

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS MÁQUINAS ELECTROMECAÑICAS EN UNA EMPRESA AGROINDUSTRIAL PROCESADORA DE CASTAÑA

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	10%	3%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	noesis.uis.edu.co Fuente de Internet	<1%
4	www.cientifica.esimez.ipn.mx Fuente de Internet	<1%
5	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
8	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%



UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA
PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS
(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)**

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.untels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- 1). TESIS (X) 2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL ()

DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres: Yactayo Guzman Kevin Enrique
D.N.I.: 71305607
Otro Documento:
Nacionalidad: Peruano
Teléfono: 939959580
e-mail: Kevin.yactayo.021196@gmail.com

DATOS ACADÉMICOS

Pregrado

Facultad: Facultad de Ingeniería y Gestión
Programa Académico: Tesis
Título Profesional otorgado: Ingeniero Mecánico Electricista

Postgrado

Universidad de Procedencia:
País:
Grado Académico otorgado:

Datos de trabajo de investigación

Título: "Implementación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para incrementar la disponibilidad de las máquinas electromecánicas en una empresa agroindustrial procesadora de castaña"
Fecha de Sustentación: 04/12/2023
Calificación: Aprobado
Año de Publicación: 2024



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo No autorizo

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	info:eu-repo/semantics/openAccess (Para documentos en acceso abierto)	<input checked="" type="checkbox"/>

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	info:eu-repo/semantics/restrictedAccess (Para documentos restringidos)	<input type="checkbox"/>
	info:eu-repo/semantics/embargoedAccess (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	<input type="checkbox"/>
	info:eu-repo/semantics/closedAccess (para documentos confidenciales)	<input type="checkbox"/>

(*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

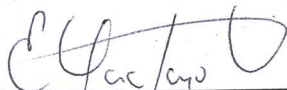
Motivos de la elección del acceso restringido:

Yactayo Guzman Kevin Enrique

APELLIDOS Y NOMBRES

71305607

DNI



Firma y huella:



Lima, 29 de Octubre del 20 24

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO
EN CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE
LAS MÁQUINAS ELECTROMECAÓNICAS EN UNA EMPRESA
AGROINDUSTRIAL PROCESADORA DE CASTAÑA”**

TESIS

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

YACTAYO GUZMAN, KEVIN ENRIQUE

ORCID: 0004-0009-0929-1397

ASESOR

PUMA CORBACHO, SOLIN EPIFANIO

ORCID: 0000-0003-4614-8169

Villa El Salvador

2023



DECANATO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

En Villa El Salvador, siendo las 12:00 p.m. del día 04 de diciembre del 2023, en la Facultad de Ingeniería y Gestión, los miembros del Jurado Evaluador, integrado por:

PRESIDENTE: FABIO ZEGARRA CHOQUE DNI N° 40586051 C.I.P. N° 84031
SECRETARIA: MARGARITA FREDESVIDA MURILLO MANRIQUE DNI N° 07222359 C.I.P. N° 59410
VOCAL : RICHARD FLORES CACERES DNI N° 10230672 C.I.P. N° 185839
ASESOR : SOLIN EPIFANIO PUMA CORBACHO DNI N° 72491744 C.I.P. N° 224387

Designados mediante Resolución de Decanato N° 315-2023-UNTELS-R-D de fecha 15 de agosto de 2023 quienes dan inicio a la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación de Tesis.

Acto seguido, el (la) aspirante al: Grado de Bachiller Título Profesional

Don: YACTAYO GUZMAN KEVIN ENRIQUE identificado(a) con D.N.I. N° 71305607 procedió a la Sustentación de:

Trabajo de investigación Tesis Trabajo de suficiencia Artículo científico

Titulado: "IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS MÁQUINAS ELECTROMECAÑICAS EN UNA EMPRESA AGROINDUSTRIAL PROCESADORA DE CASTAÑA"

Aprobado mediante Resolución de Decanato de N° 907-2023-UNTELS-R-D de fecha 24 de noviembre de 2023, de conformidad con las disposiciones del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales vigentes, sustentó y absolvió las interrogantes que le formularon los señores miembros del Jurado Evaluador.

Concluida la Sustentación se procedió a la evaluación y calificación correspondiente, resultando el aspirante APROBADO por UNANIMIDAD con la nota de: CATORCE (letras) 14 (números), de acuerdo al Art. 65° del Reglamento General para optar el Título Profesional.

CALIFICACIÓN		CONDICIÓN	EQUIVALENCIA
NÚMERO	LETRAS		
14	CATORCE	APROBADO POR UNANIMIDAD	BUEVO

Siendo las 14:50 horas del día 04 de Diciembre del 2023, se dio por concluido el acto de sustentación, firmando el jurado evaluador el Acta de Sustentación, que obra en el Decanato de la Facultad de Ingeniería y Gestión.

MARGARITA F. MURILLO MANRIQUE
SECRETARIA
Margarita Murillo M.
Ingeniera Electricista
Reg. C.I.P. 59410

FABIO ZEGARRA CHOQUE
PRESIDENTE
FABIO ZEGARRA CHOQUE
Ingeniero Mecánico
C.I.P. N° 84031
YACTAYO GUZMAN KEVIN ENRIQUE
BACHILLER

RICHARD FLORES CACERES
INGENIERO
MECANICO ELECTRICISTA
C.I.P. N° 185839
RICHARD FLORES CACERES
VOCAL

DEDICATORIA

Con cariño y agradecimiento, dedico este logro a mi familia, amigos y seres queridos. Su apoyo inquebrantable ha sido mi inspiración. A los que ya no están, a los que están presente y a los que vendrán en el futuro, gracias por ser mi motivación constante. Este logro es tan suyo como mío.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que contribuyeron de manera significativa al desarrollo y culminación de este proyecto de tesis.

Mi reconocimiento especial va a mi familia y amigos, quienes brindaron apoyo emocional y comprensión durante las etapas desafiantes de este proceso. Su aliento y paciencia fueron esenciales para mantenerme enfocado y motivado.

Agradezco a mis compañeros de estudio, cuya participación activa y aportes en discusiones fueron enriquecedores. Sus perspectivas y sugerencias jugaron un papel crucial en la mejora continua de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todas las fuentes académicas, que proporcionaron información valiosa para sustentar este estudio.

Cada uno de ustedes ha dejado una marca significativa en este proyecto, y estoy profundamente agradecido por su contribución.

RESUMEN

La presente investigación aborda la crucial necesidad de optimizar la eficiencia operativa en el procesamiento de castañas. En el contexto de la creciente demanda de este alimento saludable, la introducción de máquinas electromecánicas en la empresa ha mejorado la capacidad de producción. Sin embargo, la carencia de un plan de mantenimiento efectivo ha afectado la disponibilidad de estas máquinas, generando paradas no planificadas, altos costos de repuestos y pérdida de eficiencia operativa. Debido a este suceso se sugiere que un enfoque basado en confiabilidad podría ser la solución para optimizar la operación de las máquinas. La tesis se propone implementar este enfoque para reducir las paradas por fallas, optimizar la adquisición de repuestos críticos y disminuir los costos de producción.

La ubicación estratégica de la planta en la selva peruana, lejos de los proveedores principales de repuestos, ha generado altos costos en la adquisición de estos. La carencia de un plan de mantenimiento ha llevado a una baja disponibilidad de las máquinas, impactando negativamente la productividad, eficiencia y generando gastos por paradas de producción no planificadas, personal inactivo y compras de repuestos sobrevalorados.

Los objetivos de la investigación se enfocaron en la implementación del plan de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad para abordar estos desafíos específicos.

Finalmente, los resultados revelaron mejoras significativas en la disponibilidad de las máquinas, optimización en la adquisición de repuestos críticos y ahorros tangibles en los costos de producción. Además, se destaca la reducción de la pérdida de mano de obra debido a paradas de máquinas como un logro importante derivado de la implementación de este enfoque.

En conclusión, los resultados respaldan la efectividad del mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para mejorar la operación de máquinas electromecánicas en la agroindustria de procesamiento de castañas, proporcionando una base sólida para futuras prácticas en el ámbito industrial.

Palabras clave: Mantenimiento centrado en confiabilidad, máquinas electromecánicas, disponibilidad, eficiencia operativa, paradas por fallas, repuestos críticos.

ABSTRACT

The present research addresses the crucial need to optimize operational efficiency in chestnut processing. In the context of the growing demand for this healthy food, the introduction of electromechanical machines in the company has improved production capacity. However, attention to an effective maintenance plan has affected the availability of these machines, generating unplanned stops, high spare parts costs and loss of operational efficiency. Due to this event, it is suggested that an approach based on reliability could be the solution to optimize the operation of the machines. The thesis aims to implement this approach to reduce downtime due to failures, optimize the acquisition of critical spare parts and reduce production costs.

The strategic location of the plant in the Peruvian jungle, far from the main spare parts suppliers, has generated high costs in the acquisition of these. The attention to a maintenance plan has led to low machine availability, negatively impacting productivity, efficiency and generating expenses due to unplanned production stops, inactive personnel and purchases of overpriced spare parts.

The research objectives focus on the implementation of the reliability-focused maintenance management plan to address these specific challenges.

Finally, the results reveal significant improvements in machine availability, optimization in the acquisition of critical spare parts, and tangible savings in production costs. In addition, the reduction of labor loss due to machine downtime is highlighted as an important achievement derived from the implementation of this approach. In conclusion, the results support the effectiveness of maintenance focused on reliability as a strategy to improve the operation of electromechanical machines in the chestnut processing agroindustry, providing a solid foundation for future practices in the industrial field.

Keywords: Maintenance focused on reliability, electromechanical machines, availability, operational efficiency, shutdowns due to failures, critical spare parts.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Motivación.....	2
1.2. Estado del arte.....	2
1.3. Descripción del problema.....	2
1.4. Formulación del problema.....	3
1.4.1. Problema general.....	3
1.4.2. Problemas específicos.....	3
1.5. Objetivos de la investigación.....	3
1.5.1. Objetivo general.....	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	4
1.6. Justificación del problema.....	4
1.6.1. Justificación teórica.....	4
1.6.2. Justificación tecnológica.....	4
1.6.3. Justificación social.....	5
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Bases teóricas.....	8
2.2.1. Mantenimiento centrado en confiabilidad.....	8
2.2.2. Análisis de modo y efecto de falla.....	9
2.2.3. Análisis de criticidad de activos.....	16

2.2.4.	Gestión de almacén de repuestos	20
2.2.5.	Tipos de mantenimiento	22
2.2.6.	Política de mantenimiento	25
2.2.7.	Gestión y planificación del mantenimiento.....	25
2.2.8.	Indicadores de mantenimiento	26
2.2.9.	Análisis causa raíz (ACR)	28
2.2.10.	Control de costos.....	29
2.2.11.	Monitoreo y control de equipos	29
2.2.12.	Partes de equipos electromecánicos y su mantenibilidad.....	30
2.2.13.	Máquinas electromecánicas.....	41
VARIABLES.....		47
3.1	Operacionalización de variables (Dimensiones e indicadores)	47
METODOLOGÍA.....		48
4.1	Descripción de la metodología	48
4.2	Implementación de la investigación.....	48
4.2.1	Pruebas realizadas	132
4.3	Resultados	197
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		203
CONCLUSIONES.....		204
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		205

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Probabilidad de fallo según modo</i>	11
Tabla 2. <i>Tiempo para el cambio de aceite según temperatura</i>	32
Tabla 3. <i>Colores normalizados para lámparas y significado</i>	41
Tabla 4. <i>Activos industriales</i>	49
Tabla 5. <i>Riesgo y frecuencia por fallas mensuales</i>	54
Tabla 6. <i>Categorías de consecuencia y criticidad</i>	55
Tabla 7. <i>Evaluación y resultados de criticidad de activos electromecánicos.</i>	56
Tabla 8. <i>Análisis de modos de efectos y fallas de elevador de cangilones N°1 al 6.</i>	58
Tabla 9. <i>Análisis de modos de efectos y fallas de elevador de cangilones N°7.</i>	62
Tabla 10. <i>Análisis de modos de efectos y fallas de elevador de cangilones N°8, 9 y 10.</i> ...	66
Tabla 11. <i>Análisis de modos de efectos y fallas de zaranda N°4 y 5.</i>	70
Tabla 12. <i>Análisis de modos de efectos y fallas del rodillo N°5.</i>	80
Tabla 13. <i>Análisis de modos de efectos y fallas de los intercambiadores de calor N°5, 8 y 9.</i>	85
Tabla 14. <i>Análisis de modos de efectos y fallas de peladoras N°1 y 2.</i>	89
Tabla 15. <i>Análisis de modos de efectos de faja de selección manual</i>	96
Tabla 16. <i>Análisis de modos de efectos de calderos</i>	101
Tabla 17. <i>Cantidad de máquinas según diseño.</i>	124
Tabla 18. <i>Insumos para mantenimiento y comparativo de precios Lima – Madre de Dios</i>	129
Tabla 19. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°1 – 1er periodo</i>	132
Tabla 20. <i>Historial de mantenimiento de la zaranda N°1 – 1er periodo</i>	133
Tabla 21. <i>Historial de mantenimiento del ciclón de polvos – 1er periodo</i>	134
Tabla 22. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°2 – 1er periodo</i>	134
Tabla 23. <i>Historial de mantenimiento la criba giratoria – 1er periodo</i>	135
Tabla 24. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°1 – 1er periodo</i>	136

Tabla 25. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°3 – 1er periodo</i>	137
Tabla 26. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°2 – 1er periodo</i>	138
Tabla 27. <i>Historial de mantenimiento del rodillo N°1 – 1er periodo</i>	139
Tabla 28. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°1 – 1er periodo</i> ...	139
Tabla 29. <i>Historial de mantenimiento del rodillo N°2 – 1er periodo</i>	140
Tabla 30. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°2 – 1er periodo</i> ...	140
Tabla 31. <i>Historial de mantenimiento del rodillo N°3 – 1er periodo</i>	141
Tabla 32. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°3 – 1er periodo</i> ...	142
Tabla 33. <i>Historial de mantenimiento del rodillo N°4 – 1er periodo</i>	142
Tabla 34. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°4 – 1er periodo</i> ...	143
Tabla 35. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°3 – 1er periodo</i>	143
Tabla 36. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°4 – 1er periodo</i>	144
Tabla 37. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°4 – 1er periodo</i>	145
Tabla 38. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°5 – 1er periodo</i>	146
Tabla 39. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°6 – 1er periodo</i>	146
Tabla 40. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°6 – 1er periodo</i>	147
Tabla 41. <i>Historial de mantenimiento de la zaranda N°2 – 1er periodo</i>	148
Tabla 42. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°7 – 1er periodo</i>	149
Tabla 43. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°7 – 1er periodo</i>	150
Tabla 44. <i>Historial de mantenimiento del rodillo N°5 – 1er periodo</i>	151
Tabla 45. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°5 – 1er periodo</i> ...	152
Tabla 46. <i>Historial de mantenimiento de la zaranda N°3 – 1er periodo</i>	153
Tabla 47. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°8 – 1er periodo</i>	154
Tabla 48. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°9 – 1er periodo</i>	155
Tabla 49. <i>Historial de mantenimiento de la faja de reproceso N°1 – 1er periodo</i>	156
Tabla 50. <i>Historial de mantenimiento de la zaranda N°4 – 1er periodo</i>	156

Tabla 51. <i>Historial de mantenimiento de la peladora N°1 – 1er periodo</i>	158
Tabla 52. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°10 – 1er periodo</i>	159
Tabla 53. <i>Historial de mantenimiento de la faja de reproceso N°2 – 1er periodo</i>	160
Tabla 54. <i>Historial de mantenimiento de la faja de reproceso N°3 – 1er periodo</i>	161
Tabla 55. <i>Historial de mantenimiento de la zaranda N°5 – 1er periodo</i>	161
Tabla 56. <i>Historial de mantenimiento de la peladora N°2 – 1er periodo</i>	163
Tabla 57. <i>Historial de mantenimiento de la faja de selección manual – 1er periodo</i>	164
Tabla 58. <i>Historial de mantenimiento de la estufa N°1 – 1er periodo</i>	165
Tabla 59. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°6 – 1er periodo</i> ...	165
Tabla 60. <i>Historial de mantenimiento de la estufa N°2 – 1er periodo</i>	166
Tabla 61. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°7 – 1er periodo</i> ...	166
Tabla 62. <i>Historial de mantenimiento del horno N°1 – 1er periodo</i>	167
Tabla 63. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°8 – 1er periodo</i> ...	167
Tabla 64. <i>Historial de mantenimiento del horno N°2 – 1er periodo</i>	168
Tabla 65. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°9 – 1er periodo</i> ...	169
Tabla 66. <i>Historial de mantenimiento del caldero 300 BHP – 1er periodo</i>	170
Tabla 67. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°7 – 1er periodo</i>	171
Tabla 68. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°1 – 2do periodo</i>	172
Tabla 69. <i>Historial de mantenimiento de la zaranda N°1 – 2do periodo</i>	172
Tabla 70. <i>Historial de mantenimiento del ciclón de polvos – 2do periodo</i>	173
Tabla 71. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°2 – 2do periodo</i>	173
Tabla 72. <i>Historial de mantenimiento de la criba giratoria – 2do periodo</i>	174
Tabla 73. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°1 – 2do periodo</i>	174
Tabla 74. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°3 – 2do periodo</i>	175
Tabla 75. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°2 – 2do periodo</i>	175
Tabla 76. <i>Historial de mantenimiento del rodillo N°1 – 2do periodo</i>	176

Tabla 77. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°1 – 2do periodo ..</i>	176
Tabla 78. <i>Historial de mantenimiento del rodillo N°2 – 2do periodo.....</i>	177
Tabla 79. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°2 – 2do periodo ..</i>	177
Tabla 80. <i>Historial de mantenimiento del rodillo N°3 – 2do periodo.....</i>	178
Tabla 81. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°3 – 2do periodo ..</i>	178
Tabla 82. <i>Historial de mantenimiento del rodillo N°4 – 2do periodo.....</i>	179
Tabla 83. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°4 – 2do periodo ..</i>	179
Tabla 84. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°3 – 2do periodo</i>	180
Tabla 85. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°4 – 2do periodo</i>	180
Tabla 86. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°4 – 2do periodo</i>	180
Tabla 87. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°5 – 2do periodo</i>	181
Tabla 88. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°6 – 2do periodo</i>	181
Tabla 89. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°6 – 2do periodo</i>	182
Tabla 90. <i>Historial de mantenimiento de la zaranda N°2 – 2do periodo</i>	182
Tabla 91. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°7 – 2do periodo</i>	183
Tabla 92. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°7 – 2do periodo</i>	183
Tabla 93. <i>Historial de mantenimiento del rodillo N°5 – 2do periodo.....</i>	184
Tabla 94. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°5 – 2do periodo ..</i>	184
Tabla 95. <i>Historial de mantenimiento del transportador N°7 – 2do periodo</i>	185
Tabla 96. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°8 – 2do periodo</i>	185
Tabla 97. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°9 – 2do periodo</i>	186
Tabla 98. <i>Historial de mantenimiento de la faja de reproceso N°1 – 2do periodo</i>	186
Tabla 99. <i>Historial de mantenimiento de la zaranda N°4 – 2do periodo</i>	187
Tabla 100. <i>Historial de mantenimiento de la peladora N°1 – 2do periodo</i>	187
Tabla 101. <i>Historial de mantenimiento del elevador N°10 – 2do periodo</i>	188
Tabla 102. <i>Historial de mantenimiento de la faja de reproceso N°2 – 2do periodo</i>	188

Tabla 103. <i>Historial de mantenimiento de la faja de reproceso N°3 – 2do periodo</i>	189
Tabla 104. <i>Historial de mantenimiento de la zaranda N°5 – 2do periodo</i>	189
Tabla 105. <i>Historial de mantenimiento de la peladora N°2 – 2do periodo</i>	190
Tabla 106. <i>Historial de mantenimiento de la faja transportadora de selección manual – 2do periodo</i>	190
Tabla 107. <i>Historial de mantenimiento de la estufa N°1 – 2do periodo</i>	191
Tabla 108. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°6 – 2do periodo</i>	191
Tabla 109. <i>Historial de mantenimiento de la estufa N°2 – 2do periodo</i>	192
Tabla 110. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°7 – 2do periodo</i>	192
Tabla 111. <i>Historial de mantenimiento del horno N°1 – 2do periodo</i>	193
Tabla 112. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°8 – 2do periodo</i>	193
Tabla 113. <i>Historial de mantenimiento del horno N°2 – 2do periodo</i>	194
Tabla 114. <i>Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°9 – 2do periodo</i>	194
Tabla 115. <i>Historial de mantenimiento del caldero 300 BHP – 2do periodo</i>	195
Tabla 116. <i>Historial de mantenimiento del caldero 100 BHP – 2do periodo</i>	195
Tabla 117. <i>Sistemas de máquinas que trabajan en serie</i>	196
Tabla 118. <i>Indicador de disponibilidad en cada sistema</i>	197
Tabla 119. <i>Mejora en el indicador de disponibilidad</i>	199
Tabla 120. <i>Comparativo de tiempo medio de reparación</i>	200
Tabla 121. <i>Comparativo de costos de pérdida en horas hombre por averías</i>	201

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Tipos de consecuencias de falla</i>	13
Figura 2. <i>Patrones de falla</i>	13
Figura 3. <i>Norma ISO 55000 para la gestión de activos</i>	17
Figura 4. <i>Cuadro de criticidad total por riesgo</i>	20
Figura 5. <i>Diagrama de Pareto</i>	21
Figura 6. <i>Reparación general basada en tiempo</i>	24
Figura 7. <i>Mantenimiento basado en la condición</i>	24
Figura 8. <i>Ley de degradación investigada</i>	25
Figura 9. <i>Gráfica representativa del MTBF</i>	27
Figura 10. <i>Gráfica representativa del MTTR</i>	27
Figura 11. <i>Los 4 pasos básicos para la solución de problemas</i>	28
Figura 12. <i>Partes generales de un motor trifásico</i>	30
Figura 13. <i>Estructura de transmisión por cadena</i>	33
Figura 14. <i>Aplicación de aceite a una chumacera</i>	35
Figura 15. <i>Esquema simple de conexión de un interruptor termomagnético a un motor</i> ...	36
Figura 16. <i>Esquema interno y de funcionamiento de un interruptor diferencial</i>	37
Figura 17. <i>Esquema de un elevador de cangilones</i>	42
Figura 18. <i>Plano de flujo de procesos – Proceso de pre limpieza</i>	51
Figura 19. <i>Plano de flujo de procesos – Proceso de transferencia y secado</i>	52
Figura 20. <i>Plano de flujo de procesos – Proceso de reposo</i>	52
Figura 21. <i>Plano de flujo de procesos – Proceso de reposo, vaporizado y pre descascarado</i>	52
Figura 22. <i>Plano de flujo de procesos – Proceso de descascarado y selección manual</i>	53
Figura 23. <i>Plano de flujo de procesos – Proceso de secado</i>	53
Figura 24. <i>Plano de flujo de procesos – Generación de vapor</i>	54

Figura 25. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de elevadores...</i>	61
Figura 26. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de zarandas</i>	73
Figura 27. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de ciclón</i>	74
Figura 28. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de criba giratoria</i>	75
Figura 29. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de transportadores</i>	76
Figura 30. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de rodillos.....</i>	84
Figura 31. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de intercambiadores de calor.....</i>	88
Figura 32. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de peladora (P. 1)</i>	94
Figura 33. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de peladora (P. 2)</i>	95
Figura 34. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de faja transportadora de reproceso</i>	99
Figura 35. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de estufas y hornos</i>	100
Figura 36. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de calderos (P. 1)</i>	105
Figura 37. <i>Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de calderos (P. 2)</i>	106
Figura 38. <i>Programa anual de mantenimiento preventivo de equipos electromecánicos (P. 1).....</i>	108
Figura 39. <i>Programa anual de mantenimiento preventivo de equipos electromecánicos (P. 2).....</i>	109
Figura 40. <i>Instructivo de lubricación de reductores</i>	110
Figura 41. <i>Instructivo de lubricación de chumaceras</i>	111
Figura 42. <i>Plan de lubricación en zona I (P. 1)</i>	112

Figura 43. <i>Plan de lubricación en zona I (P. 2)</i>	113
Figura 44. <i>Plan de lubricación en zona II</i>	114
Figura 45 <i>Plan de lubricación en zona III</i>	115
Figura 46. <i>Plan de lubricación en zona IV</i>	116
Figura 47. <i>Formato de orden de trabajo de mantenimiento correctivo</i>	117
<i>Figura 48. Formato ACR paso 1 (5W+1H)</i>	118
Figura 49. <i>Formato ACR paso 2 (Diagrama de causa efecto)</i>	119
Figura 50. <i>Formato ACR paso 3 (5 Porque)</i>	120
Figura 51. <i>Formato ACR paso 4 (Acciones correctivas)</i>	121
Figura 52. <i>Flujograma de mantenimiento preventivo</i>	122
Figura 53. <i>Flujograma de mantenimiento correctivo</i>	123
Figura 54. <i>Diagrama de Pareto de insumos de mantenimiento</i>	131

INTRODUCCIÓN

Esta investigación se centra en la optimización de la eficiencia operativa en el procesamiento de castañas, con un enfoque específico en la implementación de un plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad. La introducción de máquinas electromecánicas en la empresa ha mejorado la capacidad de producción, pero la falta de un plan de mantenimiento efectivo ha generado paradas no planificadas, aumentando los costos y afectando la eficiencia general. La ubicación remota de la planta en la selva peruana ha intensificado los desafíos, especialmente en la adquisición de repuestos.

La investigación se propone abordar estos desafíos implementando un enfoque basado en confiabilidad, con el objetivo de reducir las paradas por fallas, optimizar la adquisición de repuestos críticos y disminuir los costos de producción. La motivación subyacente radica en mejorar la disponibilidad de las máquinas electromecánicas y, por ende, la competitividad y sostenibilidad en el mercado de procesamiento de castañas. Además, se busca proporcionar una solución viable a los altos costos asociados a la ubicación geográfica de la planta.

Los propósitos de esta investigación abarcan desde la implementación efectiva del plan de gestión de mantenimiento hasta la evaluación de su impacto en la disponibilidad de las máquinas y en los costos operativos. Se espera que los resultados obtenidos no solo mejoren la eficiencia operativa de la empresa, sino que también sirvan como un modelo para prácticas sostenibles en la industria de procesamiento de castañas.

La metodología se basará en la implementación práctica del plan de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad, seguido de una evaluación exhaustiva de los resultados obtenidos. Se llevarán a cabo análisis cuantitativos para medir la eficacia del enfoque en términos de reducción de paradas, optimización de adquisición de repuestos y disminución de costos.

La presente investigación se propone como un paso clave hacia la mejora de la operación en la agroindustria de procesamiento de castañas. La implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad no solo aborda los desafíos actuales, sino que también establece un precedente para prácticas eficientes y sostenibles en el ámbito industrial.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Motivación

La motivación de esta tesis surge de la necesidad apremiante de abordar los desafíos de una empresa agroindustrial que se dedica al procesamiento de castaña en la selva peruana. La falta de un plan de mantenimiento adecuado afecta la operación y rendimiento, generando paradas no planificadas y altos costos de producción. La implementación de un plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad busca optimizar la disponibilidad de las máquinas electromecánicas, mejorar la competitividad y sostenibilidad en el mercado de procesamiento de castaña. El plan apunta a reducir el tiempo de paradas por fallas y optimizar la adquisición de repuestos críticos. Se busca mejorar la productividad y eficiencia, evitando paros no planificados y garantizando un uso óptimo de los recursos. La distancia física entre la planta y proveedores principales hace crucial un mantenimiento eficiente. La tesis se enfoca en superar los obstáculos causados por la falta de un plan de mantenimiento adecuado.

