C. W. (2024). Elaboración de un plan de mantenimiento basado en la metodología rcm para incrementar la disponibilidad del tractor agrícola John Deere 5090 de la empresa plantaciones del Sol – Motupe 2023. En <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12906>. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

UNE-EN 13306. (2018). Terminología del Mantenimiento. En Asociación Española de Normalización (Ed.), <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-estatal-del-sur-de-manabi/mecanica-de-suelos/une-13306-2018-terminologia-del-mantenimiento/22106788>. AENOR INTERNACIONAL S.A.U.

Yauli Achachi, M. O. (2022, agosto). *Aplicación de la metodología rcm para la gestión de los equipos industriales en la empresa Ilpm Engineering*

CIA. LTDA. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/e77b3742-2213-46ec-b3db-5245faa20716>.

Zambrano, E., Prieto, A. T., & Castillo, R. (2015). Indicadores de gestión de mantenimiento en las instituciones públicas de educación superior del municipio Cabimas. *TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 17, 1-18.
<https://www.redalyc.org/pdf/993/99342682008.pdf>

CAPITULO VII: ANEXOS

Anexo 1

HOJA DE INFORMACIÓN RCM

HOJA DE INFORMACIÓN RCM			
NOMBRE DEL SISTEMA			
EVENTO DE FALLA:		FECHA DE REALIZACIÓN:	
COMPONENTE:		FECHA DE REVISIÓN:	
Función	Fallo Funcional	Modo de Fallo (CAUSAS)	Efecto de los Fallos (Que sucede cuando falla)
	A)		
	B)		
	C)		
	D)		
	E)		

Anexo 2

HOJAS DE DECISIÓN DEL RCM

HOJAS DE DECISIÓN DEL RCM																
Nombre del Sistema:										Fecha de revisión:						
Evento de falla:										Fecha de realización:						
Responsable (área):																
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones a falta de			Tareas propuestas	Frecuencia	A realizar por:
								H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3						
SIST.	F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			

Anexo 3

Preguntas para Hoja de decisión