1.2. Estado del arte

El procesamiento de la castaña en la agroindustria ha cobrado relevancia debido a la creciente demanda de este alimento saludable y versátil. La implementación de máquinas electromecánicas ha mejorado la capacidad de procesamiento, pero la falta de un plan de mantenimiento adecuado ha afectado la disponibilidad y eficiencia de las operaciones. El estado del arte en la gestión de mantenimiento sugiere que un enfoque basado en confiabilidad puede incrementar la disponibilidad de las máquinas. Se ha demostrado que esto reduce paradas no planificadas y mejora la producción. La adquisición eficiente de repuestos también contribuye a reducir costos. Experiencias exitosas en otros sectores industriales como en la aviación y en la minería, respaldan la efectividad de este enfoque desde 1960. En conclusión, un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad promete mejorar la operación de máquinas electromecánicas en la agroindustria de castaña, pero se requiere investigación específica para su implementación adecuada.

1.3. Descripción del problema

La empresa agroindustrial “La Nuez” se dedica al procesamiento de castaña; el proceso consta de la limpieza, clasificación, pelado y horneado de la materia prima.

Desde el año 2015, se comenzó a industrializar los procesos mediante la compra de máquinas electromecánicas; sin embargo, nunca se estableció un plan de mantenimiento, ni se les dio el debido cuidado a los activos. Por consiguiente, hasta la fecha, las máquinas solo han sido intervenidas para reparaciones correctivas.

La materia prima crece en los árboles de las selvas de Perú, Brasil y Bolivia; en tal sentido, la planta de procesamiento está ubicada estratégicamente en la selva peruana, específicamente en la ciudad de Puerto Maldonado). Debido a la distancia física entre la planta y la ubicación de proveedores principales (Lima), se requiere comprar a proveedores cercanos a la planta; esto aumenta su costo hasta tres veces el precio con relación a proveedores de Lima.

Debido a la falta de un plan de mantenimiento de los activos, se enfrenta una baja disponibilidad de sus máquinas electromecánicas. Estos problemas impactan la productividad y eficiencia de la operación causando así gastos por paradas de producción no planificadas, personal inactivo, compras de repuestos sobre valorados y reducción de la vida útil de los activos.

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

¿Cómo la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad permitirá incrementar la disponibilidad de máquinas electromecánicas en la empresa agroindustrial productora de castaña?

1.4.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo la implementación de un plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad reducirá el tiempo de paradas por fallas?
- b. ¿Cómo la implementación de un plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad optimizará la adquisición de repuestos críticos?
- c. ¿Cómo la implementación de un plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad impactará en la reducción de costos de producción?

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Implementar un plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad para incrementar la disponibilidad de máquinas electromecánicas en la empresa agroindustrial procesadora de castaña.

1.5.2. Objetivos específicos

- a. Implementar un plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad para reducir el tiempo de paradas por fallas.
- b. Implementar un plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad para optimizar la adquisición de repuestos críticos.
- c. Implementar un plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad para reducir los costos de producción.

1.6. Justificación del problema

La implementación de un plan de gestión de mantenimiento es fundamental para mejorar la disponibilidad de las máquinas electromecánicas en la empresa procesadora de castaña. Esto permitirá incrementar la productividad y eficiencia de la operación, evitando paros no planificados y optimizando el uso de los recursos. Además, al mejorar el proceso de adquisición de repuestos, se reducirán las demoras y se garantizará una rápida reposición de piezas, a pesar de la ubicación remota de la empresa.

1.6.1. Justificación teórica

El mantenimiento basado en la confiabilidad es una metodología respaldada por investigaciones y prácticas en la industria que ha demostrado ser efectiva para mejorar la disponibilidad y eficiencia de equipos en diferentes sectores. La aplicación de esta estrategia en el contexto específico de la empresa agroindustrial permitirá fortalecer la base teórica y metodológica en cuanto a la gestión óptima de activos electromecánicos, lo cual contribuirá al avance del conocimiento en el campo del mantenimiento industrial.

1.6.2. Justificación tecnológica

Desde el punto de vista tecnológico, la implementación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad representa una oportunidad para adoptar enfoques innovadores en la gestión de activos electromecánicos en la empresa procesadora de castaña. La incorporación de tecnologías avanzadas para el monitoreo de equipos, la recolección de datos en tiempo real y la implementación de sistemas de gestión de mantenimiento permitirá una mayor eficiencia en las operaciones, minimizando tiempos de parada y optimizando la adquisición de repuestos críticos. Esta justificación tecnológica resalta la

relevancia de utilizar herramientas de vanguardia para la mejora continua de los procesos y el desarrollo tecnológico en el ámbito agroindustrial.

1.6.3. Justificación social

La implementación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad en la empresa agroindustrial de procesamiento de castaña impactará positivamente en el ámbito social. La mejora de la disponibilidad y eficiencia de las máquinas electromecánicas permitirá mantener una producción constante y de calidad, lo que contribuirá a satisfacer la creciente demanda de castañas como alimento saludable y versátil en la sociedad. Además, al reducir las paradas no planificadas y mejorar el proceso de adquisición de repuestos, se optimizarán los recursos, reduciendo costos y favoreciendo la sostenibilidad económica de la empresa y, por ende, de la comunidad local que se beneficia de esta actividad económica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Paredes et al. (2018) presenta un plan de mantenimiento para los equipos industriales de una molinería. Realizaron diferentes etapas, incluyendo el diagnóstico del estado actual de los equipos, el diseño de la documentación necesaria para la toma de datos y la determinación del entorno de operación de los equipos. Como parte del análisis se diseñaron diferentes documentos para la documentación de los equipos, incluyendo la codificación de los equipos según su tipo, hojas de vida que registran las características y el historial de mantenimiento, órdenes de trabajo para los mantenimientos necesarios, reportes de fallos, fichas técnicas de los equipos y análisis de criticidad de los equipos para determinar su importancia y prioridad en la gestión de mantenimiento. Del cual concluye, que el plan de mantenimiento basado en condición crea una herramienta para supervisar y cuidar los componentes de los equipos, al mismo tiempo que ayuda a mitigar la gravedad de las fallas. El diseño del plan se basa en las condiciones y parámetros de los equipos, estableciendo límites de tiempo para el mantenimiento. Esto resalta la importancia del mantenimiento desde el inicio de la operación industrial, con el objetivo de reducir los costos diarios asociados a las reparaciones correctivas.

Muñoz et al. (2021) se enfocó en solucionar los problemas específicos encontrados en la línea de producción de conservas de atún en la Empresa EUROFISH de Manta mediante la implementación del programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en las máquinas de dicha línea. Empleando el análisis de criticidad y el análisis de efectos y modos de fallas (AMEF), se diseñó un plan de mantenimiento que incluye la codificación de los equipos, hojas de vida, órdenes de trabajo y análisis de criticidad. El indicador del tiempo promedio entre paradas (MTBF) reflejó una mejora significativa en la confiabilidad del equipo y en la calidad de los trabajos de mantenimiento, logrando una disponibilidad del 87% en la línea de producción. Se concluye que la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad resulta efectiva al mejorar la disponibilidad y prevenir fallas, recomendando el establecimiento de un inventario de repuestos, seguimiento de indicadores adicionales y la implementación del mantenimiento productivo total para una mayor eficiencia en la gestión de mantenimiento.

Campos et al. (2019) proponen una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) ampliada, basada en la norma SAE JA1011 y complementada con la taxonomía de equipos de acuerdo con la norma ISO 14224, el análisis de modos y causas de falla según la norma ISO 14224 y la utilización de la base de datos OREDA. Esta metodología incluye pasos adicionales, como la recopilación de información detallada del equipo, la aplicación de la norma ISO 14224 para uniformizar la información, el uso de bases de datos para identificar causas de falla y la evaluación de los efectos de falla mediante números de prioridad de riesgo (NPR) para priorizar las fallas. Además, se presenta un caso de aplicación para demostrar la eficacia de la metodología propuesta. El análisis de modos y causas de falla estructurada garantiza una adecuada aplicación de los diagramas de decisión, y la evaluación de los efectos de falla con NPR proporciona una rápida identificación de los efectos más críticos relacionados con las fallas del equipo. Al proponer como primer paso la recopilación de información y el análisis detallado del activo, se destaca la importancia de contar con datos de calidad y un conocimiento completo del equipo antes del análisis RCM. Asimismo, definir el contexto operativo y la taxonomía conforme a la norma ISO 14224 como pasos iniciales facilita la implementación de la metodología al proporcionar un entendimiento claro de los componentes y el contexto operativo antes de definir las funciones del equipo. En conclusión, esta metodología ampliada mejora la aplicación del RCM al enriquecer el análisis y la evaluación de los efectos de falla, lo cual se evidencia en el caso de aplicación donde se logró una identificación ágil de los efectos de falla más importantes.

Uribe (2020), tuvo como objetivo la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil, que experimentaba bajas disponibilidades debido a paradas prolongadas por mantenimiento correctivo. Se desarrolló un programa de mantenimiento mediante el análisis de criticidad y el análisis de modo y efecto de fallas, del cual concluye que seleccionar de manera adecuada las acciones a realizar permite lograr una significativa mejora en su disponibilidad. Los resultados destacan la importancia de prevenir las fallas en las máquinas operadoras para mejorar la productividad y eficiencia de la producción. La implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad y la capacitación de los operarios en mantenimiento autónomo demostraron ser efectivos, logrando una considerable mejora en la disponibilidad de la máquina remalladora. Además, se logró definir de manera efectiva el método del mantenimiento

centrado en la confiabilidad mediante equipos de trabajo y la asignación de acciones a cada trabajador mediante el método del árbol lógico de decisiones.

Alfaro (2019) presenta un estudio centrado en incrementar la confiabilidad de las máquinas de la empresa Zinsac del Perú S.A.C. mediante un sistema de gestión de mantenimiento basado en el riesgo de equipos. El trabajo de investigación describe el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la confiabilidad anual de las máquinas importantes de la empresa, que actualmente sufre de pérdidas operativas y económicas debido a un mantenimiento correctivo sin planificación y recursos adecuados. Se recopiló el historial de fallas de las máquinas y se realizó un análisis de criticidad para priorizar el tipo de mantenimiento preventivo a aplicar. El plan propone una combinación de actividades basadas en catálogos de fabricantes y técnicas predictivas. Se espera que la implementación del plan aumente la disponibilidad promedio anual en un 4.39% y la confiabilidad en un 0.25%. Del trabajo se concluye que el programa de gestión de mantenimiento basado en el riesgo generó soluciones mayoritariamente preventivas y mejoró significativamente los indicadores de gestión de mantenimiento globales, aumentando la disponibilidad a un rango de 97.01% a 97.56% y la confiabilidad entre 0.60% y 0.75%.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Mantenimiento centrado en confiabilidad

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es una metodología que busca garantizar el funcionamiento óptimo de activos físicos de acuerdo con las expectativas de los usuarios en su contexto operativo actual. Se enfoca en identificar y priorizar las tareas de mantenimiento para maximizar la confiabilidad y minimizar los riesgos. El RCM complementa al Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) al desarrollar estrategias específicas para abordar los fallos identificados, determinando el tipo de mantenimiento más adecuado para mitigar riesgos y asegurar el rendimiento a lo largo de la vida útil del equipo. La integración de ambas metodologías permite una gestión más fundamentada y efectiva del mantenimiento, optimizando la confiabilidad y disponibilidad de los activos industriales (Gonzales, 2005).

Dentro del enfoque de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, el programa de mantenimiento se diseña con la idea de restablecer la función del equipo en lugar de buscar alcanzar una condición ideal para dicho equipo (Duffua, 1998).

Para el proceso del RCM implica responder una serie de siete preguntas fundamentales sobre el bien o sistema que está siendo evaluado:

- ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo actual?
- ¿En qué aspecto no cumple adecuadamente con sus funciones?
- ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla en particular?
- ¿De qué manera afecta cada fallo al sistema?
- ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada fallo?
- ¿Qué acciones deben tomarse si no se encuentra un plan de acción adecuado?

Estas preguntas son esenciales para determinar las acciones de mantenimiento necesarias para asegurar que el bien o sistema continúe funcionando de acuerdo con las expectativas de los usuarios y dentro de su contexto operativo. El RCM es un enfoque sistemático que busca mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los activos industriales mediante una comprensión detallada de sus funciones y fallas potenciales (Moubray, 1997).

2.2.2. Análisis de modo y efecto de falla

2.2.2.1. Funciones y niveles de desempeño

El primer paso del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) consiste en definir las funciones y niveles de desempeño de cada bien o sistema dentro de su contexto operativo actual. Esto implica dos aspectos cruciales: determinar las funciones que los usuarios esperan que cumpla y asegurarse de que el bien sea capaz de iniciar con lo que se espera de él. Las funciones deseadas pueden clasificarse en dos categorías: funciones primarias, que son la razón principal por la que se adquirió el bien, como velocidad, rendimiento, capacidad de transporte o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente; y funciones secundarias, que van más allá de la función primaria e incluyen aspectos como seguridad, control, confort, integridad estructural, eficiencia, cumplimiento de normas ambientales y estética. La participación de los usuarios en este proceso es esencial, ya que conocen mejor cómo cada bien contribuye al bienestar físico y financiero de la organización en su conjunto. Si se realiza adecuadamente, este paso del RCM suele requerir

una cantidad significativa de tiempo y permite al personal encargado adquirir un profundo conocimiento sobre el funcionamiento real de los equipos (Moubray, 1997).

Es fundamental considerar lo que la empresa, planta o cliente realmente espera que el sistema haga dentro del contexto operacional específico en nuestra planta. Esto implica conocer los límites o estándares de funcionamiento necesarios para satisfacer las necesidades del cliente o de nuestra actividad. La rigurosidad en la toma de decisiones es esencial para garantizar una gestión efectiva del mantenimiento (Gonzales, 2005).

2.2.2.2. Fallas funcionales

Las fallas funcionales son determinantes en la definición de los objetivos de mantenimiento, ya que se basan en las funciones y expectativas de desempeño del bien considerado. Para alcanzar dichos objetivos, es crucial identificar los diferentes tipos de fallas que pueden ocurrir. En el contexto del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), se realizan dos niveles de identificación: primero, se investigan las circunstancias que llevan a un estado fallido; luego, se analizan las situaciones que provocan que el bien caiga en un estado de falla. Estos estados de falla, también conocidos como fallas funcionales, se refieren a situaciones en las que el bien no puede cumplir una función a un nivel de desempeño aceptable por el usuario. Esto incluye tanto la incapacidad total para funcionar como las fallas parciales, donde el bien sigue funcionando, pero a niveles inaceptables de desempeño o precisión, lo cual solo puede ser identificado una vez que las funciones y estándares de desempeño han sido definidos con claridad (Moubray, 1997).

Para implementar la técnica de RCM con éxito, es necesario identificar minuciosamente las diferentes posibilidades de fallo de cada elemento o equipo, definiendo fallo como la incapacidad de realizar las funciones requeridas o de mantenerse dentro de los márgenes de validez establecidos para satisfacer las necesidades del cliente (Gonzales, 2005).

2.2.2.3. Modos de falla

Una vez identificadas las fallas funcionales, el siguiente paso consiste en buscar todas las posibles causas de dichos errores, lo que se conoce como modos de fallas. Estos modos de fallas "razonablemente similares" incluyen eventos que han ocurrido en el mismo equipo o similares en el mismo contexto operativo, así como fallas que están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes o que son posibles en el contexto actual (Moubray, 1997).

Las listas tradicionales de modos de fallas abarcan deterioro, desgaste normal y problemas de diseño, pero también pueden incluir fallas provocadas por errores humanos, tanto por operarios como por personal de mantenimiento. Es crucial identificar detalladamente la causa raíz de cada falla para evitar desperdiciar tiempo y esfuerzo tratando solo los síntomas en lugar de las causas reales. Además, se debe evitar concentrarse en demasiados detalles durante el análisis para garantizar un uso eficiente del tiempo. El enfoque preciso en la identificación de causas de fallo permite manejar adecuadamente los posibles causantes de fallo en los equipos y optimizar el proceso de mantenimiento (Moubray, 1997).

La tabla 1 muestra diferentes tipos de fallos que pueden ocurrir en equipos o máquinas y su respectivo porcentaje en el total de fallos (Navarro, 1997).

Tabla 1. *Probabilidad de fallo según modo*

Modo de Fallo	Porcentaje
Mal diseño o errores de cálculo	12%
Defectos durante la fabricación	10.45%
Mal uso de la instalación	40%
Desgaste natural y envejecimiento	10.45%
Fenómenos naturales y otras causas	7%

De: (Navarro, 1997)

2.2.2.4. Efectos de falla

Se debe realizar la elaboración de una lista detallada de los efectos de las fallas, describiendo lo que sucede cuando ocurre cada modo de falla. Esta descripción incluye toda la información necesaria para evaluar las consecuencias de las fallas, como la presentación de evidencias cuando la falla ha ocurrido, su posible impacto en la seguridad ambiental, su influencia en la producción u operaciones, y las medidas requeridas para reparar la falla. Este análisis exhaustivo de modos y efectos de fallas proporciona oportunidades sorprendentes para mejorar el desempeño general, aumentar la seguridad y eliminar aspectos innecesarios (Moubray, 1997).

Es fundamental registrar rigurosamente los efectos de los fallos, tanto de manera individual como en casos de fallos múltiples asociados. Para lograr esto, se utilizan formatos específicos que permiten analizar qué sucede si ocurre una determinada avería, así como qué consecuencias tendría un modo de fallo o avería en particular. Esto permite al grupo de trabajo abordar de manera integral la casuística relacionada con los fallos y determinar con precisión sus consecuencias (Gonzales, 2005).

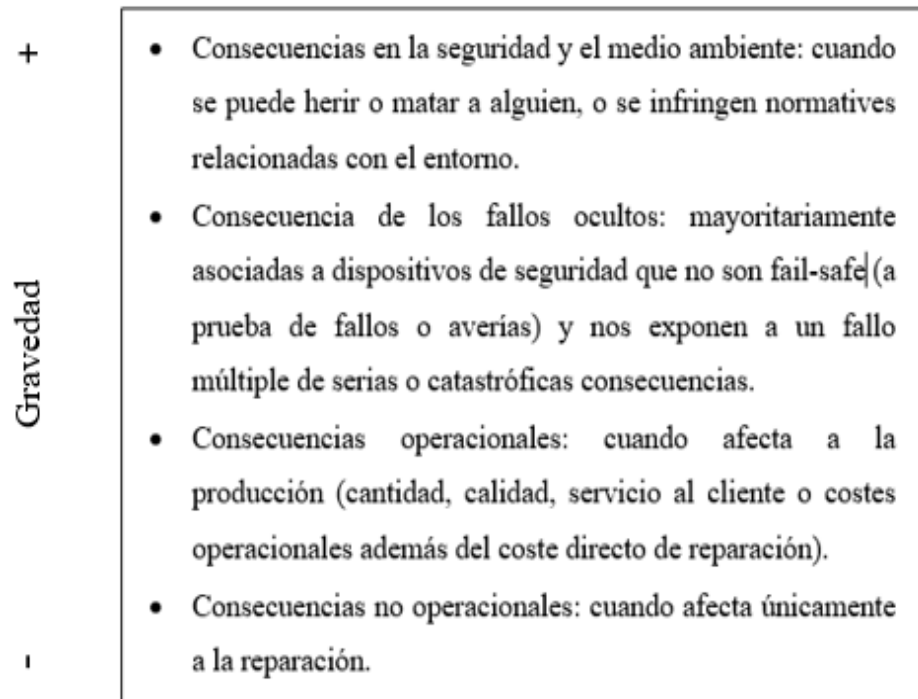
2.2.2.5. Consecuencias de falla

Las consecuencias de las fallas ejercen una gran influencia en la decisión de prevenirlas, ya que, si una falla resulta en consecuencias graves, se buscará evitarla a toda costa. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) destaca que la razón principal para implementar el mantenimiento proactivo es reducir o evitar las consecuencias negativas de las fallas (Moubray, 1997).

El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos: las consecuencias de fallas ocultas, que no causan un impacto directo pero pueden exponer a la empresa a fallas múltiples con consecuencias graves; las consecuencias medioambientales y de seguridad, que se presentan si una falla puede ocasionar daños o riesgos de muerte, o si viola normas medioambientales; las consecuencias operativas, que afectan la producción, rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente y costos operativos; y, por último, las consecuencias no operativas, que

incluyen fallas evidentes sin consecuencias significativas. Al reconocer la importancia de las consecuencias de las fallas, el RCM busca gestionar adecuadamente el mantenimiento y reducir los riesgos asociados a las mismas (Moubray, 1997).

Figura 1. *Tipos de consecuencias de falla*

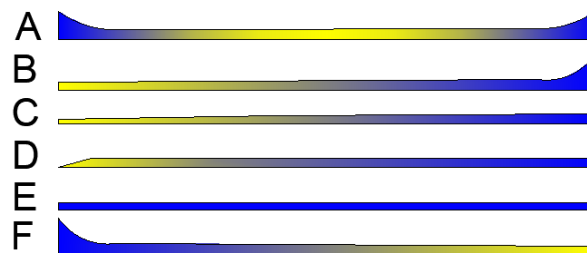


De: (Gonzales, 2005, p.90)

2.2.2.6. Tareas proactivas

Para tener en claro a que se refiere las tareas proactivas con respecto al RCM, se identifica seis modelos de falla.

Figura 2. *Patrones de falla*



De: (Moubray, 1997)

- a. Conocida como “curva de la bañera”, tiene una alta incidencia de fallas al inicio, probabilidad de falla constante o en crecimiento lento y zona de desgaste.
- b. Probabilidad de falla en aumento, no tiene incidencias altas de falla al inicio de su vida útil.
- c. Probabilidad de falla creciente sin una edad de desgaste clara.
- d. Baja probabilidad de falla al principio, que luego aumenta rápidamente a un nivel constante.
- e. Probabilidad de falla constante a cualquier edad, también conocidas como fallas casuales.
- f. Alta mortalidad infantil que disminuye gradualmente a una probabilidad de falla muy baja.

Los hallazgos desafían la idea de que siempre existe una relación entre confiabilidad y edad operativa. Esta creencia sugiere que examinar con mayor frecuencia un elemento reducirá su probabilidad de falla. Sin embargo, en la actualidad, esto es cierto solo en raras ocasiones. A menos que la probabilidad de fallas debido al desgaste sea dominante, los límites de edad tienen poco o ningún impacto en mejorar la confiabilidad de elementos complejos (Moubray, 1997).

Teniendo en cuenta ello, se definen las tareas en condición como la necesidad continua de prevenir ciertos tipos de fallas y la creciente incapacidad de las técnicas tradicionales para lograrlo. En cambio, se están desarrollando nuevos enfoques que se basan en detectar fallas potenciales, que son condiciones físicas identificables que indican una falla funcional inminente o en proceso. Estas técnicas permiten tomar medidas para evitar las consecuencias negativas si las fallas se materializan. El mantenimiento en-condición, que incluye el mantenimiento preventivo, basado en la condición y el monitoreo de condición, controla los elementos dentro de sus patrones normales de funcionamiento. Aunque son efectivas para gestionar fallas, su implementación adecuada puede requerir un gasto considerable de tiempo (Moubray, 1997).

2.2.2.7. Acciones de omisión

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) reconoce tres categorías principales para manejar las fallas en los equipos. Primero, se encuentran las tareas de detección de fallas, que implican realizar controles periódicos para identificar posibles fallas en las funciones ocultas del equipo. Luego, se considera el rediseño, que implica efectuar cambios internos en el sistema, incluyendo ajustes en el hardware y en los procedimientos. Finalmente, se encuentra el mantenimiento no programado, donde no se toman acciones preventivas y se permite que las fallas ocurran, para luego proceder con su reparación. Esta última opción se conoce también como "acudir a la falla". Cada una de estas categorías aborda diferentes aspectos de las fallas y permite tomar decisiones adecuadas para garantizar la confiabilidad y eficiencia del equipo (Moubray, 1997).

2.2.2.8. Proceso de selección de tareas de RCM

El proceso de selección de tareas en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) se basa en un criterio simple y claro para determinar qué tareas proactivas son viables y productivas en función de las características técnicas y las consecuencias de las fallas. Para las fallas ocultas, se realizarán tareas proactivas si reducen el riesgo de fallas múltiples a un nivel tolerable. En el caso de fallas con consecuencias medioambientales y de seguridad, se implementarán tareas proactivas si disminuyen significativamente el riesgo o lo eliminan por completo. Para las fallas con consecuencias operativas o no operativas, las tareas proactivas se justificarán económicamente según los costos de realizarlas frente a los costos de reparación. De esta manera, las tareas proactivas se aplican solo cuando son necesarias, reduciendo la carga laboral y permitiendo un mantenimiento más efectivo. En contraste, el método tradicional de desarrollo de políticas de mantenimiento no tiene en cuenta las consecuencias de las fallas y puede generar programas ineficientes y desperdicios. RCM también prioriza las necesidades de mantenimiento actuales de cada equipo antes de considerar posibles rediseños, asegurando un enfoque realista y práctico (Moubray, 1997).

2.2.2.9. Gestión de activos

La gestión de activos es fundamental para las organizaciones, ya que conlleva una serie de beneficios esenciales: reducción de costos operativos y de capital, mejora del rendimiento operativo, minimización de efectos negativos sobre la salud y seguridad, así como la preservación del medio ambiente. Además, contribuye a mantener y mejorar la reputación institucional, cumplir con regulaciones y normativas, y mitigar riesgos legales asociados. La clave reside en optimizar estos beneficios, considerando una combinación adecuada de actividades que se ajuste a los objetivos de la organización, promoviendo así el cumplimiento de metas y la eficiencia en la toma de decisiones (Davis, 2012).

Un sistema de registro de equipos adecuado es esencial para el funcionamiento eficiente del mantenimiento. Esto incluye la numeración física del equipamiento, la clasificación en grupos y tipos de equipos, la estructura del equipo para mantener un registro de sus sub ensambles, la ubicación física de cada pieza del equipo, la dependencia entre equipos para programar tareas de mantenimiento, la lista de repuestos y la historia de fallas para cada uno, y el registro del uso del equipo mediante medidores de horas o producción. La auditoría debe asegurarse de que estos aspectos estén implementados de manera efectiva para facilitar el trabajo del personal de mantenimiento y mejorar la eficacia general del sistema (Coetze, 1998).

2.2.3. Análisis de criticidad de activos

Las técnicas de evaluación de criticidad son herramientas valiosas para identificar y clasificar los activos de una instalación según su importancia, indicando dónde deben enfocarse los recursos humanos, económicos y tecnológicos. En otras palabras, el análisis de criticidad permite comprender la relevancia y las consecuencias de posibles fallos en los sistemas de producción, dentro del contexto operativo específico. El propósito de este análisis es establecer un método que facilite la jerarquización de procesos, sistemas y equipos en un proceso de producción complejo, permitiendo una gestión controlada y verificable. Existen diversos criterios para evaluar la criticidad de un activo de

producción, y la elección de estos criterios dependerá de las oportunidades y necesidades particulares de la organización (Parra & Crespo, 2012).

2.2.3.1. Norma ISO TC 251

El conjunto de estándares consta de tres normativas distintas: ISO 55000, ISO 55001 y ISO 55002.

Figura 3. Norma ISO 55000 para la gestión de activos



De: (International Copper Association, 2015)

El equilibrio óptimo entre costos, desempeño y riesgos se logra mediante sólidas prácticas de gestión de activos. Para aquellas compañías que aspiran a destacar en mercados altamente competitivos con estándares internacionales, la gestión de activos ofrece una visión holística para alcanzar los objetivos estratégicos, involucrando de manera integral todas las áreas de la organización y reconociendo la importancia de cada una de ellas en la generación de valor mediante el manejo adecuado de los activos. Específicamente, para empresas cuya operativa depende en gran medida de activos físicos, las normas ISO presentan una perspectiva novedosa que abarca el ciclo completo de vida del activo, desde su concepción hasta las responsabilidades que surgen tras su desmantelamiento. La implementación de estas prácticas conlleva beneficios notables a corto, mediano y largo plazo, incluyendo mejoras tangibles en el desempeño técnico, económico y financiero, reducción de riesgos y pasivos, transparencia, seguridad y trazabilidad de las inversiones, así como la promoción de una gestión de inversiones sostenible a lo largo del tiempo (International Copper Association, 2015).

2.2.3.2. Criticidad total por riesgo

Se trata de un análisis semicuantitativo, de enfoque práctico y accesible, basado en el concepto de riesgo. El riesgo se define como el resultado de combinar la frecuencia de ocurrencia de un fallo con su gravedad, así como se aprecia en las siguientes fórmulas: (Parra & Crespo, 2012).

$$CTR = FF \times C \quad (1)$$

Donde:

CTR: Criticidad total por riesgo

FF: Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinado)

C: Consecuencias de los eventos de fallos

El valor de las consecuencias se obtiene de:

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA \quad (2)$$

Siendo:

IO = Factor de impacto en la producción

FO = Factor de flexibilidad operacional

CM = Factor de costes de mantenimiento

SHA = Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente

A continuación, se exponen los factores ponderados para cada uno de los criterios que se evalúan en relación a la expresión del riesgo:

a) Factor de frecuencia de fallos (FF)

4: Frecuente: mayor a 2 eventos al año

3: Promedio: 1 a 2 eventos al año

2: Bueno: entre 0,5 a 1 evento al año

1: Excelente: menos de 0,5 eventos al año

b) Factores de consecuencias o impacto operacional (IO)

10: Pérdidas de producción superiores al 75%

7: Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%

5: Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%

3: Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%

- 1: Pérdidas de producción menor al 10%
- c) Impacto por flexibilidad operacional (FO)
 - 4: No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes
 - 2: Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios
 - 1: Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños
- d) Impacto en costes de mantenimiento (CM)
 - 2: Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 dólares
 - 1: Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 dólares
- e) Impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA)
 - 8: Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos
 - 6: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración
 - 3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas
 - 1: No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales

La elección de los factores ponderados se efectúa durante reuniones de trabajo donde participan diversas personas involucradas en el contexto operativo del activo bajo estudio, como personal de operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y medio ambiente. Posteriormente, se procede a seleccionar los sistemas a priorizar y se lleva a cabo una sesión de lluvia de ideas para asignar a cada equipo los valores correspondientes de los factores que conforman la expresión de “criticidad total por riesgo”. Para obtener el nivel de criticidad de cada equipo o sistema, se toman los valores totales de los dos factores

principales: la frecuencia y las consecuencias de los fallos, y se representan en una matriz de criticidad 4x4, donde la frecuencia de fallos se posiciona en el eje vertical y las consecuencias en el eje horizontal, teniendo en cuenta el resultado final de la expresión $(IO \times FO) + CM + SHA$ (Parra & Crespo, 2012).

Figura 4. Cuadro de criticidad total por riesgo

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

De: (Parra & Crespo, 2012)

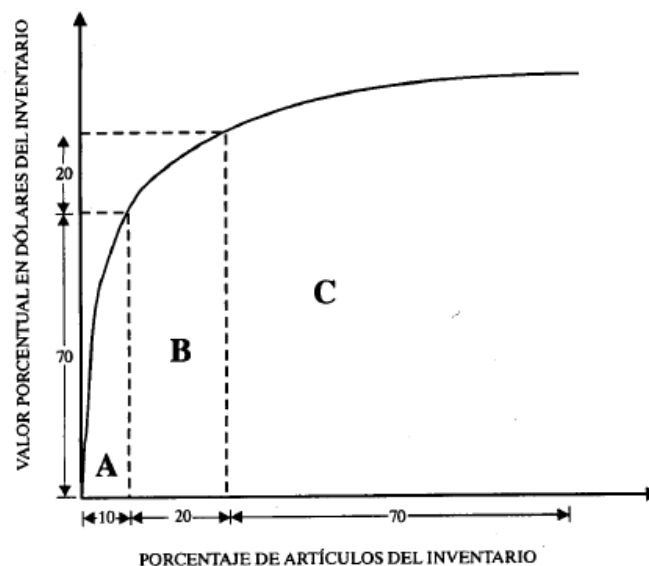
2.2.4. Gestión de almacén de repuestos

En un escenario ideal, se contaría con una bodega que almacene todos los repuestos necesarios en caso de fallo de algún componente. De esta manera, se evitarían interrupciones innecesarias en el funcionamiento de los equipos debido a los plazos de entrega de repuestos. No obstante, es importante tener en cuenta que mantener los repuestos almacenados conlleva costos asociados, como los gastos de almacenamiento y el costo de oportunidad por el capital inmovilizado (Meruane, 2014).

El control sistemático del almacén de mantenimiento involucra varios elementos esenciales, como la solicitud de material (requisición), el registro del inventario, la selección de los artículos a almacenar, la determinación de los puntos de reorden y las cantidades de los pedidos. La requisición es un paso crucial para retirar material del almacén y es fundamental para llevar un registro preciso de los costos y el control de inventarios. El control de inventarios se basa en registros continuos donde se registran las recepciones y los retiros, lo que permite calcular la tasa de demanda de los artículos. Es práctica común tener siempre

disponibles las piezas y materiales para el mantenimiento de rutina, mientras que, para las reparaciones generales y el mantenimiento no rutinario, se establecen controles para optimizar la inversión en refacciones. El análisis ABC, fundamentado en la ley de Pareto, se emplea para clasificar el inventario de manera más eficiente, identificando los artículos más significativos en función de su valor. Para establecer un sistema efectivo de inventarios, se realiza un seguimiento detallado de cada artículo entregado y se procede a realizar pedidos adicionales cuando los niveles de inventario alcanzan un nivel predefinido (Duffua, 1998).

Figura 5. Diagrama de Pareto



De:(Duffua, 1998)

Un adecuado sistema de control de stock es esencial para gestionar el inventario de repuestos y las emisiones/retornos desde él. Este sistema debe ser considerado adecuado para el uso de la empresa y estar interrelacionado con el sistema de mantenimiento. Los usuarios de mantenimiento deben tomar decisiones cuidadosas al crear ítems de stock, considerando la inversión y las implicancias económicas. Asimismo, deben determinar los niveles generales de stock de los ítems de mantenimiento mediante un análisis de las ocurrencias "fuera de stock" y la inversión en el stock. Estos niveles deben ser monitoreados de forma continua para detectar anomalías y se debe realizar una revisión anual de los ítems que no se mueven durante un año calendario. Además, es crucial monitorear

mensualmente la rotación de artículos y las frecuencias de "fuera de stock" tanto por el administrador de almacenes como por los usuarios de mantenimiento (Coetze, 1998).

2.2.5. Tipos de mantenimiento

2.2.5.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo implica resolver las averías a medida que se presentan, siendo los usuarios quienes notifican los problemas en los equipos y el personal de mantenimiento se encarga de las reparaciones. No obstante, este tipo de mantenimiento conlleva desafíos significativos. En muchas ocasiones, los usuarios identifican las averías cuando necesitan utilizar el equipo, lo que puede llevar a ignorar señales previas de fallos y generar daños mayores al llevar el equipo al límite de su funcionamiento. En algunos casos, la prioridad es restaurar rápidamente la operatividad del equipo, relegando el análisis de las causas subyacentes de la avería. Además, puede haber falta de personal disponible para abordar reparaciones inesperadas, mientras que contar con suficientes especialistas y un amplio almacén de repuestos aumentaría los costos de mantenimiento. A pesar de las desventajas, el mantenimiento correctivo es inevitable, ya que siempre habrá averías impredecibles que requerirán reparación inmediata (Navarro, 1997).

Cuando las medidas preventivas para un modo de fallo específico no son viables o efectivas según el enfoque RCM, se deben considerar acciones de mantenimiento correctivas (reactivas). Estas acciones se clasifican en dos categorías principales. La primera es el rediseño, que se aplica cuando no es posible encontrar una acción preventiva que reduzca adecuadamente la probabilidad de ocurrencia de los modos de fallo que afecten la seguridad o el medio ambiente. En este caso, se busca desarrollar modificaciones o rediseños en la estrategia de mantenimiento o en el propio modo de fallo para minimizar o eliminar las consecuencias. La elección de esta opción implica realizar una evaluación económica justificativa. La segunda categoría son las Actividades de Mantenimiento No Programado, que se adoptan cuando no se encuentran acciones preventivas más económicas que los posibles efectos derivados de los

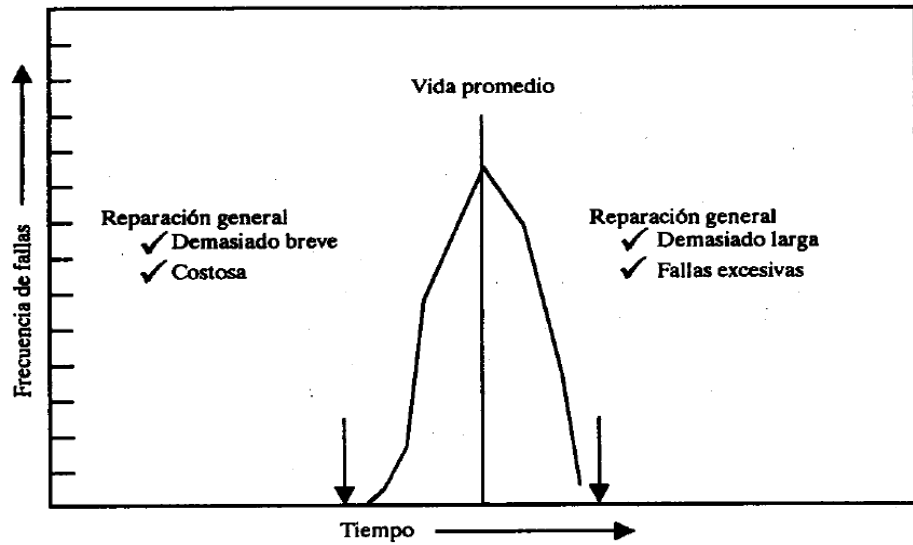
modos de fallos con consecuencias operacionales o no operacionales. En esta situación, se decide esperar a que ocurra el fallo y actuar de forma reactiva ante la situación (Parra & Crespo, 2012).

2.2.5.2. Mantenimiento preventivo

La metodología RCM establece cuatro categorías de actividades de mantenimiento preventivas. En primer lugar, se encuentran las tareas programadas en función de la condición (predictivas), que permiten identificar modos de fallo en desarrollo y tomar medidas preventivas antes de que se manifiesten. Esto se logra mediante la supervisión de indicadores como vibraciones, grietas o puntos calientes. Las tareas de reacondicionamiento son acciones periódicas destinadas a restaurar el activo a su estado original, llevadas a cabo antes de que alcance su vida útil. Por otro lado, las tareas de sustitución-reemplazo programada implican reemplazar componentes usados antes de que lleguen al punto de fallo. Por último, las tareas de búsqueda de fallos ocultos se enfocan en minimizar los efectos de fallos múltiples mediante la verificación periódica del correcto funcionamiento de funciones ocultas (Parra & Crespo, 2012).

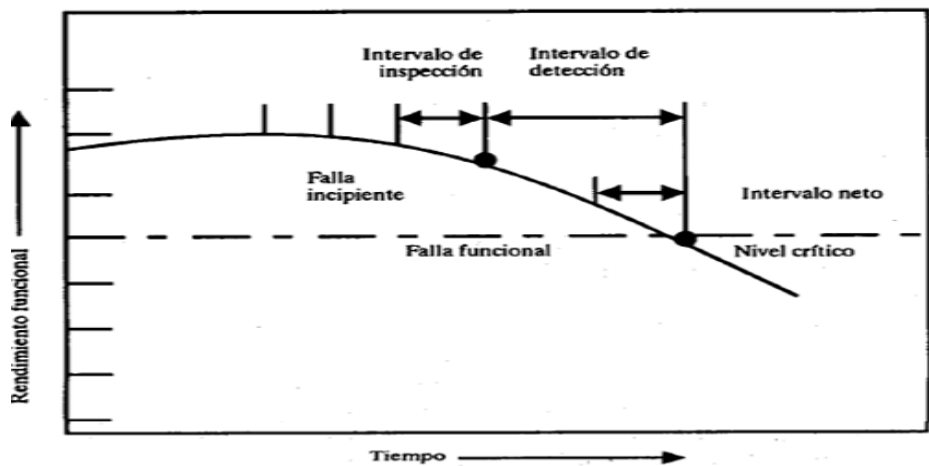
El mantenimiento preventivo se enfoca en determinar qué tareas realizar para evitar fallas. Si el mecanismo de falla está relacionado con el tiempo o el desgaste, las tareas se basan en el tiempo, como restablecer o reemplazar componentes periódicamente. Si la probabilidad de falla es constante, las tareas se centran en mediciones y no en restauraciones. Algunos estudios muestran que la probabilidad de falla es constante con la edad, excepto en el período inicial (mortalidad infantil) debido a posibles errores. Una vez corregidos, las fallas ya no dependen de la edad. Por lo tanto, se deben seleccionar tareas adecuadas basadas en el mecanismo de falla para lograr un mantenimiento efectivo (Duffua, 1998).

Figura 6. Reparación general basada en tiempo



De: (Duffua, 1998)

Figura 7. Mantenimiento basado en la condición

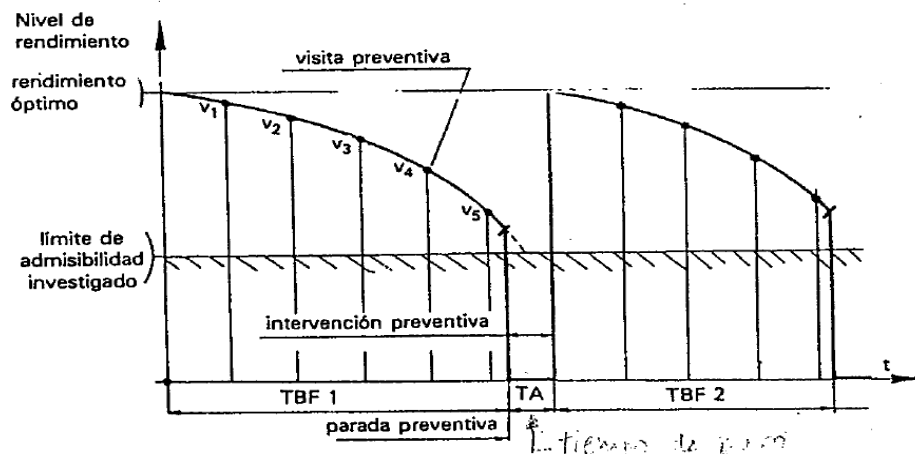


De: (Duffua, 1998)

El objetivo principal del mantenimiento preventivo es incrementar la confiabilidad del equipo, disminuyendo los fallos durante su funcionamiento y prolongando su vida útil efectiva. Asimismo, busca optimizar la organización de las tareas y las relaciones con la producción al regular y reducir la carga laboral. Facilita el manejo adecuado de los inventarios al prever los consumos necesarios. Además, garantiza la seguridad al evitar situaciones de emergencia peligrosas causadas por fallas imprevistas. En general, su enfoque radica en reducir los eventos

fortuitos y mejorar el ambiente laboral, ya que las averías inesperadas siempre generan tensiones y dificultades (Duffua, 1998).

Figura 8. Ley de degradación investigada



De: (Monchy, 1990)

2.2.6. Política de mantenimiento

Antes de abordar la gestión de los trabajos de mantenimiento, es fundamental establecer la política de mantenimiento, que implica definir los objetivos técnicos y económicos del servicio, así como los métodos y recursos necesarios para alcanzarlos. La figura que ilustra el proceso de implementación de esta política incluye etapas como la obtención de información relevante sobre los equipos y su estado, la fijación de objetivos en acuerdo con la dirección técnica y producción, y la determinación del tipo de mantenimiento a aplicar. Esta decisión puede variar según la instalación y requiere considerar múltiples factores como la criticidad del equipo, su complejidad, costos, seguridad, entre otros. Aunque las recomendaciones de fabricantes son útiles como punto de partida, se aconseja utilizar procedimientos sistemáticos para establecer la mejor combinación de acciones preventivas y correctivas en cada caso específico (Díaz, 2007).

2.2.7. Gestión y planificación del mantenimiento

El primer paso para iniciar la gestión del mantenimiento es contar con un inventario detallado y clasificado de todos los equipos, utilizando un sistema arborescente y un código que facilite su identificación. En segundo lugar, se debe recopilar información relevante para el mantenimiento, incluyendo condiciones de trabajo, diseño, recomendaciones del fabricante y aspectos legales, entre otros.

La selección de la política de mantenimiento es el siguiente paso, utilizando tanto métodos cuantitativos como cualitativos, y en ocasiones gráficos de decisión para optimizar la elección. A continuación, se establece el programa de mantenimiento preventivo, agrupando tareas por familias o tipos de equipos para optimizar la mano de obra. Para el mantenimiento correctivo, se recomienda tipificar trabajos repetitivos y desarrollar procedimientos de reparación para una planificación más eficiente. Finalmente, se completa el plan de mantenimiento definiendo la organización necesaria, incluyendo la estructura de recursos humanos, administrativa y sistemas de planificación y programación de trabajos (Díaz, 2007).

Un sistema de gestión de órdenes de trabajo eficiente es fundamental para mantener un registro adecuado de los cambios y trabajos realizados en los equipos. Este sistema debe ser considerado adecuado para el uso de la empresa. Las tareas de mantenimiento deben definirse claramente, y las órdenes de trabajo deben agrupar estas tareas para facilitar el control y el seguimiento de los costos. Es esencial estructurar las órdenes de trabajo en diferentes niveles para organizar y controlar eficazmente el trabajo de mantenimiento. Estas órdenes de trabajo deben formar la base para la colección de costos de mantenimiento. Cada orden de trabajo se divide en tareas específicas que deben completarse, y se emiten tarjetas de trabajo para cada tarea. Además, es crucial proporcionar la documentación y la información adecuadas para que los trabajadores realicen las tareas de manera correcta y segura. La retroalimentación de los datos del trabajo entre los trabajadores y la administración del mantenimiento debe ser puntual y precisa para asegurar la calidad e integridad de los datos del sistema de mantenimiento (Coetze, 1998).

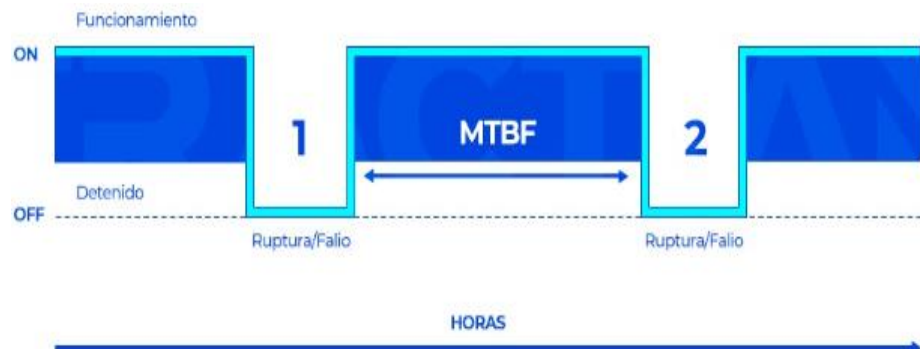
2.2.8. Indicadores de mantenimiento

2.2.8.1. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Esta técnica implica calcular el tiempo promedio de buen funcionamiento entre cada falla de un equipo reparable, lo que la convierte en una herramienta efectiva para evaluar la confiabilidad de la máquina (Suazo, 2020).

$$MTBF = \frac{\sum \text{Horas de trabajo en buen estado}}{N^{\circ} \text{ de averías para el mant. correctivo}} \quad (3)$$

Figura 9. Gráfica representativa del MTBF



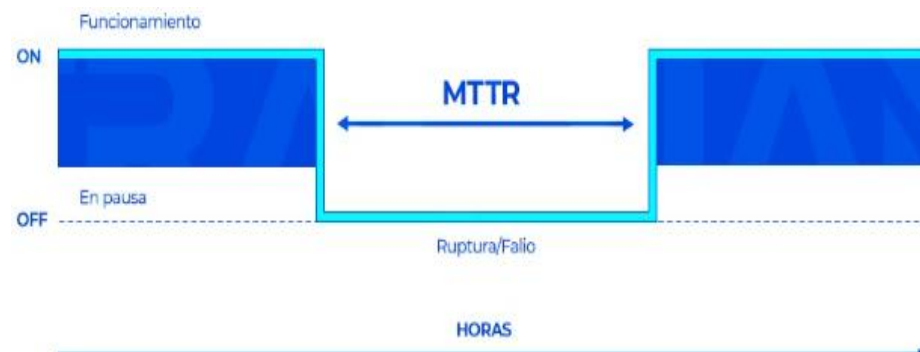
De: (Suazo, 2020)

2.2.8.2. Tiempo medio para reparación (MTTR)

Es un indicador vinculado a la mantenibilidad, que refleja la habilidad del equipo de mantenimiento para localizar y restaurar un equipo a su estado operativo después de una falla. En otras palabras, el MTTR representa el tiempo promedio que se requiere para realizar una reparación exitosa (Suazo, 2020).

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tiempos de reparación}}{N^{\circ} \text{ de intervenciones realizadas}} \quad (4)$$

Figura 10. Gráfica representativa del MTTR



De: (Suazo, 2020)

2.2.8.3. Disponibilidad

La disponibilidad es un indicador que representa el tiempo en el que un componente se encuentra operativo. Está influenciado tanto por la confiabilidad como por la mantenibilidad del componente (Meruane, 2014).

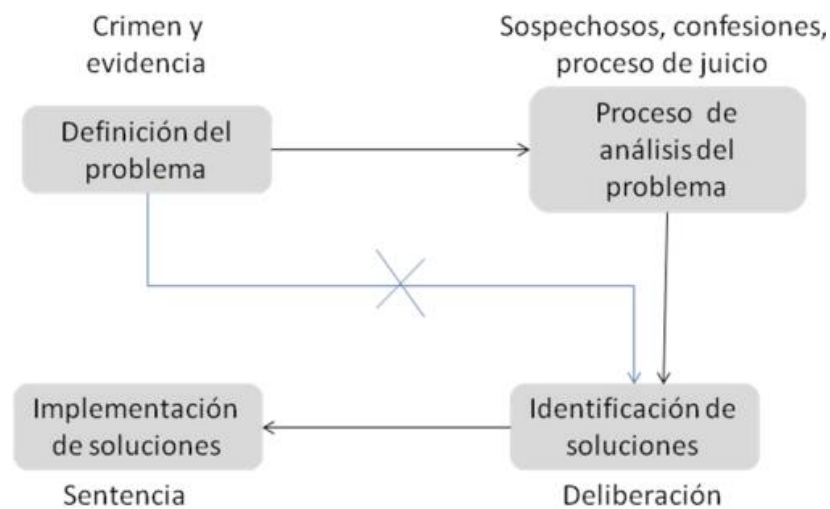
Es la capacidad de un elemento para cumplir una función determinada en un momento específico o a lo largo de un intervalo de tiempo. Es expresada como el porcentaje del tiempo en que el activo se mantiene en condiciones de operar durante un periodo dado (Suazo, 2020).

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100 \quad (5)$$

2.2.9. Análisis causa raíz (ACR)

El proceso de Análisis de Causa Raíz aborda la evaluación de la fiabilidad desde una perspectiva integral, considerando múltiples factores que influyen en ella: aspectos humanos, operativos, financieros, culturales y organizacionales. Para lograr que la fiabilidad sea realmente parte de la cultura, es necesario que todos, y no solo los equipos de mantenimiento, asuman la responsabilidad de su promoción y mejora (Parra & Crespo, 2012).

Figura 11. Los 4 pasos básicos para la solución de problemas



De: (Parra & Crespo, 2012)

El uso del mismo concepto de modos de fallos en ambas metodologías ofrece la ventaja de una integración efectiva entre el análisis de fallos y la planificación de programas de mantenimiento. Al definir los modos de fallos, se establece una base de datos común de incidentes que servirá como origen para la creación de indicadores estadísticos (fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad). Estos indicadores, a su vez, desempeñarán un papel crucial en el proceso de optimización del mantenimiento, permitiendo una toma de decisiones más

informada y una mejora en la eficiencia general del sistema de mantenimiento (Parra & Crespo, 2012).

2.2.10. Control de costos

Se requiere un sistema de control de costos adecuado para gestionar todas las actividades relacionadas con presupuestos y control de gastos. Este sistema debería considerarse adecuado para el uso de la empresa. Para ello, es necesario incorporar un sistema eficiente de presupuestos que se base en la historia del mantenimiento y utilice técnicas de pronóstico para crear un presupuesto cuantificado. La distribución de costos debe realizarse mediante códigos de distribución y costos de tareas para facilitar el control y el reporte de costos por responsabilidad, área geográfica, equipo y tarea. El sistema debe proporcionar información en formatos que permitan tomar decisiones correctivas, acumulando y presentando los costos actuales en reportes comparados con los presupuestos. Además, se deben utilizar indicadores de costo, gráficos y técnicas de tendencia para evaluar los costos. Es fundamental que los costos de mantenimiento se mantengan en un nivel consistentemente bajo para asegurar una gestión eficiente (Coetze, 1998).

2.2.11. Monitoreo y control de equipos

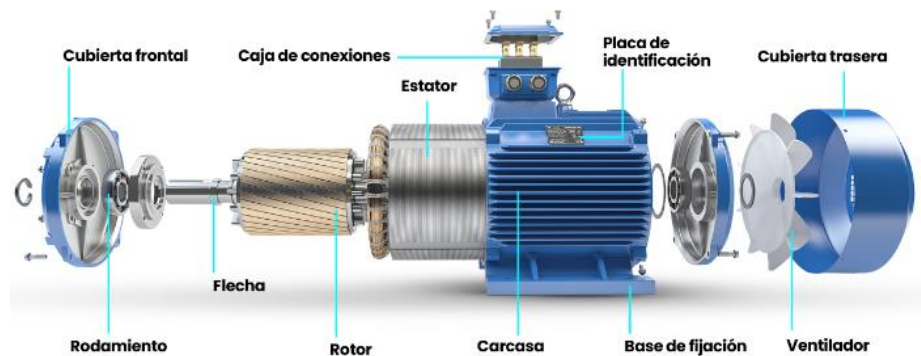
Un sistema adecuado de monitoreo de la condición del equipo y del rendimiento es esencial para el mantenimiento eficiente. Este sistema permite el monitoreo y la inspección regulares del equipo, así como la identificación de tendencias significativas para acciones preventivas. También se monitorean parámetros clave, como la disponibilidad, utilización y tasa de producción del equipo, junto con los resultados del monitoreo de condición. La implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) se considera la mejor técnica para definir políticas de mantenimiento. El análisis de datos de fallas es un prerrequisito para aplicar el RCM, y la eliminación de fallas recurrentes es crucial para el éxito del departamento de mantenimiento, requiriendo un procedimiento formal para identificar, eliminar y controlar tales fallas. La efectividad del sistema de monitoreo y la eliminación de fallas recurrentes aseguran altos niveles de disponibilidad y tasas de producción del equipo (Coetze, 1998).

2.2.12. Partes de equipos electromecánicos y su mantenibilidad

2.2.12.1. Motores eléctricos trifásicos

Se trata de un dispositivo eléctrico giratorio que tiene la capacidad de transformar la energía eléctrica trifásica recibida en energía mecánica. La energía eléctrica trifásica crea campos magnéticos rotatorios dentro del bobinado del estator, que es la parte inmóvil del motor (Intecap, 2002).

Figura 12. Partes generales de un motor trifásico



De: (Tractian, 2023)

El mantenimiento del motor incluye varios pasos importantes. En primer lugar, es fundamental asegurarse de que el motor esté desconectado de la energía antes de realizar cualquier trabajo de mantenimiento. Además, es esencial utilizar la ropa de trabajo adecuada, como bata, lentes protectores y guantes, junto con las herramientas apropiadas para garantizar la seguridad durante el proceso. También se debe eliminar cualquier polvo o suciedad acumulada en la carcasa del motor, ya que esto podría reducir la circulación de ventilación y afectar su funcionamiento. Es importante verificar que no haya aceite o grasa derramada en las tapaderas, cojinetes o chumaceras, ya que esto podría afectar el rendimiento del motor. Por último, se debe revisar la cantidad adecuada de aceite en los cojinetes o chumaceras, aunque este procedimiento requiere desarmar el motor para llevar a cabo la limpieza de los cojinetes. Estos pasos garantizan un mantenimiento efectivo y seguro del motor para su óptimo funcionamiento (Intecap, 2002).

Realizar un monitoreo constante y evaluación periódica de los niveles sonoros posibilita la detección temprana de posibles fallos o elementos que no se encuentran dentro de los parámetros habituales. Esta técnica se basa en la medición de las características del ruido bajo condiciones normales y utiliza esta información como referencia para identificar cualquier desviación o situación anómala. Asimismo, puede emplearse como un primer paso antes de llevar a cabo un análisis más exhaustivo de las vibraciones, brindando la oportunidad de implementar un mantenimiento proactivo y eficaz (Duffua, 1998).

2.2.12.2.Reductor de velocidad corona y sin fin

Es un tipo de dispositivo mecánico utilizado para reducir la velocidad de rotación entre dos ejes no paralelos. Se compone de un engranaje helicoidal (sin fin) montado en un eje y una rueda dentada cónica (corona) en el otro eje. La combinación de estos engranajes permite una transmisión suave y eficiente del movimiento, proporcionando una reducción significativa en la velocidad de salida. Este tipo de reductores se caracteriza por su alta relación de reducción, su funcionamiento silencioso y su capacidad para transmitir grandes cargas con una eficiencia notable. (Darle W. Dudley, 1984)

La correcta lubricación es esencial para el rendimiento y la vida útil de los reductores y motorreductores. Estos equipos se lubrican mediante baño de aceite y cuentan con indicadores de nivel, como mirillas o tapones hexagonales, para verificar el nivel adecuado de lubricante cuando el reductor está detenido y en la posición de trabajo. Antes de comenzar la operación, es importante asegurarse de que el reductor tenga suficiente aceite según las recomendaciones. La temperatura ambiente alrededor de la carcasa es aproximadamente 15°C más baja que la temperatura de funcionamiento, que corresponde a la temperatura del aceite. Para los reductores WEG-CESTARI, la temperatura de funcionamiento varía entre 18°C como mínimo y 90°C como máximo en condiciones normales de operación. Durante las primeras 500 horas, se recomienda inspeccionar la calidad del aceite y, si está contaminado o presenta partículas, se debe reemplazar. Durante el cambio de aceite, se

aconseja realizar el drenaje mientras aún está caliente para facilitar el proceso de drenaje y limpieza. En ambientes con condiciones desfavorables como alta humedad, agresividad o polvo, puede ser necesario reducir el intervalo de cambio de aceite, en este caso, se sugiere consultar las recomendaciones. Durante los cambios de aceite, es esencial utilizar el mismo tipo de aceite indicado en la placa del reductor y especificado en el manual, evitando la mezcla de aceites de diferentes tipos y fabricantes. (WEG, 2019).

Tabla 2. *Tiempo para el cambio de aceite según temperatura*

Temperatura de operación	Aceite mineral CLP	Aceite sintético CLP HC	Aceite sintético CLP PG
80	5000 hrs	15000 hrs	25000 hrs
85	3500 hrs	10000 hrs	18000 hrs
90	2500 hrs	7500 hrs	13000 hrs
95	-	6000 hrs	8500 hrs
100	-	3800 hrs	6000 hrs
105	-	2500 hrs	4000 hrs
110	-	2000 hrs	3000 hrs

De: (WEG, 2019)

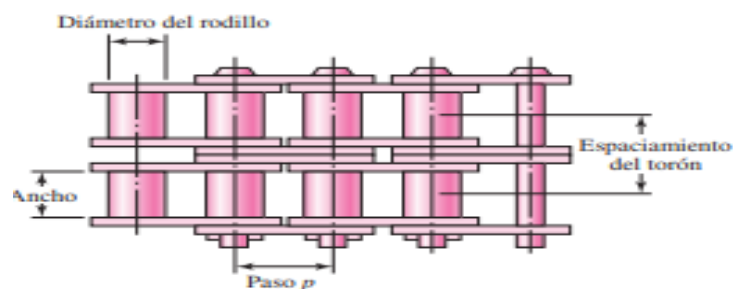
Durante la inspección del reductor, es esencial verificar cuidadosamente varios aspectos. En primer lugar, se debe examinar minuciosamente la pintura en busca de riesgos potenciales, áreas peladas o imperfecciones. Luego, es importante evaluar la presencia de oxidación en el reductor y sus accesorios, asegurándose de identificar cualquier punto u área oxidados. Además, se debe comprobar si existen fugas de aceite en los sellos, tapas y juntas para garantizar un adecuado sellado. También, se debe revisar si las piezas mecanizadas están protegidas con aceite protector para evitar daños. Verificar que todos los componentes

necesarios estén presentes en el ensamblaje es otra tarea crucial. Asimismo, se debe inspeccionar el anillo protector de goma para asegurarse de que el respiradero esté adecuadamente sellado. Por último, es fundamental evaluar las condiciones de almacenamiento y confirmar que el reductor haya sido empaquetado según las instrucciones del manual del producto para garantizar su óptimo estado (WEG, 2019).

2.2.12.3. Transmisión por cadena

Las transmisiones de cadena ofrecen características fundamentales como una relación constante sin deslizamiento ni arrastre, una vida útil prolongada y la capacidad de impulsar múltiples ejes desde una sola fuente de potencia. Estas cadenas de rodillos son generalmente resistentes a la tensión, pero suelen fallar debido a la larga duración del servicio, ya sea por desgaste de los rodillos sobre los pasadores o por fatiga de las superficies de los rodillos. Las capacidades de las cadenas se determinan considerando diversos factores, como 15,000 horas a carga completa, torón único, proporciones ANSI, factor de servicio unitario, 100 pasos en longitud, lubricación recomendada, elongación máxima del 3%, ejes horizontales y dos catarinas de 17 dientes. Es crucial mantener una lubricación adecuada para lograr una vida útil larga y sin problemas, siendo la lubricación por goteo o por baño poco profundo satisfactoria. Se debe utilizar un aceite mineral medio o ligero sin aditivos, y es mejor evitar aceites pesados o grasas debido a su alta viscosidad que dificulta la entrada en las holguras pequeñas de las partes de la cadena, a menos que las condiciones sean poco habituales (Budynas & Nisbett, 2018).

Figura 13. Estructura de transmisión por cadena



De: (Budynas & Nisbett, 2020)

2.2.12.4. Transmisión por fajas y poleas

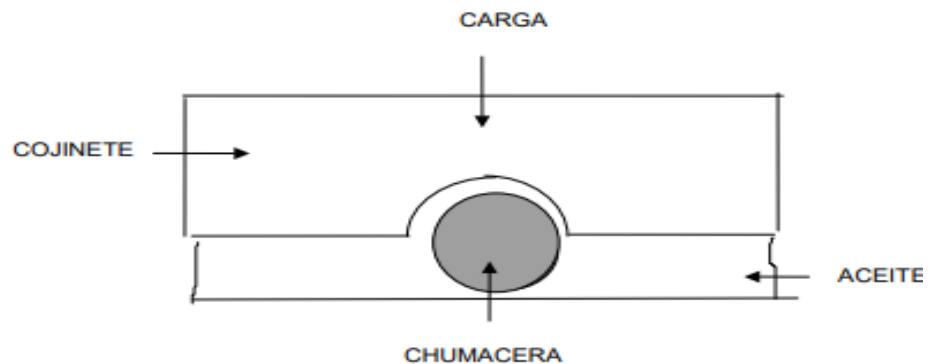
Las poleas con distintos diseños se utilizan en combinación con diferentes tipos de bandas, como planas, redondas o en V. Para que el sistema funcione correctamente, es necesario mantener una distancia mínima entre los ejes de las poleas, lo cual varía según el tipo y tamaño de la banda. Algunas características de las bandas incluyen su capacidad para ser utilizadas en distancias largas entre centros, aunque en la mayoría de los casos hay un cierto grado de deslizamiento y fluencia, lo que resulta en una velocidad angular no constante entre los ejes. Las bandas planas están hechas de materiales como uretano, tela impregnada de caucho y refuerzos de acero o cuerdas de nylon para soportar la tensión. Son silenciosas, eficientes a altas velocidades y pueden transmitir mucha potencia a largas distancias. Por otro lado, las bandas en V se fabrican con tela y cuerda impregnada de caucho y se utilizan en combinación con poleas similares y distancias más cortas entre centros. Las bandas en V son menos eficientes que las planas, pero se pueden usar varias en una sola polea para formar un sistema múltiple. Las modernas transmisiones de banda plana presentan ventajas significativas en términos de eficiencia, alrededor del 98%, mientras que las de banda en V pueden variar entre 70% y 96%. Los fabricantes proporcionan especificaciones para las bandas, como la tensión permisible y la vida útil, que generalmente alcanza varios años. La severidad de la flexión en la polea y su efecto en la vida de la banda se tiene en cuenta mediante un factor de corrección de la polea (Budynas & Nisbett, 2020).

2.2.12.5. Chumaceras

El principio hidrodinámico se aplica adecuadamente a la lubricación de las chumaceras, donde la carga es radial y se permite un pequeño espacio entre la chumacera y sus cojinetes para formar una película en forma de cuña. Cuando una chumacera soporta su cojinete, la fuerza ejercida se concentra en la parte superior de la chumacera. Inicialmente, la falta de una película de lubricación adecuada genera alta fricción, pero cuando la chumacera empieza a girar, el aceite se desliza hacia el fondo, favoreciendo una mayor separación. Esto bombea el aceite hacia la parte

superior de la chumacera, donde más se necesita, creando una cuña de líquido que evita el contacto metálico. En un estado de equilibrio, el flujo de entrada desplaza el cojinete hacia un lado, reduciendo el grosor de la película en la parte superior. En el caso de carga invertida, la posición de la chumacera debe invertirse para mantener la película protectora en el fondo (Gooding, 2009).

Figura 14. *Aplicación de aceite a una chumacera*



De: (Gooding, 2009)

2.2.12.6. Rodamientos

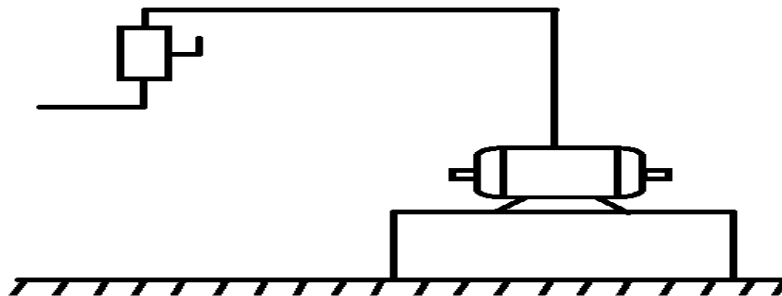
Los rodamientos son diseñados para resistir cargas radiales, de empuje o una combinación de ambas. Cuando los rodamientos de contacto giran, se generan esfuerzos en el anillo interior, los elementos rodantes y el anillo exterior. Si se mantienen limpios, lubricados adecuadamente, montados y sellados para evitar la entrada de partículas, y se operan a temperaturas razonables, la fatiga del metal será la única causa de falla. La vida del rodamiento se puede cuantificar mediante el número de revoluciones o horas de uso hasta que aparezcan los signos iniciales de fatiga. Es esencial tener en cuenta que la vida del rodamiento es una variable estocástica con distribución y parámetros estadísticos asociados. La falla por fatiga implica el descascarado de las superficies de soporte de la carga (Budynas & Nisbett, 2020).

2.2.12.7. Interruptor termomagnético

Los interruptores termomagnéticos son dispositivos mecánicos que tienen la capacidad de manejar y cortar corrientes en situaciones anómalas que podrían causar daños a la instalación, como cortocircuitos y sobrecargas (Baisón, 2010).

Un interruptor termomagnético tiene la función de abrir y cerrar un circuito similar a las cuchillas desconectadoras, pero con la particularidad de poder abrir automáticamente cuando la corriente excede un valor preestablecido. Una vez que estos interruptores se activan, deben restablecerse manualmente, evitando la necesidad de utilizar fusibles. Las normas técnicas para instalaciones eléctricas requieren que las navajas del desconectador estén colocadas de manera que, al abrirse, sigan la dirección de la gravedad (Intecap, 2002).

Figura 15. Esquema simple de conexión de un interruptor termomagnético a un motor



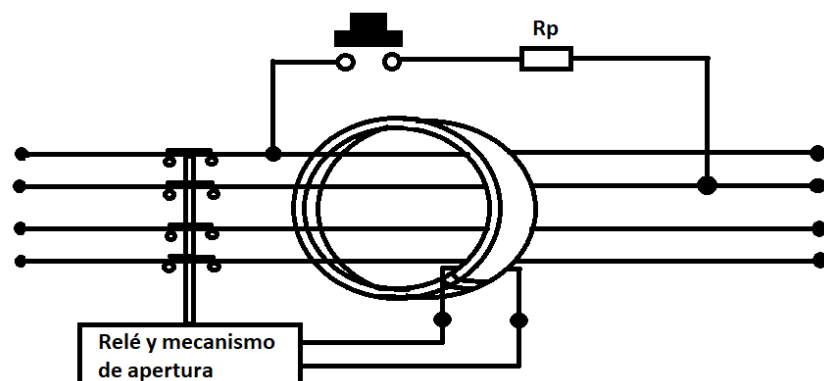
De: (Baisón, 2010)

2.2.12.8. Interruptor diferencial

Es un dispositivo que protege contra contactos directos e indirectos y tiene como función principal monitorear la instalación eléctrica para desconectarla automáticamente ante corrientes de defecto que puedan representar riesgos para las personas. Estas corrientes de defecto pueden surgir debido a diversos factores, como defectos de aislamiento, contactos fortuitos, tocar partes metálicas con tensión, falsos contactos o

errores de conexión. El sistema de detección se basa en un núcleo toroidal ferromagnético por donde circulan los conductores activos, generando un flujo magnético que se anula en condiciones normales y adquiere un valor específico ante una corriente de defecto a tierra. Si se detecta un problema, se produce una fuerza electromotriz en la bobina auxiliar del diferencial, activando su bobina de disparo para cortar el circuito. En resumen, el interruptor diferencial es un transformador de corriente que controla la suma de las corrientes a través del núcleo toroidal para detectar cualquier desequilibrio y proteger la instalación eléctrica. Todo esto se encuentra en un bloque compacto que forma el interruptor diferencial (Baisón, 2010).

Figura 16. *Esquema interno y de funcionamiento de un interruptor diferencial*



De: (Baisón, 2010)

2.2.12.9. Contactor termomagnético

Los contactores son ampliamente utilizados para el control de máquinas, ya sea local o remotamente. Su aplicación principal se da en sistemas donde se requiere una alta potencia de acoplamiento y una frecuencia intensa de maniobras, como en máquinas, herramientas y laminadores. En el campo de la automatización, el contactor desempeña un papel esencial para el control preciso de las secuencias de trabajo. Además, se caracteriza por ser un dispositivo de corte accionado a

distancia que vuelve a su posición de reposo una vez que cesa la fuerza que lo mantenía activado (Intecap, 2002).

El mantenimiento de los contactores implica algunas tareas esenciales. En el caso de contactores suministrados sin caja, es fundamental verificar que la parte móvil no haya sufrido torsiones o desplazamientos, y eliminar cualquier cuerpo extraño que pueda haberse introducido entre los contactos o en el entrehierro del circuito magnético. Además, es importante asegurarse de que la bobina esté perfectamente sujeta, ya que las vibraciones a las que pueda estar expuesta pueden afectar negativamente su funcionamiento. Estas medidas contribuyen a mantener un óptimo rendimiento de los contactores (Intecap, 2002).

2.2.12.10. Relé térmico

Un relé térmico, también llamado relé de sobrecarga, es un dispositivo sensible a la temperatura que actúa cuando la corriente del motor excede un límite predeterminado, provocando la apertura o cierre de sus contactos. La corriente fluye a través de un elemento de calentamiento pequeño que alcanza la temperatura del relevador. Estos relevadores poseen un retardo inherente debido a que la temperatura no puede seguir instantáneamente los cambios en la corriente (Intecap, 2002).

Cuando una corriente excesiva es detectada por el relé y se mantiene durante el tiempo necesario para que el bimetálico se caliente, este último se dilata y empuja un contacto, lo que resulta en la desconexión del circuito de realimentación de la bobina y, por lo tanto, en la apertura del circuito (Roldan, 1982).

2.2.12.11. Variador de velocidad

También conocidos como convertidores de frecuencia, son dispositivos utilizados para controlar la velocidad de motores de inducción, especialmente aquellos con rotor en cortocircuito. Estos equipos permiten variar la velocidad al suministrar una corriente eléctrica con una frecuencia variable. Los convertidores de frecuencia se pueden clasificar en dos categorías principales: los que se emplean para motores síncronos y los utilizados para motores asíncronos, siendo los primeros

más diversos en opciones. Es importante tener en cuenta las características específicas de la instalación y el tipo de motor a controlar al seleccionar adecuadamente el convertidor de frecuencia apropiado (Baisón, 2010).

2.2.12.12. Arrancador suave

Los arrancadores estáticos se diseñan con opciones ajustables para los parámetros de inicio y detención, enfocándose en la función de arranque suave que facilita un arranque gradual de motores de inducción, manteniendo la corriente de inicio baja. Estos dispositivos incluyen un relé de protección del motor de acuerdo con las normativas establecidas, y su construcción puede ser compacta con disipador de calor incorporado. Además, cuentan con protecciones adicionales, como varistores y resistencias de absorción. Los arrancadores estáticos presentan dos ajustes principales: uno para la rampa de subida y otro para el par de arranque. Estos ajustes se realizan mediante ruedas pequeñas, que permiten seleccionar el tiempo de rampa en un rango de 1 a 25 segundos y ajustar el par de arranque en un rango de 200% a 450% de la corriente nominal (I_n). Esto garantiza un control óptimo del motor desde el momento mismo de su arranque, permitiendo que alcance su máxima velocidad con toda la potencia aplicada (Baisón, 2010).

2.2.12.13. Cable eléctrico

Los cables aislados son ampliamente utilizados para la distribución de líneas eléctricas en diversas tensiones. Estos cables están compuestos por conductores o haces de conductores envueltos en un aislante, y en ocasiones, se agregan elementos adicionales para mejorar sus características mecánicas o resistencia a condiciones atmosféricas adversas. Los cables empleados en la distribución, especialmente en Media Tensión, pueden fabricarse con diferentes materiales metálicos o combinaciones de ellos, siempre y cuando permitan la construcción de alambres duraderos y altamente resistentes a la corrosión atmosférica. Durante su funcionamiento, tanto los cables aislados como los desnudos generan calor debido al consumo eléctrico del conductor, y este calor debe ser disipado al ambiente para evitar sobrecalentamientos. El proceso

de disipación térmica depende de varios factores, incluyendo el tamaño del conductor, las condiciones de instalación y las pérdidas de calor por corrientes inducidas o dieléctricos. En casos de calentamiento excesivo, se puede considerar aumentar la sección del cable para facilitar el paso de la corriente y mejorar la transmisión de calor mediante una adecuada ventilación y conductividad del medio (Baisón, 2010).

2.2.12.14. Botonera

Las cajas de pulsadores o botoneras son dispositivos de control que se pueden empotrar en superficies. Estos pulsadores se utilizan para maniobrar contactores, combinaciones de ellos, abrir o cerrar circuitos auxiliares para señalización, y para el control de relés, entre otras funciones. Al presionar el botón o cabeza del pulsador, este activa el vástago de la cámara de contactos, que está conectado mecánicamente con los contactos de apertura o cierre ubicados dentro de la cámara. De esta manera, se realizan las operaciones de control previstas. Al activar el pulsador, los contactos cambian de posición: los contactos abiertos se cierran y los contactos cerrados se abren (Baisón, 2010).

2.2.12.15. Luces piloto

Los indicadores luminosos son dispositivos de señalización óptica que utilizan una bombilla piloto, que puede ser de incandescencia, de neón o de led, para mostrar un estado o la puesta en marcha de un receptor, así como el disparo de un relé térmico, entre otros. En algunos casos, se utilizan leds que permiten tener tres colores en un solo elemento: rojo para indicar que el seccionador está cerrado, verde para indicar que está abierto y ámbar para señalar una posición intermedia del seccionador. Estos sistemas de luces piloto funcionan con lámparas alimentadas a plena o baja tensión, y el color y estado de la luz (encendida o apagada) indica el estado de funcionamiento del pulsador (Baisón, 2010).

Tabla 3. *Colores normalizados para lámparas y significado*

Color	Significado
Rojo	Accionamiento en caso de peligro – Paro (Off)
Amarillo	Intervención
Verde	Marcha (On)
Azul	Otras condiciones no cubiertas

De: (Baisón, 2010)

2.2.12.16. Tablero eléctrico

Se recomienda realizar el mantenimiento preventivo en elementos que presenten anomalías o deterioro, llevando a cabo limpiezas, mediciones y cambios de componentes dañados o con probabilidad de avería. Al limpiar, es importante evitar el uso de lija en los contactos, ya que esto puede causar desgaste y disminuir su vida útil. En su lugar, se debe soplar con aire seco o limpiar con una esponja suave. Con un mantenimiento adecuado, se puede esperar una vida útil óptima de los sistemas de control. Para asegurar el buen funcionamiento de los instrumentos de control, es esencial protegerlos de la humedad, el aceite, el polvo y el desgaste de partes móviles. Para ello, se sugiere limpiarlos con una brocha de cerdas suaves para eliminar el polvo y reemplazar las partes desgastadas. Además, es importante revisar y limpiar constantemente los bornes del motor, verificar que no haya tornillos flojos o elementos caídos, mantener los tableros y contactos de relevadores limpios y en buen estado, y comprobar el funcionamiento adecuado de las luces piloto, sustituyendo las que estén dañadas.

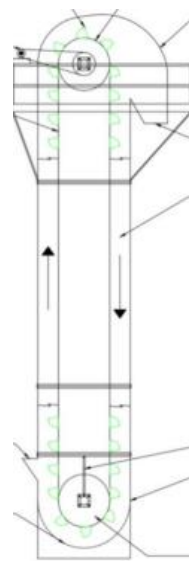
2.2.13. Máquinas electromecánicas

2.2.13.1. Elevador de cangilones

El elevador de cangilones es una máquina esencial en plantas industriales donde se maneja una amplia variedad de materiales a granel, como granos, fragmentos pequeños y talcos granulados, entre otros, y se

necesita un transporte continuo y sin interrupciones durante las operaciones de carga y descarga. Se consideran máquinas de transporte continuo, y se utilizan en diversos sectores industriales, incluidos la industria alimentaria, el almacenamiento agrícola, la industria química, la metalúrgica y la construcción de maquinaria. Los elevadores de cangilones ofrecen ventajas significativas, como caudales de elevación amplios, alturas de elevación considerables, facilitación de carga y descarga de materiales, estructura liviana con mínimo desgaste y mantenimiento sencillo, bajo consumo de energía, baja generación de ruido y construcción y montaje simples. Sin embargo, es importante tener en cuenta que también son sensibles a las sobrecargas. Por tanto, es fundamental seleccionar el elevador adecuado que cumpla con las características necesarias según el tipo de uso requerido (Aenor, 1987).

Figura 17. *Esquema de un elevador de cangilones*



De: (Aenor, 1987)

2.2.13.2. Criba giratoria

El equipo de cribado es versátil y puede utilizarse para separar diferentes tipos de granos, como trigo, cebada, entre otros. Está compuesto por una tolva, un ventilador y una tarara con una superficie cilíndrica formada por alambres. Mediante una corriente de aire, se logra separar los granos vacíos y ligeros de los demás, que caen dentro del cilindro de alambre o tarara. Esta última, al rotar, permite la separación

del polvo, cantos menudos, granos pequeños, y otros materiales no deseados. La ventaja de esta criba radica en que los alambres de la tarara pueden acercarse o separarse según el tipo de grano a limpiar. Además, se utiliza un doble cilindro de alambre dentro del primero para separar piedras de mayor tamaño en comparación con los granos (Vila, 1862).

2.2.13.3. Cyclón de polvos

El sistema de recolección de polvo más comúnmente empleado es el ciclón, el cual se basa en el principio de impactación inercial y la fuerza centrífuga para remover las partículas sólidas de la corriente gaseosa. Los ciclones funcionan como cámaras de sedimentación donde la aceleración gravitacional se sustituye por la aceleración centrífuga. Son una opción rentable tanto en términos de operación como de inversión, ya que son dispositivos sencillos y sin partes móviles, lo que facilita el mantenimiento. Además, pueden diseñarse para soportar altas temperaturas y presiones de operación. Los ciclones son especialmente efectivos para separar partículas de diámetros mayores a 5 μm , aunque en ciertos casos también pueden separar partículas más pequeñas. Si bien su eficiencia es mayor que la de las cámaras de sedimentación gravitacional, es menor que la de filtros de talegas, lavadores y precipitadores electrostáticos. La eficiencia del ciclón se ve afectada por la velocidad de entrada del gas, donde velocidades muy altas pueden reducir su eficacia debido a la resuspensión de partículas en sus paredes internas, además de aumentar el consumo de energía (Echeverri, 2006)

2.2.13.4. Zaranda vibratoria

Las zarandas son dispositivos utilizados para la clasificación de materiales, logrando este proceso mediante un excitador que les otorga movimiento para estratificar el material que ingresa. El material se deposita sobre una malla que separa lo que puede pasar de lo que no puede. Es esencial que el movimiento solo afecte al material y no a la estructura base, por lo que se emplean aisladores de vibración activos para prevenir daños. La eficiencia de las zarandas se determina mediante tres parámetros clave: el tipo de movimiento, la inclinación y los medios de zarandeo o las mallas utilizadas (León, 2019).

2.2.13.5. Faja transportadora

En los últimos tiempos, los transportadores de faja han experimentado una creciente aceptación como método de transporte de materiales a granel en distancias relativamente largas, gracias a sus ventajas en cuanto a costos globales por tonelada y otros beneficios significativos. Estos sistemas han reemplazado, en gran medida, las operaciones de remolcadores o carriles que tradicionalmente se utilizaban para transportar grandes cantidades de materiales. Las fajas transportadoras permiten el traslado directo y eficiente entre puntos de carga y descarga, ofreciendo estructuras que evitan la dispersión de polvo al entorno y promoviendo la protección ambiental. Además, estas estructuras son económicamente viables y se adaptan a requisitos específicos. Al proporcionar un flujo continuo de material, las fajas transportadoras eliminan confusiones, retrasos y riesgos de seguridad asociados al transporte por ferrocarril o tráfico en áreas congestionadas dentro de las plantas industriales y otras instalaciones (CEMA, 2005).

2.2.13.6. Rodillo giratorio

Es una estructura tubular metálica con una pared interna resistente al calor, que se utiliza para realizar diversos procesos de disociación y tratamiento térmico de materiales. Funciona con un diseño que permite la carga de material en un extremo mientras se descarga el producto final en el otro. A medida que el material avanza a través del horno, se somete a diferentes zonas de calor, y el tiempo de retención puede ajustarse mediante anillos de retención internos. La velocidad de rotación del horno es determinante para el tiempo de residencia del material dentro de la cámara. Se emplea en diferentes industrias debido a su capacidad para procesar materiales a alta temperatura y su versatilidad en distintos procesos de producción (Fellows, 2009).

2.2.13.7. Intercambiador de calor

En diversos sistemas mecánicos, químicos, nucleares y otros, es necesario transferir calor de un lugar a otro o de un fluido a otro. Para lograr esta tarea, se utilizan los intercambiadores de calor, dispositivos

esenciales en muchos procesos. Es fundamental entender los componentes mecánicos de estos intercambiadores para comprender su funcionamiento y asegurar un desempeño óptimo. En esta sección, se presentan diferentes tipos de intercambiadores de calor según el flujo y la construcción, como los de tubo y carcaza, y los de placas, analizando sus diferencias y comparándolos. También se explican los intercambiadores de paso simple, de múltiples pasos, regeneradores y no regenerativos, así como algunas de sus aplicaciones potenciales. Los intercambiadores de calor se utilizan para calentar, enfriar, condensar y llevar al punto de ebullición diferentes fluidos, siempre asegurándose de que los fluidos involucrados estén a temperaturas diferentes y que el calor se transfiera en una sola dirección, de la fuente caliente al fluido más frío, a través de las paredes metálicas que los separan, sin contacto directo entre ellos (Jaramillo, 2007).

2.2.13.8. Caldero

Una caldera es un contenedor cerrado que opera bajo presión y tiene la función de calentar un fluido mediante una llama directa. Este dispositivo se conoce como caldera. El fluido calentado en la caldera proporciona su energía térmica, la cual puede ser aprovechada para diversos propósitos industriales (Kohan, 2000).

El funcionamiento de una caldera se basa en el calentamiento de agua almacenada en un tanque mediante una llama generada por un quemador controlado automáticamente. Un flotador en el tanque mantiene el nivel de agua mediante una válvula. La bomba de alta presión impulsa el agua hacia el interior de la caldera a través de tuberías. Hay dos diseños principales de calderas: acuotubulares y pirotubulares, donde intervienen procesos de radiación, conducción y convección para convertir el agua en vapor. El vapor generado es conducido a los puntos de uso o almacenado en cámaras para su distribución. La parte superior de la caldera lleva los gases de combustión hacia el exterior, y la parte inferior cuenta con una válvula para evacuar lodos y otros residuos no deseados, mediante purgas periódicas realizadas por el operador. La caldera incorpora diversos controles de seguridad para el alivio de presión,

apagar el quemador en caso de niveles bajos de agua y para mantener el nivel del agua mediante el accionamiento de la bomba (Arenzano, 2009).

2.2.13.9. Horno cuadrado

Un horno es un dispositivo que utiliza el calor para realizar cambios físicos o químicos en un material específico. Este equipo consta de tres componentes principales: el hogar, donde se genera el calor mediante la oxidación del combustible, como el quemador; el laboratorio o cámara, que recibe el calor y contiene el material a tratar; y el conducto de humos o chimenea, que se encarga de eliminar los productos de la combustión y las sustancias volátiles del horno (Trinks, 2003).

2.2.13.10. Centrífuga

Este equipo se compone principalmente de un rotor giratorio que presenta anillos circundantes a lo largo de su pared interna, desde la base hasta la parte superior, diseñados para retener partículas de mayor peso específico. La pulpa se introduce en el rotor a través de una tobera en la base, y debido a la fuerza centrífuga, adquiere un movimiento rotatorio. En este proceso, las partículas más pesadas se quedan atrapadas en las hendiduras de los anillos del rotor, permitiendo así la separación de material valioso del estéril que sale por la parte superior del equipo (Álvarez, 2006).

2.2.13.11. Extractor de cáscara

El principio de funcionamiento de este extractor centrífugo se basa en la fuerza centrífuga, donde las partículas internas del tambor tienden a desplazarse hacia el exterior debido al movimiento angular. El tambor es perforado y cuenta con alabes en su interior, los cuales mezclan la materia prima con un fluido. La superficie interna del tambor está cubierta por una malla especial que permite la separación de los componentes de la mezcla, permitiendo el paso de ciertas partículas mientras que otras son retenidas. Este proceso de tamizado se realiza de manera continua durante el giro del tambor, logrando una efectiva separación de los materiales (Cuñas, 2014).

CAPÍTULO III

VARIABLES

3.1 Operacionalización de variables (Dimensiones e indicadores)

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Independiente: Implementación de un plan de gestión de mantenimiento o basado en confiabilidad	La implementación de un plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad se refiere a la aplicación de un conjunto de estrategias y prácticas que buscan optimizar la operación y mantenimiento de activos o equipos, mediante el uso de metodologías centradas en la confiabilidad y el rendimiento, con el objetivo de mejorar la disponibilidad, reducir las fallas y prolongar la vida útil de los activos.	La implementación del plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad se medirá mediante la presencia y el cumplimiento de una serie de prácticas y procedimientos específicos diseñados para mejorar la confiabilidad de los activos, como el uso de técnicas de mantenimiento preventivo, análisis de modos de falla, establecimiento de inspecciones preventivas, entre otros.	Criticidad	Matriz de criticidad
			Cumplimiento	$\frac{N^{\circ} \text{ de Manttos Ejecutados}}{N^{\circ} \text{ de Manttos Programados}}$
			Costos por mantenimiento	Ahorro de costos relacionados a mantenimiento
Dependiente: Disponibilidad de máquinas electromecánicas	La disponibilidad de máquinas electromecánicas se refiere a la capacidad y el grado en que los equipos o activos electromecánicos están operativos y listos para realizar sus funciones o procesos productivos. Representa el porcentaje de tiempo en el cual los equipos están disponibles y en buen estado de funcionamiento.	La disponibilidad de máquinas electromecánicas se medirá utilizando el indicador de "Disponibilidad de los equipos", que se calcula como el cociente entre el MTBF (Mean Time Between Failures) y la suma del MTBF y el MTTR (Mean Time To Repair), expresado en porcentaje. Adicional a ello se medirá también los ahorros generados que impactan en la producción, así como el tiempo de respuesta para la adquisición de repuestos.	Tiempo de paradas por fallas	$MTBF = \frac{\sum \text{Horas de trabajo en buen estado}}{\sum \text{Averías para el mant. correc.}}$
				$MTTR = \frac{\sum \text{Tiempo de reparación}}{N^{\circ} \text{ Intervenciones realizadas}}$
			Disponibilidad de los equipos	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$
			Costos de producción	Ahorro de costos relacionados a producción
			Adquisición de repuestos críticos	Tiempos de respuesta para la adquisición de repuestos

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Descripción de la metodología

En este estudio, se empleó una metodología tipo aplicada, de nivel descriptiva en donde se determinará el impacto que tendrá la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad en relación a la disponibilidad de los equipos electromecánicos.

El diseño de la investigación que se ha determinado para la presente tesis es longitudinal, Espinoza (2010) afirma que este tipo de investigación tiene como propósito “tomar una muestra del objeto de investigación, la cual será evaluada en distintos momentos en el tiempo y por periodos largos” (p.94).

Según su enfoque, es cuantitativo porque se analizará valores numéricos de indicadores (medición de variables específicas). Posteriormente, se analizarán las medidas obtenidas, a partir de estos análisis, se extraen conclusiones (Hernández, 2014, p.36)

Finalmente, según el tipo de investigación, es aplicada, ya que, según Hernández (2014), su objetivo es resolver problemas. (p. 29)

4.2 Implementación de la investigación

La primera etapa de esta implementación implica la identificación de todos los activos industriales, los cuales forman parte del procesamiento de la castaña. Esta recopilación de datos sobre los activos proporciona una visión completa del alcance y complejidad de los recursos que requieren mantenimiento.

Para el inventario de los activos electromecánicos también se consideró colocarles un código de activo fijo con el cual se pueda identificar. La asignación de códigos de activo fijo no solo simplifica la gestión y seguimiento de estos activos, sino que también facilita la trazabilidad y el registro de información crítica relacionada con su historial y mantenimiento.

La tabla 4 nos muestra la relación de todos los activos electromecánicos de la planta, así como también su código de activo y a que proceso pertenece.

Tabla 4. Activos industriales

DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	CÓDIGO
Elevador N°01	Pre limpieza y clasificación	MAQ-001
Zaranda N°01	Pre limpieza y clasificación	MAQ-002
Ciclón de Polvos	Pre limpieza y clasificación	MAQ-003
Elevador N°02	Pre limpieza y clasificación	MAQ-004
Criba Giratoria	Pre limpieza y clasificación	MAQ-005
Silo de Almacenamiento N°01	Pre limpieza y clasificación	MBL-001
Silo de Almacenamiento N°02	Pre limpieza y clasificación	MBL-002
Silo de Almacenamiento N°03	Pre limpieza y clasificación	MBL-003
Silo de Almacenamiento N°04	Pre limpieza y clasificación	MBL-004
Transportador N°01	Transferencia	MAQ-006
Elevador N°03	Transferencia	MAQ-007
Transportador N°02	Transferencia	MAQ-008
Silo de Almacenamiento N°05	Secado	MBL-005
Silo de Almacenamiento N°06	Secado	MBL-006
Silo de Almacenamiento N°07	Secado	MBL-007
Silo de Almacenamiento N°08	Secado	MBL-008
Rodillo N°01	Secado	MAQ-009
Intercambiador de Calor N°01	Secado	MAQ-010
Rodillo N°02	Secado	MAQ-011
Intercambiador de Calor N°02	Secado	MAQ-012
Rodillo N°03	Secado	MAQ-013
Intercambiador de Calor N°03	Secado	MAQ-014
Rodillo N°04	Secado	MAQ-015
Intercambiador de Calor N°04	Secado	MAQ-016
Transportador N°03	Reposo	MAQ-017
Elevador N°04	Reposo	MAQ-018
Elevador N°05	Reposo	MAQ-019
Transportador N°04	Reposo	MAQ-020
Silo de Almacenamiento N°09	Reposo	MBL-009
Silo de Almacenamiento N°10	Reposo	MBL-010
Silo de Almacenamiento N°11	Reposo	MBL-011
Silo de Almacenamiento N°12	Reposo	MBL-012
Transportador N°05	Reposo	MAQ-021
Transportador N°06	Reposo	MAQ-022
Elevador N°06	Reposo	MAQ-023
Silo de Almacenamiento N°13	Vaporizado	MBL-013
Autoclave	Vaporizado	MAQ-024
Zaranda N°02	Vaporizado	MAQ-025
Elevador N°07	Vaporizado	MAQ-026
Silo de Almacenamiento N°14	Resecado	MBL-014
Rodillo N°05	Resecado	MAQ-027
Intercambiador de calor N°05	Resecado	MAQ-028

Transportador N°07	Resecado	MAQ-029
Silo de Almacenamiento N°15	Descascarado	MBL-015
Silo de Almacenamiento N°16	Descascarado	MBL-016
Zaranda N°03	Descascarado	MAQ-030
Elevador N°08	Descascarado	MAQ-031
Elevador N°09	Descascarado	MAQ-032
Peladora N°01	Descascarado	MAQ-033
Zaranda N°04	Descascarado	MAQ-034
Faja de Reproceso N°01	Descascarado	MAQ-035
Faja de Reproceso N°02	Descascarado	MAQ-036
Chalero N°01	Descascarado	MBL-017
Elevador N°10	Descascarado	MAQ-037
Peladora N°02	Descascarado	MAQ-038
Zaranda N°05	Descascarado	MAQ-039
Faja de Reproceso N°03	Descascarado	MAQ-040
Chalero N°02	Descascarado	MBL-018
Faja Transportadora de Selección Manual	Selección	MAQ-041
Estufa N°01	Secado	MAQ-042
Intercambiador de Calor N°6	Secado	MAQ-043
Estufa N°02	Secado	MAQ-044
Intercambiador de Calor N°7	Secado	MAQ-045
Horno N°01	Secado	MAQ-046
Intercambiador de Calor N°8	Secado	MAQ-047
Horno N°02	Secado	MAQ-048
Intercambiador de Calor N°9	Secado	MAQ-049
Caldero N°01	Equipos auxiliares	MAQ-050
Caldero N°02	Equipos auxiliares	MAQ-051
Manifold N°01	Equipos auxiliares	AUX-001
Manifold N°02	Equipos auxiliares	AUX-002
Manifold N°03	Equipos auxiliares	AUX-003

De los activos descritos en la tabla 4, nos enfocaremos en analizar las máquinas electromecánicas, las cuales cuentan con las siglas “MAQ” en su código de activo.

Adicional a ello, también se procede a elaborar un plano con el flujo del proceso industrial, el cual es un recurso que agiliza la toma de decisiones, nos ayuda a medir la eficiencia y disponibilidad por proceso, además que nos ayudará a minimizar los tiempos de inoperatividad.

Para el presente trabajo será tomado en cuenta la disponibilidad del proceso, ya que, en su mayoría, las máquinas trabajan en cadena y no de manera independiente, es así que la falla de una máquina perjudicará a todo un proceso en caso se presente.

El procesamiento de la castaña se inicia con la limpieza y clasificación por tamaños de las castañas en cáscara, a continuación, las castañas reposan antes de someterse a un proceso de inyección de aire caliente mientras están en movimiento durante varias horas. Tras esta etapa, las castañas descansan nuevamente antes de ser trasladadas a una olla de vapor a presión, donde se les inyecta vapor generado en un caldero.

Una vez completado este proceso, las castañas, aún en cáscara, pasan por una zaranda con inyección de agua fría para cristalizar la cáscara y facilitar su descascarado. Luego, las castañas se dirigen a un rodillo con inyección de aire frío y, posteriormente, se trasladan a las máquinas peladoras, que despojan las semillas de su cáscara. La cáscara es eliminada mediante un extractor, mientras que las semillas se someten a una clasificación según su tamaño a través de tamices en una zaranda.

A continuación, se realiza una inspección adicional mediante una selectora electrónica que separa las castañas con defectos. El proceso concluye con un último paso en el que las castañas, ya peladas, son llevadas a hornos para obtener un producto apto para el consumo humano. Finalmente, las castañas se empaquetan en bolsas para su posterior transporte y distribución.

Figura 18. Plano de flujo de procesos – Proceso de pre limpieza

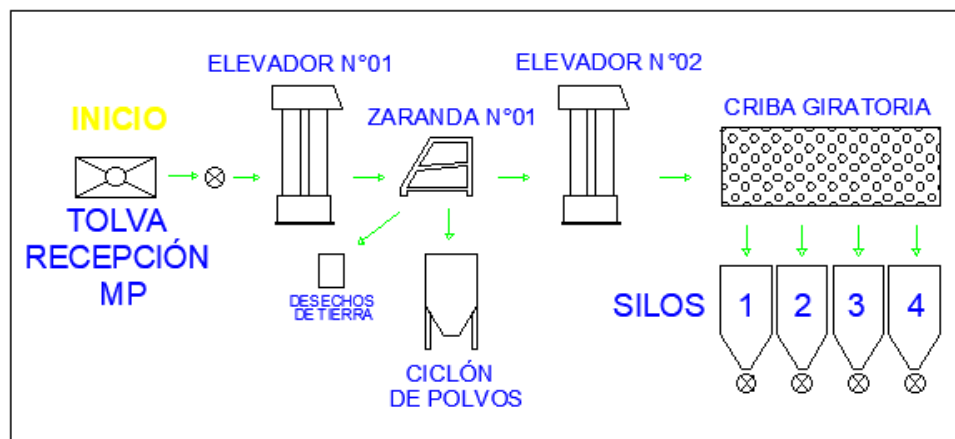


Figura 19. Plano de flujo de procesos – Proceso de transferencia y secado

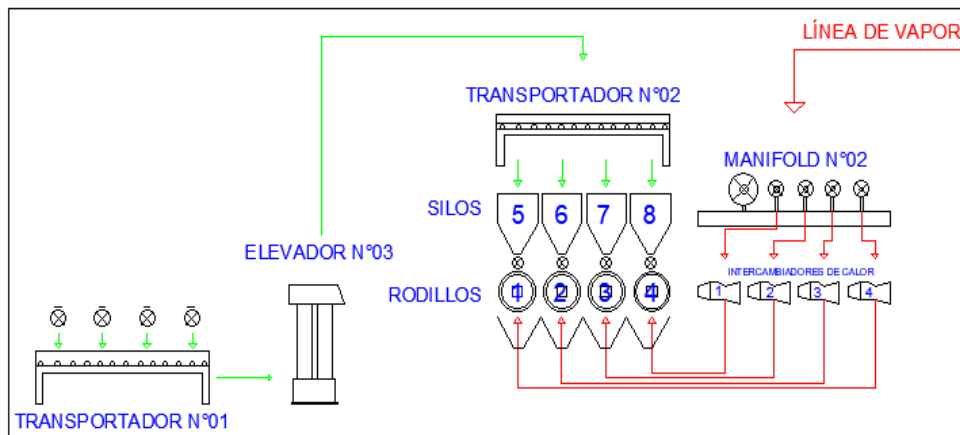


Figura 20. Plano de flujo de procesos – Proceso de reposo

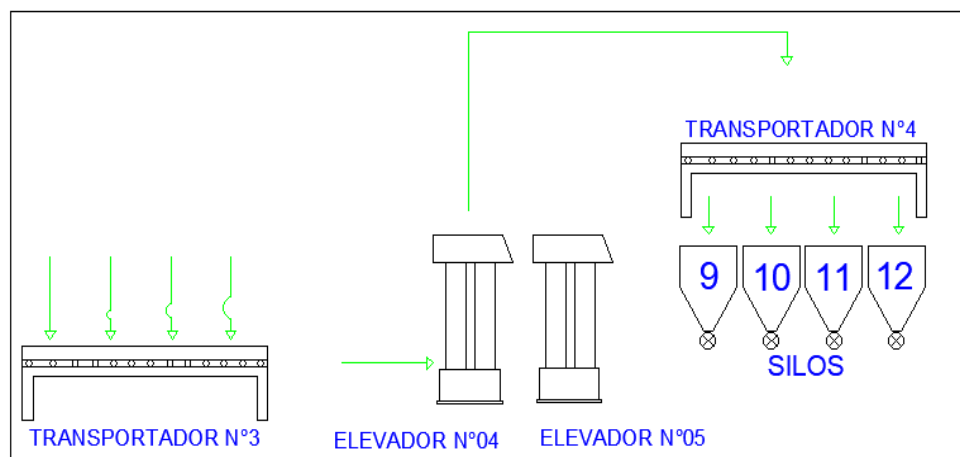


Figura 21. Plano de flujo de procesos – Proceso de reposo, vaporizado y pre descascarado

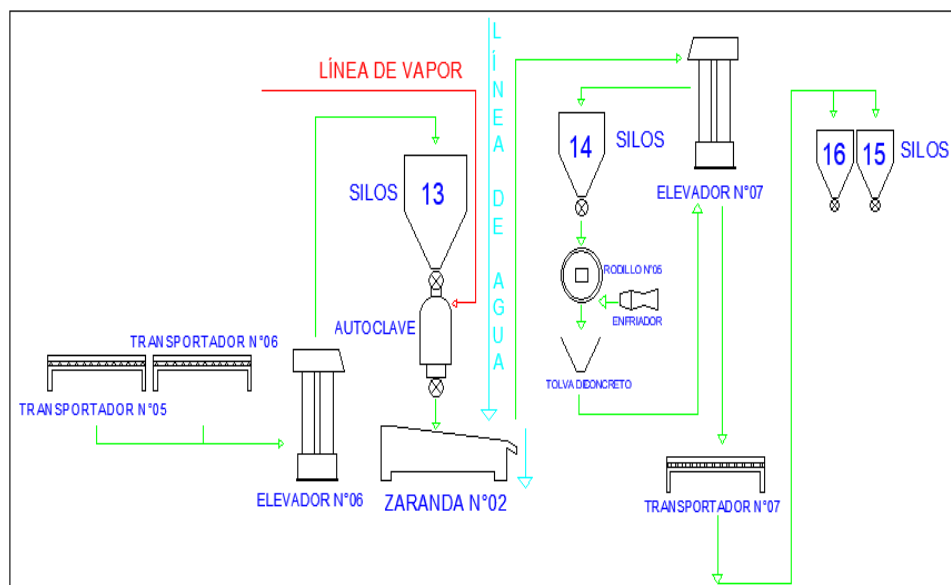


Figura 22. Plano de flujo de procesos – Proceso de descascarado y selección manual

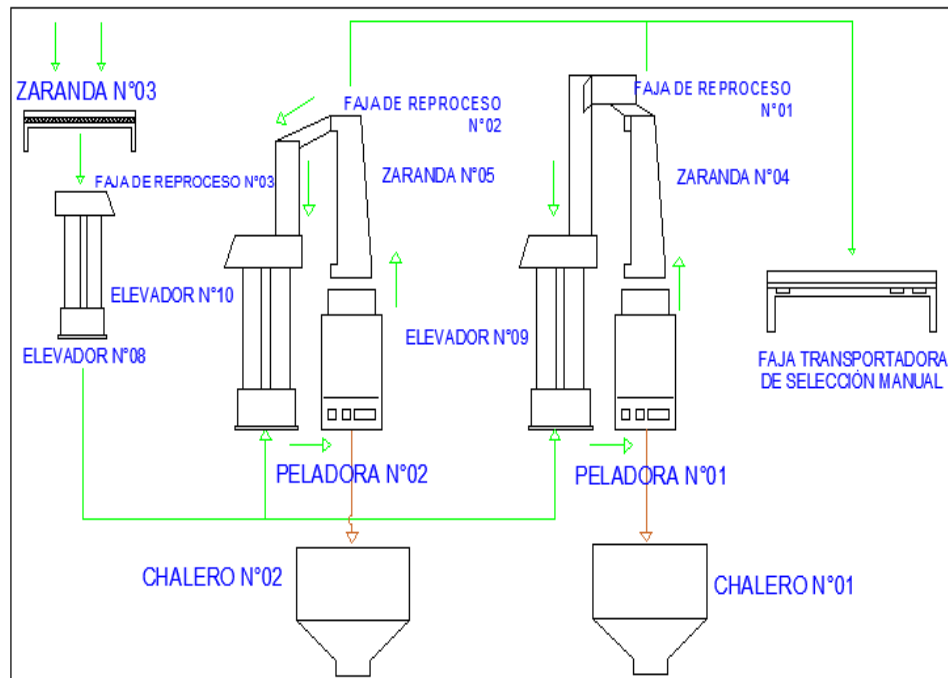


Figura 23. Plano de flujo de procesos – Proceso de secado

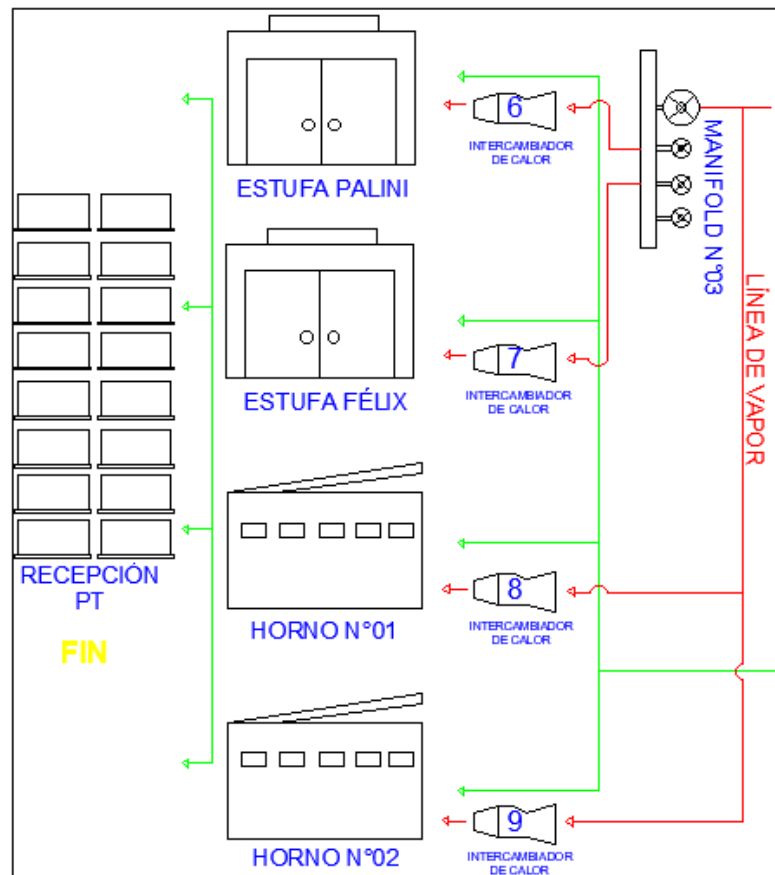
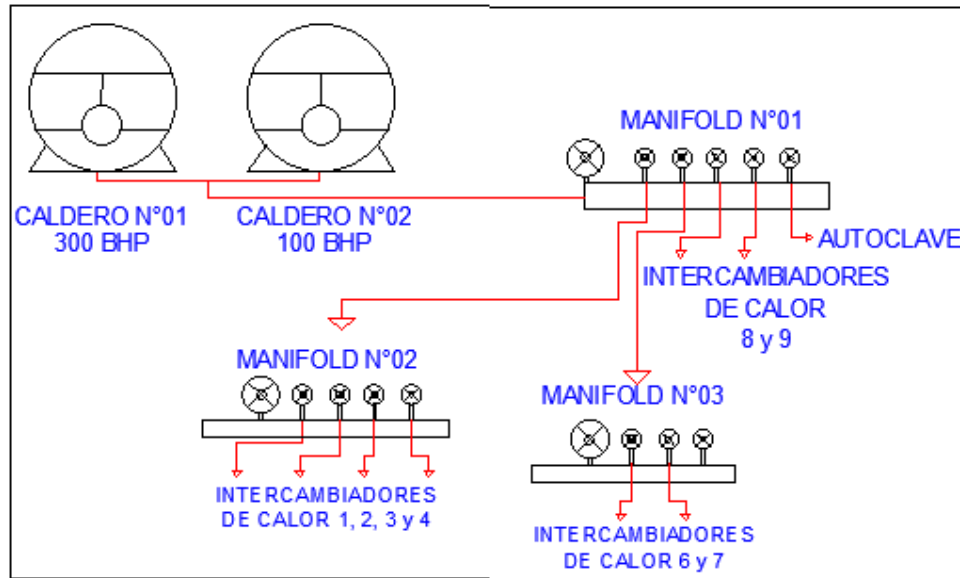


Figura 24. Plano de flujo de procesos – Generación de vapor



Teniendo ya la información base, se procede a seleccionar los equipos electromecánicos con mayor criticidad.

Para esto se realiza una evaluación de los equipos electromecánicos; la evaluación está basada en la metodología de criticidad total por riesgo, en el cual se obtiene la criticidad mediante el producto entre la frecuencia de fallos y la consecuencia que esta pueda tener, tal cual se describe en la fórmula (1).

Los parámetros para la evaluación de criticidad se determinaron en una reunión en conjunto con la gerencia de operaciones, la jefatura de mantenimiento y el área de seguridad, teniendo en cuenta las primeras cinco preguntas del proceso de decisión del RCM, de lo cual se obtuvo lo mostrado en las tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5. Riesgo y frecuencia por fallas mensuales

CATEGORÍA DE FRECUENCIA	FALLAS (MENSUAL)	RIESGO		
		C1	C2	C3
F1	4 a más	Medio	Alto	Alto
F2	2 a 3	Medio	Medio - Alto	Alto
F3	1 a 2	Bajo	Medio	Alto
F4	0 a 1	Bajo	Bajo	Medio

Tabla 6. *Categorías de consecuencia y criticidad*

CATEGORÍA DE CONSECUENCIA		CRITICIDAD		
		C1	C2	C3
1	Consecuencia de seguridad	Sin posibilidad de lesiones	Posibilidad de lesiones que requieran atención médica	Posibilidad de lesiones muy graves
		Sin efectos sobre sistemas de seguridad	Efectos limitados de los sistemas de seguridad	Sistemas de seguridad inoperativos
2	Consecuencia de contención	Medios no inflamables	Medios inflamables no críticos	Medios inflamables críticos
		Medios no tóxicos	Medios moderadamente tóxicos	Medios altamente tóxicos
		Presión normal	Medios de alta presión (hasta 100 bar)	Medios de presión extremadamente alta
		Temperatura media	Medios de alta temperatura (hasta 80°C)	Medios de temperatura extremadamente alta
3	Consecuencia en la operación y producción	Sin pérdidas en la operación	Bajas o aceptables pérdidas en la operación	Inmediata y pérdida significativa en la operación
4	Consecuencia de costos de reparación	Bajos costos de reparación (< S/.300)	Costos de reparación moderados (S/.300 a S/.4000)	Costos de reparación significativas (> S/.4000)

Posterior a la definición de los parámetros, se definió el alcance según criticidad de cada activo.

- Para activos de criticidad baja, se ejecutarán planes de mantenimiento preventivo o correctivo según amerite.
- Para activos de criticidad media, se ejecutarán inspecciones y/o planes de mantenimiento preventivo.
- Para activos de criticidad media - alta, se ejecutarán inspecciones y/o planes de mantenimiento preventivo y se analizará los modos de efectos y fallas.
- Para activos de criticidad alta, se ejecutarán inspecciones, planes de mantenimiento preventivo, se analizará los modos de efectos y fallas, y se elaborarán planes de contingencia.
- El análisis de criticidad de los activos se actualizará anualmente.

Se procede a evaluar los activos, de lo cual se obtiene:

Tabla 7. *Evaluación y resultados de criticidad de activos electromecánicos.*

Activo	Categ. de frec.	1	2	3	4	Total de consec.	Criticidad
Elevador N°01	F2	C3	C1	C3	C2	9	Med. Alt.
Zaranda N°01	F4	C2	C1	C2	C1	6	Bajo
Ciclón de Polvos	F4	C1	C1	C1	C1	4	Bajo
Elevador N°02	F2	C3	C1	C3	C2	9	Med. Alt
Criba Giratoria	F3	C1	C1	C3	C2	7	Medio
Transportador N°01	F2	C1	C1	C3	C2	7	Med. Alt
Elevador N°03	F2	C3	C1	C3	C2	9	Med. Alt
Transportador N°02	F2	C1	C1	C3	C2	7	Med. Alt
Rodillo N°01	F4	C3	C2	C2	C3	10	Medio
Intercambiador de Calor N°1	F4	C1	C2	C2	C2	7	Bajo
Rodillo N°02	F4	C3	C2	C2	C3	10	Medio
Intercambiador de Calor N°2	F4	C1	C2	C2	C2	7	Bajo
Rodillo N°03	F3	C3	C2	C2	C3	10	Medio
Intercambiador de Calor N°3	F4	C1	C2	C2	C2	7	Bajo
Rodillo N°04	F4	C3	C2	C2	C3	10	Medio
Intercambiador de Calor N°4	F3	C1	C2	C2	C2	7	Bajo
Transportador N°03	F4	C1	C1	C3	C2	7	Bajo
Elevador N°04	F2	C3	C1	C3	C2	9	Med. Alt
Elevador N°05	F2	C3	C1	C3	C2	9	Med. Alt
Transportador N°04	F3	C1	C1	C3	C2	7	Medio
Transportador N°05	F3	C1	C1	C3	C2	7	Medio
Transportador N°06	F3	C1	C1	C3	C2	7	Medio
Elevador N°06	F2	C3	C1	C3	C2	9	Med. Alt

Zaranda N°02	F3	C2	C1	C2	C2	7	Medio
Elevador N°07	F1	C3	C1	C3	C2	9	Alto
Rodillo N°05	F3	C3	C2	C3	C3	11	Alto
Intercambiador de calor N°5	F2	C1	C2	C2	C2	7	Med. Alt
Transportador N°07	F1	C1	C1	C3	C2	7	Alto
Zaranda N°03	F4	C1	C1	C3	C1	6	Bajo
Elevador N°08	F2	C3	C1	C3	C2	9	Med. Alt
Elevador N°09	F2	C3	C1	C3	C2	9	Med. Alt
Peladora N°01	F1	C2	C1	C3	C3	9	Alto
Zaranda N°04	F1	C1	C1	C3	C2	7	Alto
Faja de Reproceso N°01	F3	C1	C1	C3	C2	7	Medio
Faja de Reproceso N°02	F3	C1	C1	C3	C2	7	Medio
Elevador N°10	F2	C3	C1	C3	C2	9	Med. Alt
Peladora N°02	F1	C2	C1	C3	C3	9	Alto
Zaranda N°05	F1	C1	C1	C3	C2	7	Alto
Faja de Reproceso N°03	F3	C1	C1	C3	C2	7	Medio
Elevador Z	F3	C1	C1	C3	C2	7	Medio
Faja transportadora de selección manual	F2	C1	C1	C3	C2	7	Med. Alt
Estufa N°01	F4	C3	C3	C2	C2	10	Medio
Intercambiador de Calor N°6	F3	C1	C2	C2	C2	7	Medio
Estufa N°02	F4	C3	C3	C2	C2	10	Medio
Intercambiador de Calor N°7	F3	C1	C2	C2	C2	7	Medio
Horno N°01	F4	C3	C3	C2	C2	10	Medio
Intercambiador de Calor N°8	F2	C1	C2	C2	C2	7	Med. Alt
Horno N°02	F4	C3	C3	C2	C2	10	Medio
Intercambiador de Calor N°9	F2	C1	C2	C2	C2	7	Med. Alt
Caldero N°01	F1	C3	C3	C3	C3	12	Alto
Caldero N°02	F3	C3	C3	C1	C3	10	Alto

Después de establecer la criticidad para cada activo, se procede a desarrollar el plan de mantenimiento correspondiente para cada uno. Posteriormente, se elaboran los formatos necesarios de acuerdo con los requisitos establecidos.

a. Elevadores de cangilones N°1 al 6

Teniendo en cuenta que la estructura y forma de trabajo de los primeros 6 elevadores es la misma, se realiza un solo análisis para estos equipos. La criticidad de estos elevadores es de media-alta, por lo cual se realizará el análisis de modos de efectos y fallas, se generará un plan de mantenimiento y serán incluidos en el formato de inspección.

Tabla 8. Análisis de modos de efectos y fallas de elevador de cangilones N°1 al 6.

SUB SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO	Si	CLASIFICACIÓN	CAUSA	Oi	MÉTODO DE DETECCIÓN	Di	NPRI	ACCIÓN
Estructura metálica del elevador	Soportar y mantener el elevador de cangilones	Fallo estructural	Corrosión	Interrupción del proceso de transporte	10	Cr	Ambiente corrosivo, carga excesiva	1	Inspección visual y pruebas estructurales	3	30	Inspección de la estructura y pernos de anclaje
Cangilones metálicos	Recoger y elevar la castaña en cáscara	Deformación de cangilones	Atasco de cangilones	Interrupción del proceso de transporte	7	Cr	Roce entre cangilones y la estructura por desalineamiento o desbalance del sistema de transmisión	6	Inspección visual y supervisión de sonido	3	126	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo constante del sistema de transmisión
		Desgaste de cangilones	Cangilones no transportan la cantidad suficiente de castaña	Acumulación de castaña en la base del elevador	8	Cr	Roce de los cangilones con la cáscara dura de la castaña	2	Inspección visual	3	48	Inspección de cangilones y stock de cangilones para cambio

Faja transportadora	Soportar los cangilones y trasladar la castaña en cáscara	Pérdida de tracción o rotura de la faja	Desgarro de la faja, rotura de pliegues	Interrupción de la operación	8	M y	Desgaste por abrasión, carga excesiva o carga desigual	4	Inspección visual	3	96	Plan de mantenimiento preventivo, inspección de los pliegues y verificación de la alineación de la faja
Motor	Proporcionar la potencia para el elevador	Fallo del motor por cortocircuito o sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor	Detención completa del elevador	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	160	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura
Reductor de velocidad	Reducir la velocidad y aumentar el par del motor	Pérdida de velocidad de salida o de la transmisión mecánica por completo	Desgaste o rotura de la corona	Interrupción de la operación	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, desgaste, falta de lubricación	4	Inspección visual, monitoreo de temperatura, revisión periódica de lubricación	5	160	Implementar un programa de mantenimiento regular para inspección, lubricación y alineación del reductor de corona sin fin. Verificar el estado de la corona y el piñón periódicamente.

Chumaceras	Soporte y rotación del rodete	Pérdida de soporte o rotación	Desgaste de chumaceras	Daño al sistema de transmisión, desalineación de la faja	7	Cr	Desgaste, falta de mantenimiento preventivo	4	Monitoreo de temperatura y corriente	6	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección y reemplazo de chumaceras. Verificar desgaste y aplicar un programar de lubricación.
Rodetes	Proporcionar la tracción para el movimiento de la faja y cangilones	Generación de vibraciones excesivas	Desbalance	Daño al sistema de transmisión, desalineación de la faja	8	Cr	Alineación deficiente o distribución desigual de masa	4	Monitoreo visual, análisis de temperatura	6	192	Plan de mantenimiento preventivo, monitoreo de temperatura
Eje	Transmitir potencia	Incapacidad para transmitir la potencia	Desgaste y rotura	Pérdida de eficiencia, aumento de temperatura, paro del equipo	8	Cr	Sobrecarga, desgaste	6	Monitoreo de temperatura y corriente	4	192	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Para la creación de los formatos de inspección y plan de mantenimiento preventivo se tienen en cuenta las acciones que se obtuvieron como resultado de la evaluación del AMEF y consideraciones generales.

Figura 25. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de elevadores

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ELEVADORES

CÓDIGO DE ACTIVO _____
 FECHA DE EJECUCIÓN _____
 RESPONSABLE _____

C:	Correcto
O:	Observado
Li:	Limpieza
Ca:	Cambio

Item	Actividad	C	O	Li	Ca	Observaciones
1	Infraestructura					
1.1	Revisar el estado de ajuste de pernos					
1.2	Revisar el estado de los pernos, tuercas y arandela					
1.3	Revisar el estado de la faja					
1.4	Revisar el estado del templado de la faja					
1.5	Revisar el estado de la estructura general					
1.6	Revisar el estado de los cangilones					
1.7	Revisar el estado de la base del motor					
2	Transmisión					
2.1	Revisar el estado de los rodets (estructura, balanceo) y registrar su temperatura					
2.2	Revisar el estado del reductor (no presenta fugas de aceite, alineación del acople con el motor, análisis de sonido) y registrar temperatura.					
2.3	Revisar el estado de los engranajes y piñón del reductor *					
2.4	Revisar el estado de los ejes (estructura, balanceo) y registrar temperatura					
2.5	Revisar el estado de las chumaceras (estructura, lubricación) y registrar temperatura					
3	Motor					
3.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico					
3.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes					
3.3	Revisar el estado del ventilador y guarda					
3.4	Registrar la temperatura y corriente del motor					
3.4	Limpieza del rotor y estator *					
3.5	Revisar el estado del rodamiento *					
3.6	Revisar el estado del eje (balanceo) *					
4	Sistema eléctrico					
4.1	Revisar el estado de su llave termomagnética					
4.2	Revisar el estado de sus componentes eléctricos					
4.3	Revisar el estado de los cables eléctricos					

(*) Los ítems con esta marca deberán realizarse anualmente y solo para equipos definidos como altamente y medio altamente críticos.

Observaciones

Técnico de Mantenimiento

Encargado de Mantenimiento

b. Elevador de cangilones N°7

Como podemos observar en la figura 21, el elevador N°7 está ubicado posterior a la zaranda de enfriamiento, en la cual se le inyecta agua fría a la materia prima. Debido a esto, la estructura natural de fierro negro sufre daño debido a la corrosión. La criticidad de este elevador es alta y los reportes de las fallas se deben en su mayoría a que la estructura metálica está completamente corroída. Teniendo en cuenta este detalle, se procede a realizar un análisis de modo de efectos y fallas con ciertas diferencias a los demás elevadores, además de la elaboración de un plan de acción para contra restar el problema mayor.

Tabla 9. Análisis de modos de efectos y fallas de elevador de cangilones N°7.

SUB SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO	Si	CLASIFICACIÓN	CAUSA	Oi	MÉTODO DE DETECCIÓN	Di	NPRI	ACCIÓN
Estructura metálica del elevador	Soportar y mantener el elevador de cangilones	Fallo estructural	Corrosión	Interrupción del proceso de transporte	10	Cr	Ambiente corrosivo, carga excesiva	8	Inspección visual y pruebas estructurales	3	240	Inspección de la estructura y pernos de anclaje, cambiar material de estructura de fierro negro a acero inoxidable

Cangilones metálicos	Recoger y elevar la castaña en cáscara	Deformación de cangilones	Atasco de cangilones	Interrupción del proceso de transporte	7	Cr	Roce entre cangilones y la estructura por desalineamiento o desbalance del sistema de transmisión	6	Inspección visual y supervisión de sonido	3	126	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo constante del sistema de transmisión
		Desgaste de cangilones	Cangilones no transportan la cantidad suficiente de castaña	Acumulación de castaña en la base del elevador	8	Cr	Roce de los cangilones con la cáscara dura de la castaña	2	Inspección visual	3	48	Inspección de cangilones y stock de cangilones para cambio
Faja transportadora	Soportar los cangilones y trasladar la castaña en cáscara	Pérdida de tracción o rotura de la faja	Desgarro de la faja, rotura de pliegues	Interrupción de la operación	8	M y	Desgaste por abrasión, carga excesiva o carga desigual	4	Inspección visual	3	96	Plan de mantenimiento preventivo, inspección de los pliegues y verificación de la alineación de la faja
Motor	Proporcionar la potencia para el elevador	Fallo del motor por cortocircuito o sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor	Detención completa del elevador	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	160	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Reductor de velocidad	Reducir la velocidad y aumentar el par del motor	Pérdida de velocidad de salida o de la transmisión mecánica por completo	Desgaste o rotura de la corona	Interrupción de la operación	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, desgaste, falta de lubricación	4	Inspección visual, monitoreo de temperatura, revisión periódica de lubricación	5	160	Implementar un programa de mantenimiento regular para inspección, lubricación y alineación del reductor de corona sin fin. Verificar el estado de la corona y el piñón periódicamente.
Chumaceras	Soporte y rotación del rodete	Pérdida de soporte o rotación	Desgaste de chumaceras	Daño al sistema de transmisión, desalineación de la faja	7	Cr	Desgaste, falta de mantenimiento preventivo	4	Monitoreo de temperatura y corriente	6	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección y reemplazo de chumaceras. Verificar desgaste y aplicar un programar de lubricación.

Rodetes	Proporcionar la tracción para el movimiento de la faja y cangilones	Generación de vibraciones excesivas	Desbalance	Daño al sistema de transmisión, desalineación de la faja	8	Cr	Alineación deficiente o distribución desigual de masa	4	Monitoreo visual, análisis de temperatura	6	192	Plan de mantenimiento preventivo, monitoreo de temperatura
Eje	Transmitir potencia	Incapacidad para transmitir la potencia	Desgaste y rotura	Pérdida de eficiencia, aumento de temperatura, paro del equipo	8	Cr	Sobrecarga, desgaste	6	Monitoreo de temperatura y corriente	4	192	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Teniendo en cuenta que el diseño estructural es igual al de los elevadores N° 1 al 6, se considerará el mismo formato (Figura 25), aun así, como acción correctiva se plantea el cambio de toda la estructura metálica a acero inoxidable.

Como plan de contingencia hasta que se realice el cambio completo de la estructura se plantea:

- Ante filtraciones de materia prima: Tener en stock plancha de fierro negro de 2mm, ante cualquier filtración se procederá a parchar el equipo con soldadura.
- Ante falla de las chumaceras: Tener en stock 4 chumaceras SKF SY511M, ante fallas en el sistema de transmisión se procederá al cambio de las chumaceras.
- Ante falla del motor: Contar con 1 motor de back up marca WEG de 5HP trifásico 380v 3600 RPM.
- Ante fallas en el sistema eléctrico: Contar con stock de 1 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320, 1 relé térmico de 7 a 10A modelo LRD14, 1 contactor de 18A modelo LC1D18 M7, 1 pulsador de 22 mm N.O. y 1 pulsador de 22 mm N.C.

c. Elevador de cangilones N°8, 9 y 10

Como podemos observar en la figura 22, los elevadores N°8, 9 y 10 conforman parte del proceso de descascarado, teniendo en cuenta esto, la diferencia con los elevadores N°1 al 7 es el material de los cangilones. Para asegurar que la castaña pelada (semilla) no sufra daños, los cangilones usados para estos elevadores son de polietileno de alta densidad. Teniendo esta consideración, se procede a realizar el análisis de modos de efectos y fallas.

Tabla 10. Análisis de modos de efectos y fallas de elevador de cangilones N°8, 9 y 10.

SUB SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO	Si	CLASIFICACIÓN	CAUSA	Oi	MÉTODO DE DETECCIÓN	Di	NPRI	ACCIÓN
Estructura metálica del elevador	Soportar y mantener el elevador de cangilones	Fallo estructural	Carga excesiva	Interrupción del proceso de transporte	7	Cr	Carga excesiva	2	Inspección visual y pruebas estructurales	3	42	Inspección de la estructura y pernos de anclaje
Cangilones de plástico duro	Recoger y elevar la castaña en cáscara	Deformación de cangilones	Atasco de cangilones	Interrupción del proceso de transporte	7	Cr	Roce entre cangilones y la estructura por desalineamiento o desbalance del sistema de transmisión	6	Inspección visual y supervisión de sonido	3	126	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo constante del sistema de transmisión

		Desgaste de cangilones	Cangilones no transportan la cantidad suficiente de castaña	Acumulación de castaña en la base del elevador	8	Cr	Roce de los cangilones con la cáscara dura de la castaña	2	Inspección visual	3	48	Inspección de cangilones y stock de cangilones para cambio
Faja transportadora	Soportar los cangilones y trasladar la castaña en cáscara	Pérdida de tracción o rotura de la faja	Desgarro de la faja, rotura de pliegues	Interrupción de la operación	8	M y	Desgaste por abrasión, carga excesiva o carga desigual	4	Inspección visual	3	96	Plan de mantenimiento preventivo, inspección de los pliegues y verificación de la alineación de la faja
Motor	Proporcionar la potencia para el elevador	Fallo del motor por cortocircuito o sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor	Detención completa del elevador	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	160	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Reductor de velocidad	Reducir la velocidad y aumentar el par del motor	Pérdida de velocidad de salida o de la transmisión mecánica por completo	Desgaste o rotura de la corona	Interrupción de la operación	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, desgaste, falta de lubricación	4	Inspección visual, monitoreo de temperatura, revisión periódica de lubricación	5	160	Implementar un programa de mantenimiento regular para inspección, lubricación y alineación del reductor de corona sin fin. Verificar el estado de la corona y el piñón periódicamente.
Chumaceras	Soporte y rotación del rodete	Pérdida de soporte o rotación	Desgaste de chumaceras	Daño al sistema de transmisión, desalineación de la faja	7	Cr	Desgaste, falta de mantenimiento preventivo	4	Monitoreo de temperatura y corriente	6	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección y reemplazo de chumaceras. Verificar desgaste y aplicar un programar de lubricación.
Rodetes	Proporcionar la tracción para el movimiento de la faja y cangilones	Generación de vibraciones excesivas	Desbalance	Daño al sistema de transmisión, desalineación de la faja	8	Cr	Alineación deficiente o distribución desigual de masa	4	Monitoreo visual, análisis de temperatura	6	192	Plan de mantenimiento preventivo, monitoreo de temperatura

Eje	Transmitir potencia	Incapacidad para transmitir la potencia	Desgaste y rotura	Pérdida de eficiencia, aumento de temperatura, paro del equipo	8	Cr	Sobrecarga, desgaste	6	Monitoreo de temperatura y corriente	4	192	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura.
-----	---------------------	---	-------------------	--	---	----	----------------------	---	--------------------------------------	---	-----	--

Considerando que el diseño estructural es igual al de los elevadores N°1 al 7, se considerará el mismo formato (Figura 25) para la orden de trabajo de mantenimiento preventivo. Sin embargo, debido a que el desgaste de los cangilones de polietileno ocurre mucho más rápido en comparación con los metálicos, la frecuencia de inspección de estos será mucho más corta.

d. Zaranda N°1 al 3

Dada la criticidad de estos activos (baja y media), se procede a realizar un formato de mantenimiento preventivo básico (Figura 26), el cual abarca el cuidado de su estructura y la mantención de los sistemas sensibles (transmisión, motor y sistema eléctrico), ya que si se descuidan podrían llegar a ser un problema en adelante.

e. Zaranda N°4 y 5

Teniendo en cuenta que la estructura y forma de trabajo de la zaranda N°4 y 5 es la misma, se realiza un solo análisis para estos equipos. La criticidad de estas zarandas es alta, por lo cual se realizará el análisis de modos de efectos y fallas, se elaborará un plan de mantenimiento preventivo y se desarrollará un plan de contingencias adecuado.

Tabla 11. Análisis de modos de efectos y fallas de zaranda N°4 y 5.

SUB SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO	Si	CLASIFICACIÓN	CAUSA	Oi	MÉTODO DE DETECCIÓN	Di	NPRI	ACCIÓN
Estructura metálica	Soportar y mantener los tamices y estructura en general	Fallo estructural	Carga excesiva	Interrupción del proceso de zarandeo	7	Cr	Carga excesiva	2	Inspección visual y pruebas estructurales	3	42	Inspección de la estructura y pernos de anclaje
Tamices	Separar castañas peladas de no peladas	Los tamices se deforman o rompen, lo que afecta su capacidad para separar las castañas peladas de las no peladas de manera efectiva.	Deformación o ruptura de los tamices	Disminuye la efectividad de la separación	4	My	Mal aseguramiento de los tamices	3	Inspección visual	3	36	Plan de monitoreo e inspección de los tamices
Motor	Proporcionar la potencia para la zaranda	Fallo del motor por cortocircuito o sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor	Detención completa de la zaranda	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	160	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Chumaceras	Soporte y rotación del rodete	Pérdida de soporte o rotación	Desgaste de chumaceras	Daño al sistema de transmisión, desalineación de la faja	7	Cr	Desgaste, falta de mantenimiento preventivo	4	Monitoreo de temperatura y corriente	6	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección y reemplazo de chumaceras. Verificar desgaste y aplicar un programar de lubricación.
Eje	Transmitir potencia	Incapacidad para transmitir la potencia	Desgaste y rotura	Pérdida de eficiencia, aumento de temperatura, paro del equipo	8	Cr	Sobrecarga, desgaste	6	Monitoreo de temperatura y corriente	4	192	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura
Polea	Transmitir la potencia a los brazos de transmisión	Falla de la transmisión de la polea	Desgaste o rotura de la correa de transmisión	Interrupción del proceso de zarandeo	7	My	Desgaste, rotura de la correa de transmisión, tensión insuficiente	6	Inspección visual	4	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección, ajuste y reemplazo de la correa de transmisión. Verificar la tensión.

Brazos de transmisión	Transmitir el movimiento de vibración a la zaranda	Los brazos de transmisión se rompen o fallan, lo que impide que puedan transmitir adecuadamente el movimiento de vibración a la zaranda.	Rotura o fallo de los brazos de transmisión.	Detención completa de la zaranda	8	Cr	Mal ajuste de los pernos, desalineación	5	Inspección visual y pruebas de alineamiento	6	240	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura
-----------------------	--	--	--	----------------------------------	---	----	---	---	---	---	-----	---

Para la creación de los formatos de inspección y plan de mantenimiento preventivo se tienen en cuenta las acciones que se obtuvieron como resultado de la evaluación del AMEF y consideraciones generales.

Como plan de contingencia se propone contar con stock de repuestos críticos:

- Ante falla en el sistema de transmisión: Contar con stock de 2 chumaceras SFK UCP209, 1 eje de acero de 54mm de diámetro por 1.45 m de largo y 2 brazos de transmisión mecánico.
- Ante falla del motor: Contar con 1 motor de back up marca WEG de 5HP trifásico 380v 3600 RPM.
- Ante fallas en el sistema eléctrico: Contar con stock de 1 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320, 1 relé térmico de 7 a 10A modelo LRD14, 1 contactor de 18A modelo LC1D18 M7, 1 pulsador de 22 mm N.O. y 1 pulsador de 22 mm N.C.

Figura 26. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de zarandas

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ZARANDAS						
CÓDIGO DE ACTIVO	_____			C:	Correcto	
FECHA DE EJECUCIÓN	_____			O:	Observado	
RESPONSABLE	_____			Li:	Limpieza	
				Ca:	Cambio	
Item	Actividad	C	O	Li	Ca	Observaciones
1 Infraestructura						
1.1	Revisar el estado de ajuste de pernos					
1.2	Revisar el estado de los pernos, tuercas y arandela					
1.3	Revisar el estado de las tuberías de alimentación					
1.4	Revisar el estado de la estructura general					
1.5	Revisar el estado de los tamices					
1.6	Revisar el estado de la base del motor					
2 Transmisión						
2.1	Revisar el estado de las poleas (estructura, balanceo) y registrar su temperatura					
2.2	Revisar el estado de la correa y aplicar antideslizante					
2.3	Revisar el estado de los ejes (estructura, balanceo) y registrar temperatura					
2.4	Revisar el estado de la guarda					
2.5	Revisar el estado de los brazos de transmisión y registrar su temperatura.					
2.6	Revisar el estado de las chumaceras y registrar su temperatura					
3 Motor						
3.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico					
3.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes					
3.3	Revisar el estado del ventilador y guarda					
3.4	Registrar la temperatura y corriente del motor					
3.5	Limpieza del rotor y estator *					
3.6	Revisar el estado del rodamiento *					
3.7	Revisar el estado del eje (balanceo) *					
4 Sistema eléctrico						
4.1	Revisar el estado de su llave diferencial					
4.2	Revisar el estado de sus componentes eléctricos					
4.3	Revisar el estado de los cables eléctricos					
<p>(*) Los ítems con esta marca deberán realizarse solo una vez al año y solo para equipos definidos como altamente críticos.</p> <p>Observaciones</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>						
<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <p>Técnico de Mantenimiento</p>				<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <p>Encargado de Mantenimiento</p>		

f. Ciclón de polvos

Dada la baja criticidad de esta máquina, se dispone a realizar un formato de mantenimiento preventivo con disposiciones generales de la máquina (figura 27).

Figura 27. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de ciclón

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE CICLÓN							
CÓDIGO DE ACTIVO	_____					C:	Correcto
FECHA DE EJECUCIÓN	_____					O:	Observado
RESPONSABLE	_____					Li:	Limpieza
						Ca:	Cambio
Item	Actividad	C	O	Li	Ca	Observaciones	
1 Infraestructura							
1.1	Revisar el estado de ajuste de pernos						
1.2	Revisar el estado de los pernos, tuercas y arandelas						
1.3	Revisar el estado de las tuberías de alimentación						
1.4	Revisar el estado de la estructura general						
1.5	Revisar el estado de la base del motor						
2 Transmisión							
2.1	Revisar el estado de las poleas (estructura, balanceo) y registrar su temperatura						
2.2	Revisar el estado de la correa y aplicar antideslizante						
2.3	Revisar el estado de los ejes (estructura, balanceo) y registrar temperatura						
2.4	Revisar el estado de la guarda						
2.5	Revisar el estado de las chumaceras y registrar su temperatura						
3 Motor							
3.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico						
3.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes						
3.3	Revisar el estado del ventilador y guarda						
4 Sistema eléctrico							
4.1	Revisar el estado de su llave diferencial						
4.2	Revisar el estado de sus componentes eléctricos						
4.3	Revisar el estado de los cables eléctricos						
Observaciones							
_____				_____			
Técnico de Mantenimiento				Encargado de Mantenimiento			

g. Criba giratoria

Teniendo en cuenta que este equipo se catalogó como activo de criticidad media, se procede a realizar un formato de mantenimiento preventivo (figura 28).

Figura 28. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de criba giratoria

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE CRIBA GIRATORIA						
CÓDIGO DE ACTIVO	<input type="text"/>			C:	Correcto	
FECHA DE EJECUCIÓN	<input type="text"/>			O:	Observado	
RESPONSABLE	<input type="text"/>			Li:	Limpieza	
				Ca:	Cambio	
Item	Actividad	C	O	Li	Ca	Observaciones
1 Infraestructura						
1.1	Revisar el estado de ajuste de pernos					
1.2	Revisar el estado de los pernos, tuercas y arandelas					
1.3	Revisar el estado de las mallas/tamices					
1.4	Revisar el estado de la estructura general					
1.5	Revisar el estado de la base del motor					
2 Transmisión						
2.1	Revisar el estado del reductor					
2.2	Revisar el estado del eje (estructura, balanceo) y registrar su temperatura					
2.3	Revisar el estado de las chumaceras y registrar su temperatura					
3 Motor						
3.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico					
3.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes					
3.3	Revisar el estado del ventilador y guarda					
4 Sistema eléctrico						
4.1	Revisar el estado de su llave diferencial					
4.2	Revisar el estado de sus componentes eléctricos					
4.3	Revisar el estado de los cables eléctricos					
Observaciones						
<input style="width: 100%; border: none; border-bottom: 1px solid black;" type="text"/> Técnico de Mantenimiento				<input style="width: 100%; border: none; border-bottom: 1px solid black;" type="text"/> Encargado de Mantenimiento		

h. Transportador N°1 al 7

Debido a que estos equipos tienen las mismas características, se hará un solo análisis general, sin embargo, se tomará en cuenta la criticidad de cada uno por individual para los planes de acción según corresponda.

De la tabla 7 se obtuvo que los transportadores N°1 y 2 tienen criticidad medio-alta, el transportador N°3 tiene criticidad baja, los transportadores 4, 5 y 6 tienen criticidad media y el transportador N°7 tiene criticidad alta. La variación del nivel de criticidad de estos activos se debe principalmente a su MTBF.

Figura 29. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de transportadores

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE TRANSPORTADORES						
CÓDIGO DE ACTIVO	<input type="text"/>					C: Correcto
FECHA DE EJECUCIÓN	<input type="text"/>					O: Observado
RESPONSABLE	<input type="text"/>					Li: Limpieza
						Ca: Cambio
Item	Actividad	C	O	Li	Ca	Observaciones
1 Infraestructura						
1.1	Revisar el estado de ajuste de pernos					
1.2	Revisar el estado de los pernos, tuercas y arandelas					
1.3	Revisar el estado de la faja					
1.4	Revisar el templado de la faja					
1.5	Revisar el estado de la estructura general					
1.6	Revisar el estado de la base del motor					
2 Transmisión						
2.1	Revisar el estado del reductor (no presenta fugas de aceite, alineación del acople con el motor, análisis de sonido) y registrar temperatura.					
2.2	Revisar el estado de los ejes (estructura, balanceo) y registrar temperatura					
2.3	Revisar el estado de las chumaceras (estructura, lubricación) y registrar temperatura					
2.4	Revisar el estado de los polines					
3 Motor						
3.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico					
3.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes					
3.3	Registrar la temperatura y corriente del motor					
3.4	Limpieza del rotor y estator *					
3.5	Revisar el estado del ventilador y guarda					
3.6	Revisar el estado del rodamiento *					
3.7	Revisar el estado del eje (balanceo) *					
4 Sistema eléctrico						
4.1	Revisar el estado de su llave diferencial					
4.2	Revisar el estado de sus componentes eléctricos					
4.3	Revisar el estado de los cables eléctricos					
(*) Los ítems con esta marca deberán realizarse solo una vez al año y solo para equipos definidos como altamente críticos.						
Observaciones						
<input type="text"/> Técnico de Mantenimiento				<input type="text"/> Encargado de Mantenimiento		

El formato de mantenimiento preventivo (figura 29) aplica para todos los transportadores. Solo para los transportadores N°1, 2 y 7 se realiza un análisis de modos y efectos de fallas (tabla 11).

Tabla 11. Análisis de modos de efectos y fallas de transportadores N°1, 2 y 7.

SUB SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO	Si	CLASIFICACIÓN	CAUSA	Oi	MÉTODO DE DETECCIÓN	Di	NPRi	ACCIÓN
Estructura de la faja	Soportar y mantener la faja transportadora	Fallo estructural	Corrosión, desgaste por abrasión, fatiga	Interrupción del proceso de transporte	9	Cr	Ambiente corrosivo, carga excesiva, falta de mantenimiento	2	Inspección visual	2	36	Plan de mantenimiento preventivo, inspecciones y regular o controlar la carga
Faja transportadora	Transportar la castaña en cáscara	Pérdida de tracción o rotura de la faja	Desgarro de la faja, deslizamiento de la materia prima, rotura de los pliegues	Interrupción del proceso de transporte	8	Cr	Desgaste por abrasión, carga excesiva, desigualdad de cargas.	4	Inspección visual	4	128	Plan de mantenimiento preventivo, inspección de los pliegues y verificación de la alineación de la faja

Polines	Soportar y guiar la faja	Fallo de los polines	Desgaste de los polines o rodamientos, corrosión, deformación	Desalineación de la faja	4	M y	Desgaste, corrosión, falta de lubricación, carga excesiva	5	Inspección visual	4	80	Plan de mantenimiento preventivo, lubricación y stock de polines para cambio.
Motor	Proporcionar la potencia para el transportador	Fallo del motor por cortocircuito o sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor	Detención completa del transportador	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	160	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura
Reductor de velocidad	Reducir la velocidad y aumentar el par del motor	Pérdida de velocidad de salida o de la transmisión mecánica por completo	Desgaste o rotura de la corona	Interrupción de la operación	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, desgaste, falta de lubricación	4	Inspección visual, monitoreo de temperatura, revisión periódica de lubricación	5	160	Implementar un programa de mantenimiento regular para inspección, lubricación y alineación del reductor de corona sin fin. Verificar el estado de la corona y el piñón periódicamente.

Chumaceras	Soporte y rotación de los polines	Pérdida de soporte o rotación	Desgaste de chumaceras	Daño al sistema de transmisión, desalineación de la faja	7	Cr	Desgaste, falta de mantenimiento preventivo	4	Monitoreo de temperatura y corriente	6	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección y reemplazo de chumaceras. Verificar desgaste y aplicar un programar de lubricación.
Eje	Transmitir potencia	Incapacidad para transmitir la potencia	Desgaste y rotura	Pérdida de eficiencia, aumento de temperatura, paro del equipo	8	Cr	Sobrecarga, desgaste	6	Monitoreo de temperatura y corriente	4	192	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Como plan de contingencia para el transportador N°7 se propone contar con stock de los siguientes repuestos en caso de fallo:

- Ante falla en el sistema de transmisión: Contar con stock de 2 chumaceras SFK FY 508M y 1 eje de acero de 80mm de diámetro por 1.20 m de largo.
- Ante falla del motorreductor: Contar con 1 motorreductor de back up marca WEG de 5HP trifásico 380v con reductor: Cod. 302.416 ratio 1/14.

- Ante fallas en el sistema eléctrico: Contar con stock de 1 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320, 1 relé térmico de 7 a 10A modelo LRD14, 1 contactor de 18A modelo LC1D18 M7, 1 pulsador de 22 mm N.O. y 1 pulsador de 22 mm N.C.
- Ante rompimiento de faja: Contar con stock de pegamento al frío para faja Rema SH-A 4004 sanitario.

i. Rodillos N°1 al 5

El análisis de los rodillos se hará en conjunto debido a que todos tienen el mismo diseño estructural. En la tabla 12 se dispone del análisis de modos y efectos de falla específicamente para el rodillo N°5.

Tabla 12. *Análisis de modos de efectos y fallas del rodillo N°5.*

SUB SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO	Si	CLASIFICACIÓN	CAUSA	Oi	MÉTODO DE DETECCIÓN	Di	NPRi	ACCIÓN
Estructura Interna	Proporcionar soporte y batir la castaña	Pérdida de integridad estructural	Desgaste, corrosión, fractura de la estructura interna	Interrupción del proceso de batido	9	Cr	Corrosión, carga excesiva, falta de mantenimiento preventivo	6	Inspección visual	6	324	Implementar un programa de mantenimiento preventivo que incluya inspecciones regulares y control de la carga. Verificar la integridad estructural.

Rodillo	Facilitar el batido de la castaña en cáscara	Pérdida de capacidad de giro	Desgaste del rodillo, bloqueo del eje de giro	Interrupción del proceso de batido	8	Cr	Desgaste, bloqueo del eje de giro, falta de lubricación, carga desigual	7	Monitoreo de vibración, inspección visual	5	280	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección, lubricación y reemplazo del rodillo y monitoreo del eje de giro.
Soportes	Sostener el rodillo y mantener su alineación	Pérdida de integridad de los soportes	Corrosión, fatiga, falta de alineación	Desalineación del rodillo, posibles daños estructurales	8	Cr	Corrosión, carga excesiva, falta de mantenimiento o preventivo, desalineación de los soportes	6	Inspección visual, alineación	6	288	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección, alineación y reemplazo de soportes. Verificar carga.
Motor	Proporcionar la potencia para el rodillo	Fallo del motor por cortocircuito o sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor	Detención completa del rodillo	8	Cr	Falta de mantenimiento o preventivo, sobrecarga	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	160	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Reductor de velocidad	Reducir la velocidad y aumentar el par del motor	Pérdida de velocidad de salida o de la transmisión mecánica por completo	Desgaste o rotura de la corona	Interrupción de la operación	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, desgaste, falta de lubricación	4	Inspección visual, monitoreo de temperatura, revisión periódica de lubricación	5	160	Implementar un programa de mantenimiento regular para inspección, lubricación y alineación del reductor de corona sin fin. Verificar el estado de la corona y el piñón periódicamente.
Polea	Transferir potencia al reductor	Falla de la transmisión de la polea	Desgaste o rotura de la correa de transmisión	Interrupción del proceso de batido	7	My	Desgaste, rotura de la correa de transmisión, tensión insuficiente	6	Inspección visual	4	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección, ajuste y reemplazo de la correa de transmisión. Verificar la tensión.

Chumaceras	Rotación del eje y estructura	Pérdida de rotación	Desgaste de chumaceras	Daño al sistema de transmisión, desalineación del eje	7	Cr	Desgaste, falta de mantenimiento preventivo	4	Monitoreo de temperatura y corriente	6	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección y reemplazo de chumaceras. Verificar desgaste y aplicar un programar de lubricación.
Eje	Transmitir potencia	Incapacidad para transmitir la potencia	Desgaste y rotura	Pérdida de eficiencia, aumento de temperatura, paro del equipo	8	Cr	Sobrecarga, desgaste	6	Monitoreo de temperatura y corriente	4	192	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Como plan de contingencia para el rodillo N°5 se propone contar con stock de sus sistemas más delicados:

- Ante falla en el sistema de transmisión: Contar con stock de chumaceras SFK SNLN 30402 x FRB 10/310 Di=200mm (2) y eje de acero de 200mm de diámetro por 8 m de largo (1).
- Ante falla del motorreductor: Contar con 1 motorreductor de back up marca WEG W22 de 5HP trifásico 380v con reductor: Modelo. Y15 228P, RPM1. 1750, RPM2. 69, Ratio. 25.32 (1)

- Ante fallas en el sistema eléctrico: Contar con stock de 1 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320, 1 relé térmico de 7 a 10A modelo LRD14, 1 contactor de 18A modelo LC1D18 M7, 1 pulsador de 22 mm N.O. y 1 pulsador de 22 mm N.C.

Se debe tener en cuenta que estos equipos son de alto costo, sin embargo, debido a la criticidad de este activo para la operación y teniendo en cuenta la cantidad de rodillos que se tiene en la planta, se optó por la compra de los repuestos back up.

Como resultado del análisis y considerando los sistemas básicos de mantenimiento se elabora el formato de mantenimiento preventivo para rodillos (figura 30).

Figura 30. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de rodillos

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE RODILLO						
CÓDIGO DE ACTIVO _____						
FECHA DE EJECUCIÓN _____						
RESPONSABLE _____						
					C: Correcto	
					O: Observado	
					Li: Limpieza	
					Ca: Cambio	
Item	Actividad	C	O	Li	Ca	Observaciones
1 Infraestructura						
1.1	Revisar el estado de ajuste de pernos					
1.2	Revisar el estado de los pernos, tuercas y arandela					
1.3	Revisar el estado de la estructura general					
1.4	Revisar el estado de la base del motor					
1.5	Revisar el estado de las compuertas					
2 Transmisión						
2.1	Revisar el estado del reductor (no presenta fugas de aceite, alineación del acople con el motor, análisis de sonido) y registrar temperatura.					
2.2	Revisar el estado de el eje (estructura, balanceo) y registrar temperatura					
2.3	Revisar el estado de las chumaceras (estructura, lubricación) y registrar temperatura					
2.4	Revisar el estado de las poleas					
2.5	Revisar el estado de la correa y lubricar					
2.6	Revisar el estado de el rodete					
3 Motor						
3.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico					
3.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes					
3.3	Limpieza del rotor y estator *					
3.4	Revisar el estado del ventilador y guarda					
3.5	Revisar el estado del rodamiento *					
3.6	Revisar el estado del eje (balanceo) *					
4 Sistema eléctrico						
4.1	Revisar el estado de su llave diferencial					
4.2	Revisar el estado de sus componentes eléctricos					
4.3	Revisar el estado de los cables eléctricos					
(*) Los ítems con esta marca deberán realizarse solo una vez al año y solo para equipos definidos como altamente críticos.						
Observaciones						
_____				_____		
Técnico de Mantenimiento				Encargado de Mantenimiento		

j. Intercambiadores de calor N°1 al 8

Del análisis de criticidad se tiene que los intercambiadores de calor N°1 al 4 son de criticidad baja, los N°6 y 7 son de criticidad media y los intercambiadores de calor N°7 y 8 son de criticidad media alta, por lo cual se procederá a realizar su análisis de modos de efectos y fallas (Tabla 13), posteriormente se desarrollará su formato de mantenimiento preventivo.

Tabla 13. *Análisis de modos de efectos y fallas de los intercambiadores de calor N°5, 8 y 9.*

SUB SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO	Si	CLASIFICACIÓN	CAUSA	Oi	MÉTODO DE DETECCIÓN	Di	NPRi	ACCIÓN
Intercambiador de calor de placas	Transferir calor entre dos fluidos	Pérdida de eficiencia en la transferencia de calor	Corrosión, obstrucción de las placas, fugas de fluido	Disminución de la eficiencia en el proceso	8	Cr	Corrosión, ambiente polvoriento, falta de limpieza y mantenimiento preventivo	7	Inspección visual	3	168	Plan de mantenimiento preventivo que incluya limpieza, inspección y control de la corrosión en las placas. Verificar el flujo de los fluidos.

Conexiones y tuberías	Transportar los fluidos	Pérdida de integridad de las conexiones o tuberías	Fugas de fluido	Interrupción del proceso, riesgo de daño al personal	10	Cr	Desgaste, corrosión, defectos en las conexiones, falta de mantenimiento	6	Inspección visual y monitoreo de presión	9	540	Implementar un programa de mantenimiento preventivo que incluya inspección, reparación y control de la corrosión. Verificar las conexiones y las tuberías.
Motor	Proporcionar la potencia para el soplador	Fallo del motor por cortocircuito o sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor	Detención completa del soplador	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	160	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura
Polea	Transferir potencia mecánica	Falla de la transmisión de la polea	Desgaste o rotura de la correa de transmisión	Interrupción del proceso de enfriado	7	My	Desgaste, rotura de la correa de transmisión, tensión insuficiente	6	Inspección visual	4	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección, ajuste y reemplazo de la correa de transmisión. Verificar la tensión.

Chumaceras	Rotación del eje y turbina	Pérdida de rotación	Desgaste de chumaceras	Daño al sistema de transmisión, desalineación del eje	7	Cr	Desgaste, falta de mantenimiento preventivo	4	Monitoreo de temperatura y corriente	6	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección y reemplazo de chumaceras. Verificar desgaste y aplicar un programar de lubricación.
Eje	Transmitir potencia	Incapacidad para transmitir la potencia	Desgaste y rotura	Pérdida de eficiencia, aumento de temperatura, paro del equipo	8	Cr	Sobrecarga, desgaste	6	Monitoreo de temperatura y corriente	4	192	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Del análisis de modos y efectos de falla y teniendo en cuenta conceptos generales de mantenimiento se desarrolla el formato de mantenimiento preventivo para intercambiadores de calor (Figura 31).

Figura 31. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de intercambiadores de calor.

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR						
CÓDIGO DE ACTIVO	_____				C: Correcto	
FECHA DE EJECUCIÓN	_____				O: Observado	
RESPONSABLE	_____				Li: Limpieza	
					Ca: Cambio	
Item	Actividad	C	O	Li	Ca	Observaciones
1 Infraestructura						
1.1	Revisar el estado de ajuste de pernos					
1.2	Revisar el estado de los pernos, tuercas y arandelas					
1.3	Revisar el estado de la malla de ingreso					
1.4	Revisar el estado de la estructura general					
2 Transmisión						
2.1	Revisar el estado del reductor (no presenta fugas de aceite, alineación del acople con el motor, análisis de sonido) y registrar temperatura.					
2.2	Revisar el estado de la correa y lubricar					
2.3	Revisar el estado de el eje (estructura, balanceo) y registrar temperatura					
2.4	Revisar el estado de la guarda					
2.5	Revisar el estado de las chumaceras (estructura, lubricación) y registrar temperatura					
3 Motor						
3.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico					
3.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes					
3.3	Revisar el estado del ventilador y guarda					
4 Sistema eléctrico						
4.1	Revisar el estado de su llave diferencial					
4.2	Revisar el estado de sus componentes eléctricos					
4.3	Revisar el estado de los cables eléctricos					
5 Sistema de vapor						
4.1	Revisar el estado de las válvulas					
4.2	Revisar el estado de las tuberías de vapor					
4.3	Revisar el estado de los componentes de la línea					
Observaciones						
_____				_____		
Técnico de Mantenimiento				Encargado de Mantenimiento		

k. Peladora N°1 y 2

Las peladoras son máquinas críticas a todo nivel, es por eso que se realizó un análisis de modos y efectos de falla exhaustivo (Tabla 14).

Tabla 14. *Análisis de modos de efectos y fallas de peladoras N°1 y 2*

SUB SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO	Si	CLASIFICACIÓN	CAUSA	Oi	MÉTODO DE DETECCIÓN	Di	NPRI	ACCIÓN
Estructura interna de la centrífuga	Facilitar la colisión de castañas	Pérdida de capacidad de colisión en la olla	Desgaste de las paredes, obstrucción	Pérdida de calidad en el proceso de pelado	9	Cr	Desgaste, obstrucción, falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	7	Monitoreo visual, inspección de desgaste	6	378	Programa de mantenimiento preventivo para inspección, limpieza y control de la carga. Verificar desgaste y obstrucciones.
Motor de la centrífuga	Proporcionar la potencia para la centrífuga	Fallo del motor por cortocircuito o sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor	Detención completa de la peladora	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	160	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Polea de la centrífuga	Transmitir la potencia entre el motor y la centrífuga	Falla de la transmisión de la polea	Desgaste o rotura de la correa de transmisión	Interrupción del proceso de centrifugado	7	M y	Desgaste, rotura de la correa de transmisión, tensión insuficiente	6	Inspección visual	4	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección, ajuste y reemplazo de la correa de transmisión. Verificar la tensión.
Eje de la centrífuga	Transmitir potencia	Incapacidad para transmitir la potencia	Desgaste y rotura	Pérdida de eficiencia, aumento de temperatura, paro del equipo	8	Cr	Sobrecarga, desgaste	6	Monitoreo de temperatura y corriente	4	192	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura
Estructura de las paletas superiores	Facilitar el transporte de la castaña	Pérdida de capacidad de transporte	Rotura de paletas, desgaste	Extender el tiempo del proceso de pelado	4	Cr	Rotura de paletas, desgaste, falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	7	Monitoreo visual, inspección de desgaste	6	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección, reemplazo y control de la carga. Verificar desgaste y rotura.

Motor de la paleta superior	Proporcionar la potencia para la paleta superior	Fallo del motor por cortocircuito o sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor	Extender el tiempo del proceso de pelado	4	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	80	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura
Reductor de velocidad de la paleta superior	Reducir la velocidad y aumentar el par del motor	Pérdida de velocidad de salida o de la transmisión mecánica por completo	Desgaste o rotura de la corona	Extender el tiempo del proceso de pelado	4	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, desgaste, falta de lubricación	4	Inspección visual, monitoreo de temperatura, revisión periódica de lubricación	5	80	Implementar un programa de mantenimiento regular para inspección, lubricación y alineación del reductor de corona sin fin. Verificar el estado de la corona y el piñón periódicamente.
Chumaceras de la paleta superior	Soporte y rotación de las paletas	Pérdida de soporte o rotación	Desgaste de chumaceras	Extender el tiempo del proceso de pelado	4	Cr	Desgaste, falta de mantenimiento preventivo	4	Inspección visual	5	80	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección y reemplazo de chumaceras. Verificar desgaste y aplicar un programar de lubricación.

Eje de la paleta superior	Transmitir potencia	Incapacidad para transmitir la potencia	Desgaste y rotura	Pérdida de eficiencia, aumento de temperatura, paro del equipo	8	Cr	Sobrecarga, desgaste	6	Monitoreo de temperatura y corriente	4	192	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura
Estructura del extractor de cáscara	Evitar que la cáscara de la castaña se disperse dentro del proceso	Dispersión de cáscara en el proceso	Debilitamiento estructural	Pérdida de contención de la cáscara	5	M y	Corrosión debido a la exposición a la humedad	1	Inspección visual	1	5	Inspección en el plan de mantenimiento
Rodete de extractor de cáscara	Generar la fuerza motriz para la extracción de la cáscara de las castañas	Pérdida de capacidad de extracción de cáscara	Rotura del rodete, desbalance	Interrupción del proceso de extracción	9	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, desgaste	7	Monitoreo visual, inspección de balance	6	378	Plan de mantenimiento preventivo, monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura y establecer frecuencia de balanceo del rodete.
Motor del extractor de cáscara	Proporcionar la potencia para el extractor de cáscara	Fallo del motor por cortocircuito o sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor	Extender el tiempo del proceso de pelado	4	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	80	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Chumaceras del extractor de cáscara	Soporte y rotación del rodete	Pérdida de soporte o rotación	Desgaste de chumaceras	Extender el tiempo del proceso de pelado	4	Cr	Desgaste, falta de mantenimiento preventivo	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	80	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección y reemplazo de chumaceras. Verificar desgaste y aplicar un programar de lubricación.
Eje del extractor de cáscara	Transmitir potencia	Incapacidad para transmitir la potencia	Desgaste y rotura	Pérdida de eficiencia, aumento de temperatura, paro del equipo	8	Cr	Sobrecarga, desgaste	6	Monitoreo de temperatura y corriente	4	192	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Como plan de contingencia se contará con un stock de repuestos de las partes más sensibles del equipo:

- Ante falla en el sistema de transmisión: Contar con stock de 2 chumaceras partidas de pie SKF SNL 520-617 + 2220 K + HA 320 combinación soporte-rodamiento con accesorios, 1 eje de acero de 87.4mm de diámetro por 1 m de largo y 3 chumaceras SKF SY511M.
- Ante falla del motor o motorreductor: Contar con 2 motor de back up marca WEG W22 de 7.5HP trifásico 380v, 1 motorreductor de 1/2 HP trifásico 380v con reductor de corona sin fin ratio 1/15.5.

- Ante fallas en el sistema eléctrico: Contar con stock de 6 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320, 2 relé térmico de 1 a 1.6 A modelo: LRD06, 2 relé de 9 a 13 A modelo: LRD16, 2 relé de 7 a 10 A modelo: LRD14, 6 contactor de 18A modelo LC1D18 M7, 6 pulsador de 22 mm N.O. y 6 pulsador de 22 mm N.C.

Figura 32. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de peladora (P. 1)

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PELADORA						
CÓDIGO DE ACTIVO	_____				C:	Correcto
FECHA DE EJECUCIÓN	_____				O:	Observado
RESPONSABLE	_____				Li:	Limpieza
					Ca:	Cambio
Item	Actividad	C	O	Li	Ca	Observaciones
1 Infraestructura						
1.1	Revisar el estado de ajuste de pernos					
1.2	Revisar el estado de los pernos, tuercas y arandelas					
1.3	Revisar el estado de las mallas internas y externas					
1.4	Revisar el estado de la estructura interna de la centrífuga					
1.5	Revisar el estado de la estructura interna de la paleta sup.					
1.6	Revisar el estado de la estructura interna del extractor de chala					
1.7	Revisar el estado de la estructura general					
1.8	Revisar el estado de la base del motor de la centrífuga					
1.9	Revisar el estado de la base del motor de la paleta sup.					
1.10	Revisar el estado de la base del motor del extractor de chala					
2 Transmisión						
2.1	Transmisión del motor de la centrífuga					
2.1.1	Revisar el estado de las poleas (estructura, balanceo)					
2.1.2	Revisar el estado de la correa y lubricar					
2.1.3	Revisar el estado del eje (estructura, balanceo) y registrar temperatura					
2.1.4	Revisar el estado de las chumaceras (estructura, lubricación) y registrar temperatura					
2.2	Transmisión del motor de la paleta superior					
2.2.1	Revisar el estado del reductor (no presenta fugas de aceite, alineación del acople con el motor, análisis de sonido) y registrar temperatura.					
2.2.2	Revisar el estado de los ejes (estructura, balanceo) y registrar temperatura					
2.2.3	Revisar el estado de las chumaceras (estructura, lubricación) y registrar temperatura					
2.4	Transmisión del motor del extractor de cáscara					
2.4.1	Revisar el estado de las poleas (estructura, balanceo)					
2.4.2	Revisar el estado de la correa y lubricar					
2.4.3	Revisar el estado del eje (estructura, balanceo) y registrar temperatura					
2.4.4	Revisar el estado de las chumaceras (estructura, lubricación) y registrar temperatura					

Figura 33. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de peladora (P. 2)

3	Motor						
3.1	Motor de la centrífuga						
3.1.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico						
3.1.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes						
3.1.3	Limpieza del rotor y estator *						
3.1.4	Revisar el estado del ventilador y guarda						
3.1.5	Revisar el estado del rodamiento *						
3.1.6	Revisar el estado del eje (balanceo) *						
3.2	Motor de la paleta superior						
3.2.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico						
3.2.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes						
3.2.3	Limpieza del rotor y estator *						
3.2.4	Revisar el estado del ventilador y guarda						
3.2.5	Revisar el estado del rodamiento *						
3.2.6	Revisar el estado del eje (balanceo) *						
3.3	Motor del extractor de chala						
3.3.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico						
3.3.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes						
3.3.3	Limpieza del rotor y estator *						
3.3.4	Revisar el estado del ventilador y guarda						
3.3.5	Revisar el estado del rodamiento *						
3.3.6	Revisar el estado del eje (balanceo) *						
4	Sistema eléctrico						
4.1	Revisar el estado de sus llaves termomagnéticas						
4.2	Revisar el estado de sus componentes eléctricos						
4.3	Revisar el estado de los cables eléctricos						

(*) Los ítems con esta marca deberán realizarse solo una vez al año y solo para equipos definidos como altamente críticos.

Observaciones

Técnico de Mantenimiento

Encargado de Mantenimiento

El formato de mantenimiento preventivo para las peladoras (figura 32 y 33) se desarrolló meticulosamente a partir de un exhaustivo análisis de modos y efectos de falla. Este proceso de diseño también incorporó cuidadosamente consideraciones generales de mantenimiento, lo que resultó en un enfoque integral para asegurar la óptima operación y longevidad de las peladoras.

1. Faja de reproceso N°1, 2, 3 y faja transportadora de selección manual

Según el análisis de criticidad de estos activos, se obtuvo que las fajas de reproceso N°1, 2 y 3 son de criticidad media y la faja de selección manual es de criticidad media-alta, por lo cual se procede a realizar su análisis de modos y efectos de falla.

Tabla 15. Análisis de modos de efectos de faja de selección manual

SUB SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO	Si	CLASIFICACIÓN	CAUSA	Oi	MÉTODO DE DETECCIÓN	Di	NPRI	ACCIÓN
Estructura de la faja	Soportar y mantener la faja transportadora	Fallo estructural	Corrosión, desgaste por abrasión, fatiga	Interrupción del proceso de transporte	9	Cr	Ambiente corrosivo, carga excesiva, falta de mantenimiento	2	Inspección visual	2	36	Plan de mantenimiento preventivo, inspecciones y regular o controlar la carga
Faja transportadora	Transportar la castaña en cáscara	Pérdida de tracción o rotura de la faja	Desgarro de la faja, deslizamiento o de la materia prima, rotura de los pliegues	Interrupción del proceso de transporte	8	Cr	Desgaste por abrasión, carga excesiva, desigualdad de cargas.	4	Inspección visual	4	128	Plan de mantenimiento preventivo, inspección de los pliegues y verificación de la alineación de la faja

Polines	Soportar y guiar la faja	Fallo de los polines	Desgaste de los polines o rodamientos, corrosión, deformación	Desalineación de la faja	4	M y	Desgaste, corrosión, falta de lubricación, carga excesiva	5	Inspección visual	4	80	Plan de mantenimiento preventivo, lubricación y stock de polines para cambio.
Motor	Proporcionar la potencia para el elevador	Fallo del motor por cortocircuito o sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor	Detención completa del elevador	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	160	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura
Reductor de velocidad	Reducir la velocidad y aumentar el par del motor	Pérdida de velocidad de salida o de la transmisión mecánica por completo	Desgaste o rotura de la corona	Interrupción de la operación	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, desgaste, falta de lubricación	4	Inspección visual, monitoreo de temperatura, revisión periódica de lubricación	5	160	Implementar un programa de mantenimiento regular para inspección, lubricación y alineación del reductor de corona sin fin. Verificar el estado de la corona y el piñón periódicamente.

Chumaceras	Soporte y rotación de los polines	Pérdida de soporte o rotación	Desgaste de chumaceras	Daño al sistema de transmisión, desalineación de la faja	7	Cr	Desgaste, falta de mantenimiento preventivo	4	Monitoreo de temperatura y corriente	6	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección y reemplazo de chumaceras. Verificar desgaste y aplicar un programar de lubricación.
Eje	Transmitir potencia	Incapacidad para transmitir la potencia	Desgaste y rotura	Pérdida de eficiencia, aumento de temperatura, paro del equipo	8	Cr	Sobrecarga, desgaste	6	Monitoreo de temperatura y corriente	4	192	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 15 se elabora el formato de mantenimiento preventivo de las fajas de reproceso y de la faja de selección manual (Figura 34).

Figura 34. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de faja transportadora de reproceso

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE FAJA TRANSPORTADORA DE REPROCESO						
CÓDIGO DE ACTIVO _____						
FECHA DE EJECUCIÓN _____						
RESPONSABLE _____						
						C: Correcto
						O: Observado
						Li: Limpieza
						Ca: Cambio
Item	Actividad	C	O	Li	Ca	Observaciones
1	Infraestructura					
1.1	Revisar el estado de ajuste de pernos					
1.2	Revisar el estado de los pernos, tuercas y arandelas					
1.3	Revisar el estado de la faja sanitaria					
1.4	Revisar el estado del templado de la faja					
1.5	Revisar el estado de la estructura general					
1.6	Revisar el estado de los polines					
1.7	Revisar el estado de la base del moto reductor					
2	Transmisión					
2.1	Revisar el estado del reductor (no presenta fugas de aceite, alineación del acople con el motor, análisis de sonido) y registrar temperatura.					
2.2	Revisar el estado de el eje (estructura, balanceo) y registrar temperatura					
2.3	Revisar el estado de las chumaceras (estructura, lubricación) y registrar temperatura					
3	Motor					
3.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico					
3.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes					
3.3	Revisar el estado del ventilador y guarda					
4	Sistema eléctrico					
4.1	Revisar el estado de su llave diferencial					
4.2	Revisar el estado de sus componentes eléctricos					
4.3	Revisar el estado de los cables eléctricos					
(*) Los ítems con esta marca deberán realizarse solo una vez al año y solo para equipos definidos como altamente críticos.						
Observaciones						
_____				_____		
Técnico de Mantenimiento				Encargado de Mantenimiento		

m. Estufa N°1, 2 y hornos cuadrados N°1 y 2

Tanto las estufas como los hornos cuadrados son de criticidad media, por lo cual se diseña un solo formato de mantenimiento preventivo para estos equipos (Figura 35).

Figura 35. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de estufas y hornos

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ESTUFA						
CÓDIGO DE ACTIVO	_____				C:	Correcto
FECHA DE EJECUCIÓN	_____				O:	Observado
RESPONSABLE	_____				Li:	Limpieza
					Ca:	Cambio

Item	Actividad	C	O	Li	Ca	Observaciones
1 Infraestructura						
1.1	Revisar el estado de ajuste de pernos					
1.2	Revisar el estado de los pernos, tuercas y arandelas					
1.3	Revisar el estado de la tapa					
1.4	Revisar el estado de la estructura interna					
1.5	Revisar el estado de la estructura externa					
2 Transmisión						
2.1	Revisar el estado de la polea					
2.2	Revisar el estado de la correa y lubricación					
2.3	Revisar el estado de el eje (estructura, balanceo) y registrar temperatura					
2.4	Revisar el estado de las chumaceras (estructura, lubricación) y registrar temperatura					
3 Motores						
3.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico					
3.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes					
3.3	Revisar el estado del ventilador y guarda					
4 Sistema eléctrico						
4.1	Revisar el estado de sus llave termomagnéticas					
4.2	Revisar el estado de sus componentes eléctricos					
4.3	Revisar el estado de los cables eléctricos					
5 Sistema de vapor						
5.1	Revisar el estado de las válvulas					
5.2	Revisar el estado de las tuberías de vapor					
5.3	Revisar el estado de los componentes de la línea					

Observaciones

_____	_____
Técnico de Mantenimiento	Encargado de Mantenimiento

n. Calderos de 300 y 100 BHP

Los calderos son los activos con mayor criticidad, esto se debe a que tienen un gran impacto a nivel operacional, a la vez, podrían provocar accidentes ya que es un equipo que trabaja a una alta presión y temperatura. Lo mencionado se relaciona con la tabla 16, en la cual se desarrolla el análisis de modos y efectos de falla.

Tabla 16. *Análisis de modos de efectos de calderos*

SUB SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO	Si	CLASIFICACIÓN	CAUSA	Oi	MÉTODO DE DETECCIÓN	Di	NPRi	ACCIÓN
Estructura	Soportar y mantener las partes del caldero	Fallo estructural	Corrosión, desgaste por abrasión	Fugas de vapor o agua	10	Cr	Ambiente corrosivo, carga excesiva, falta de mantenimiento	8	Inspección visual, análisis de corrosión, pruebas de líquido tintes penetrantes o ultrasonido	6	480	Plan de mantenimiento preventivo, inspecciones, pruebas de detección
Tubulares	Transferir calor	Pérdida de presión	Obstrucción o corrosión de los tubos	Reducción de eficiencia, pérdida de presión	10	Cr	Acumulación de sedimentos, corrosión	8	Monitoreo de presión y flujo de agua, inspección visual	4	320	Implementar un programa de limpieza y mantenimiento regular de los tubos.

		Pérdida de estanqueidad	Fisuras o agujeros en los tubos	Pérdida de agua y vapor, riesgo de daño	10	Cr	Corrosión, fatiga del material	8	Inspección visual, pruebas de presión	8	640	Implementar un programa de inspección y pruebas de presión periódicas.
Motor	Proporcionar la potencia para el rodete del ventilador	Fallo del motor por cortocircuito o sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor	El caldero no producirá vapor	8	Cr	Falta de mantenimiento preventivo, sobrecarga	4	Monitoreo de temperatura y corriente	5	160	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura
Chumaceras	Soporte y rotación de los polines	Pérdida de soporte o rotación	Desgaste de chumaceras	Daño al sistema de transmisión, desalineación de la faja	7	Cr	Desgaste, falta de mantenimiento preventivo	4	Monitoreo de temperatura y corriente	6	168	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspección y reemplazo de chumaceras. Verificar desgaste y aplicar un programar de lubricación.

Eje	Transmitir potencia	Incapacidad para transmitir la potencia	Desgaste y rotura	Pérdida de eficiencia, aumento de temperatura, paro del equipo	8	Cr	Sobrecarga, desgaste	6	Monitoreo de temperatura y corriente	4	192	Plan de mantenimiento preventivo y monitoreo de los parámetros de corriente y temperatura
Conexiones y tuberías	Transportar los fluidos	Pérdida de integridad de las conexiones o tuberías	Fugas de fluido	Interrupción del proceso, riesgo de daño al personal	10	Cr	Desgaste, corrosión, defectos en las conexiones, falta de mantenimiento	6	Inspección visual y monitoreo de presión	9	540	Implementar un programa de mantenimiento preventivo que incluya inspección, reparación y control de la corrosión. Verificar las conexiones y las tuberías.
Bomba de agua vertical	Bombeo de agua	Fallo de la bomba	Rotura, bloqueo, falta de succión	Detención del suministro de agua al caldero	7	Cr	Desgaste, obstrucción, problemas de succión	5	Monitoreo de presión y flujo de agua, inspección visual	5	175	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para las bombas y limpieza regular de las líneas de succión.

	Recirculación de agua	Fallo de la bomba	Rotura, bloqueo, falta de succión	Detención de la recirculación de agua, riesgo de sobrecalentamiento	7	Cr	Desgaste, obstrucción, problemas de succión	5	Monitoreo de presión y flujo de agua, inspección visual	5	175	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para las bombas de recirculación y limpieza regular de las líneas de succión.
Tanque	Almacenar agua o vapor	Fuga del tanque	Corrosión o agrietamiento	Pérdida de agua o vapor, riesgo de daño	6	Cr	Corrosión, desgaste, defectos en la soldadura	8	Inspección visual, pruebas de presión	8	384	Evaluar la calidad del material y realizar pruebas periódicas de presión.
	Controlar el flujo de agua	Pérdida de estanqueidad	Fugas, desgaste de sellos	Pérdida de agua, posible sobrecalentamiento, fugas a alta presión	10	Cr	Desgaste, envejecimiento de sellos	8	Inspección visual, pruebas de estanqueidad	8	640	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspeccionar y reemplazar sellos periódicamente.
Válvulas	Controlar el flujo de vapor	Pérdida de estanqueidad	Fugas, desgaste de sellos	Pérdida de vapor, pérdida de eficiencia	10	Cr	Desgaste, envejecimiento de sellos	8	Inspección visual, pruebas de estanqueidad	8	640	Implementar un programa de mantenimiento preventivo para inspeccionar y reemplazar sellos periódicamente.

Como plan de contingencia ante fallas con el caldero de 300 BHP, se cuenta con el caldero de 100 BHP como back up, el cual proporciona vapor a los principales procesos (vaporizado y secado), así mismo, se debe tener en stock los siguientes suministros:

- Para fallas en la línea de vapor: Tubo de 1’’x 6 m de fierro negro cédula 40, 4 codo de 1’’ de fierro negro cédula 40, 2 válvula esférica de 1’’ spirax sarco, 1 te de fierro negro cedula 40, empaquetaduras y sellos mecánicos.
- Para fallas en el motor: 1 motor 4 HP trifásico 380v Grundfos modelo M6100LC2.
- Ante fallas en el sistema eléctrico: 2 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320, 2 relé térmico de 7 a 10A modelo LRD14, 2 contactor de 18A modelo LC1D18 M7, 2 pulsador de 22 mm N.O. y 2 pulsador de 22 mm N.C.

Posteriormente se diseña el formato de mantenimiento preventivo para los calderos (figuras 36 y 37).

Figura 36. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de calderos (P. 1)

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE CALDERO						
CÓDIGO DE ACTIVO	<input type="text"/>			C:	Correcto	
FECHA DE EJECUCIÓN	<input type="text"/>			O:	Observado	
RESPONSABLE	<input type="text"/>			Li:	Limpieza	
				Ca:	Cambio	
Item	Actividad	C	O	Li	Ca	Observaciones
1	Infraestructura					
1.1	Revisar el estado de ajuste de pernos					
1.2	Revisar el estado de los pernos, tuercas y arandelas					
1.3	Revisar el estado de la puerta					
1.4	Realizar la limpieza interna y deshollinado					
1.5	Revisar el estado de la estructura general					
1.6	Revisar el estado de la base de la motobomba					
1.7	Revisar el estado de la base del motor del extractor					
1.8	Revisar el estado de la chimenea					
1.9	Revisar el estado del tanque ablandador de agua					
1.10	Inspección por ultrasonido *					
2	Transmisión del extractor					
2.1.1	Revisar el estado de las poleas (estructura, balanceo)					
2.2.2	Revisar el estado de las correa y lubricar					
2.2.3	Revisar el estado del eje (estructura, balanceo) y registrar temperatura					
2.2.4	Revisar el estado de las chumaceras (estructura, lubricación) y registrar temperatura					

Figura 37. Formato de orden de trabajo para mantenimiento preventivo de calderos (P. 2)

3	Motor - Bomba					
3.1	Motor del extractor					
3.1.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico					
3.1.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes					
3.1.3	Limpieza del rotor y estator *					
3.1.4	Revisar el estado del ventilador y guarda					
3.1.5	Revisar el estado del rodamiento *					
3.1.6	Revisar el estado del eje (balanceo) *					
3.2	Bomba vertical de alimentación					
3.2.1	Revisar el estado del cableado del motor eléctrico					
3.2.2	Revisar el estado de terminales en caja de bornes					
3.2.3	Revisar el estado del ventilador y guarda					
3.2.4	Verificar el acople entre el motor y la bomba					
3.2.5	Reemplazar los sellos y juntas mecánicas *					
3.2.6	Limpieza del rotor y estator *					
3.2.7	Revisar el estado del rodamiento *					
3.2.8	Revisar el estado del eje (balanceo) *					
4	Sistema eléctrico					
4.1	Sistema eléctrico del extractor					
4.1.1	Revisar el estado de sus llave termomagnéticas					
4.1.2	Revisar el estado de sus componentes eléctricos					
4.1.3	Revisar el estado de los cables eléctricos					
4.2	Sistema eléctrico de la bomba vertical					
4.1	Revisar el estado de sus llave termomagnéticas					
4.2	Revisar el estado de sus componentes eléctricos					
4.3	Revisar el estado de los cables eléctricos					
5	Sistema de vapor					
5.1	Revisar el estado de las válvulas de bola					
5.2	Revisar el estado de las válvulas de guillotina para purga					
5.3	Revisar el estado de la válvula de seguridad					
5.4	Revisar el estado de la válvula de alivio de presión					
5.5	Revisar el estado de las tuberías de vapor					
5.6	Revisar el estado de los componentes de la línea (visore					
<p>(*) Los ítems con esta marca deberán realizarse solo una vez al año y solo para equipos definidos como altamente críticos.</p> <p>Observaciones</p> <div style="border: 1px solid black; height: 50px; width: 100%;"></div>						
		_____		_____		
		Técnico de Mantenimiento		Encargado de Mantenimiento		

Una vez completados los formatos de mantenimiento preventivo y los planes de contingencia, se inicia el proceso de diseño del programa anual de mantenimiento preventivo. Este programa es fundamental para garantizar la confiabilidad y la eficiencia de las operaciones.

En esta etapa, se planifican las actividades de mantenimiento preventivo que se llevarán a cabo a lo largo del año. Esto incluye inspecciones, pruebas, limpiezas y lubricación periódica, así como la sustitución o el mantenimiento de piezas críticas. También se establecen los intervalos específicos para cada tarea, teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante y las necesidades específicas de cada equipo.

El programa anual de mantenimiento preventivo garantiza que las instalaciones y los equipos estén en óptimas condiciones de funcionamiento. También ayuda a minimizar los tiempos de inactividad no programada y a prevenir costosas reparaciones imprevistas. Cada detalle se considera cuidadosamente para garantizar la máxima eficacia y seguridad en las operaciones cotidianas.

Este proceso de planificación y diseño se realiza en estrecha colaboración con el equipo de mantenimiento y los responsables de las operaciones, para garantizar que el programa se adapte a las necesidades específicas de la empresa.

Para el programa anual de mantenimiento se consideran la disponibilidad de recursos (personal, herramientas, suministros, repuestos, etc.) y la coordinación con la operación, teniendo en cuenta sus paradas programadas.

Debido a la falta de manuales de mantenimiento de las máquinas, el plan de mantenimiento preventivo se basa en estimaciones y prácticas recomendadas por el equipo de mantenimiento. Este enfoque, aunque basado en estimaciones, se sustenta en la observación histórica y la experiencia del personal de mantenimiento. Esto permite crear un plan que se asemeje lo más posible a las mejores prácticas de mantenimiento. Sin embargo, es fundamental que, a medida que se acumule más experiencia y se disponga de más información, se ajusten y mejoren continuamente estos planes para mantener la eficiencia y la seguridad en las operaciones.

Teniendo en cuenta todos estos puntos se diseña el programa anual de mantenimiento preventivo para los equipos electromecánicos (figuras 38 y 39).

Figura 38. Programa anual de mantenimiento preventivo de equipos electromecánicos (P. 1)

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MÁQUINAS																																																		
DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DURACIÓN (HRS)	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SETIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Elevador N°01	MAQ-001	8																																																
Zaranda N°01	MAQ-002	6																																																
Ciclón de Polvos	MAQ-003	3																																																
Elevador N°02	MAQ-004	8																																																
Criba Giratoria	MAQ-005	6																																																
Transportador N°01	MAQ-006	8																																																
Elevador N°03	MAQ-007	8																																																
Transportador N°02	MAQ-008	8																																																
Rodillo N°01	MAQ-009	6																																																
Intercambiador de Calor N°01	MAQ-010	6																																																
Rodillo N°02	MAQ-011	6																																																
Intercambiador de Calor N°02	MAQ-012	6																																																
Rodillo N°03	MAQ-013	6																																																
Intercambiador de Calor N°03	MAQ-014	6																																																
Rodillo N°04	MAQ-015	6																																																
Intercambiador de Calor N°04	MAQ-016	6																																																
Transportador N°03	MAQ-017	8																																																
Elevador N°04	MAQ-018	8																																																
Transportador N°04	MAQ-020	8																																																
Transportador N°05	MAQ-021	8																																																
Transportador N°06	MAQ-022	8																																																
Elevador N°06	MAQ-023	8																																																

Así mismo, también se desarrollan los instructivos y programas de lubricación (figuras 40 y 41) teniendo en cuenta el activo, los componentes que se deberán lubricar, la tarea aplicable, la cantidad que se deberá suministrar de lubricante y la frecuencia (figuras 42, 43, 44, 45 y 46).

Figura 40. *Instructivo de lubricación de reductores*

INSTRUCTIVO DE LUBRICACIÓN DE REDUCTORES		
<p>1. OBJETIVO: Instruir al personal técnico sobre el correcto procedimiento para lubricar los reductores.</p> <p>2. ALCANCE: Toda la planta de PEM.</p> <p>3. HERRAMIENTA: Aceitera</p> <p>4. RESPONSABLE: Supervisor de mantenimiento</p>		
N°	TAREA	CONDICIONES DE SEGURIDAD – EPP A UTILIZAR
1	El supervisor de mantenimiento distribuirá las tareas de lubricación por zonas a los técnicos.	N.A.
2	El personal técnico deberá trasladar sus herramientas y suministros del taller a la planta.	Casco de seguridad, botas de seguridad, barbiquejo
3	Se verificará que el equipo esté apagado y con la llave termomagnética baja.	Casco de seguridad, botas de seguridad, barbiquejo
4	El personal técnico deberá verificar el estado y la pureza del aceite actual. Con esto se determinará si será necesario el cambio de aceite, mediante pruebas de viscosidad y observación de partículas en el fluido.	Casco de seguridad, botas de seguridad, barbiquejo
5	De ser necesario, se deberá retirar todo el aceite usado y depositar en un envase para posteriormente desecharlo. Se deberá retirar el seguro por donde se retira el aceite.	Casco de seguridad, botas de seguridad, barbiquejo
6	Si el aceite aun conserva sus propiedades se rellenará hasta las 3/4 partes del reductor. De igual manera si se procedió a retirar todo el aceite inservible, se deberá llenar de aceite el reductor hasta las 3/4 partes.	Casco de seguridad, botas de seguridad, barbiquejo
7	El técnico deberá asegurarse de que los seguros por donde se retira e ingresa el aceite estén correctamente cerrados, sin posibilidad de fuga.	Casco de seguridad, botas de seguridad, barbiquejo
8	El personal técnico deberá llenar la fecha en el formato de plan de lubricación y el encargado de mantenimiento deberá dar su visto bueno.	Casco de seguridad, botas de seguridad, barbiquejo

Figura 41. *Instructivo de lubricación de chumaceras*

INSTRUCTIVO DE LUBRICACIÓN DE CHUMACERAS		
<p>1. OBJETIVO: Instruir al personal técnico sobre el correcto procedimiento para lubricar las chumaceras.</p> <p>2. ALCANCE: Toda la planta de PEM.</p> <p>3. HERRAMIENTA: Engrasadora</p> <p>4. RESPONSABLE: Supervisor de Mantenimiento</p>		
N°	TAREA	CONDICIONES DE SEGURIDAD – EPP A UTILIZAR
1	El supervisor de mantenimiento distribuirá las tareas de lubricación por zonas a los técnicos	N.A.
2	El personal técnico deberá trasladar sus herramientas y suministros del taller a la planta.	Casco de seguridad, botas de seguridad y barbiquejo
3	Se verificará que el equipo esté en funcionamiento con la finalidad de que la grasa penetre a cada parte de los rodamientos y chumaceras.	Casco de seguridad, botas de seguridad y barbiquejo
4	El personal técnico deberá identificar según el programa de lubricación que tipo de grasa requiere colocar a la chumacera. Grasa A: Grasa para alta temperatura Grasa B: Grasa sanitaria	Casco de seguridad, botas de seguridad y barbiquejo
5	El personal técnico deberá aplicar la cantidad de bombeadas de grasa según lo especificado en el plan de lubricación.	Casco de seguridad, botas de seguridad y barbiquejo
6	El personal técnico deberá llenar la fecha en el formato de plan de lubricación y el encargado de mantenimiento deberá dar su visto bueno.	Casco de seguridad, botas de seguridad y barbiquejo

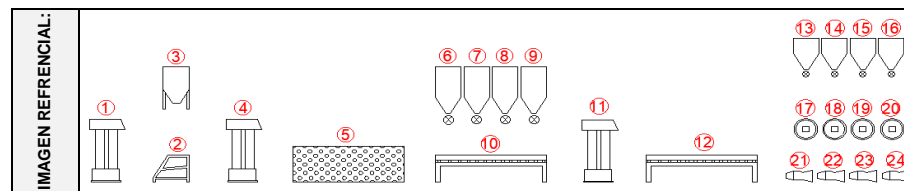
Figura 42. Plan de lubricación en zona I (P. 1)

PLAN DE LUBRICACIÓN - ZONA I

Tipo de Mantenimiento:	Preventivo
Responsable:	
Mes:	

NOTA:

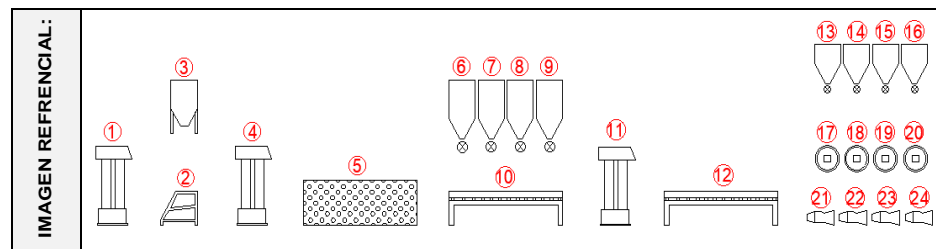
* La zona I contempla los siguientes procesos: Prelimpieza, Clasificación y Secado.



ITEM	EQUIPOS	PROCESO	CHUMACERA	REDUCTOR	TAREA	LUBRICANTE / MARCA	CANTIDAD	FRECUENCIA	FECHA
1	Elevador N°1	Prelimpieza	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección / cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
2	Zaranda vibratoria	Prelimpieza	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
3	Ciclón	Prelimpieza	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
4	Elevador N°2	Clasificación	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección / cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
5	Criba Giratoria	Clasificación	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección / cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
6	Silo de descanso N°1	Clasificación	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
7	Silo de descanso N°2	Clasificación	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
8	Silo de descanso N°3	Clasificación	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
9	Silo de descanso N°4	Clasificación	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
10	Transportador N°1	Secado	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección / cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
11	Elevador N°3	Secado	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección / cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
12	Transportador N°2	Secado	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección / cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
13	Silo de descanso N°5	Secado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
14	Silo de descanso N°6	Secado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
15	Silo de descanso N°7	Secado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
16	Silo de descanso N°8	Secado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

Figura 43. Plan de lubricación en zona I (P. 2)

PLAN DE LUBRICACIÓN - ZONA I



ITEM	EQUIPOS	PROCESO	CHUMACERA	REDUCTOR	TAREA	LUBRICANTE / MARCA	CANTIDAD	FRECUENCIA	FECHA
17	Rodillo N°1	Secado	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Semestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Anual	
18	Rodillo N°2	Secado	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Semestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Anual	
19	Rodillo N°3	Secado	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Semestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Anual	
20	Rodillo N°4	Secado	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Semestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Anual	
21	Intercambiador de calor N°1	Secado	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
22	Intercambiador de calor N°2	Secado		-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
23	Intercambiador de calor N°3	Secado	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
24	Intercambiador de calor N°4	Secado	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	

Observaciones:

Ejecutado por:

Supervisor de
mantenimiento

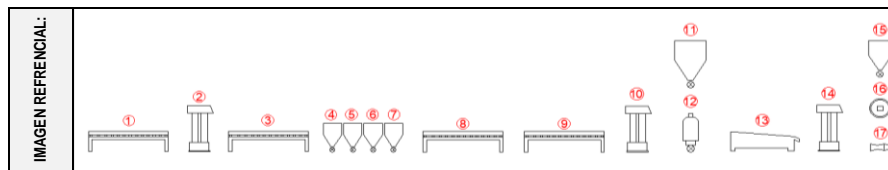
Figura 44. Plan de lubricación en zona II

PLAN DE LUBRICACIÓN ZONA II

Tipo de Mantenimiento:	Preventivo
Responsable:	
Mes:	

NOTA:

* La zona II contempla los siguientes procesos: Reposo, Vaporizado y Resecado.



ITEM	EQUIPOS	PROCESO	CHUMACERA	REDUCTOR	TAREA	LUBRICANTE / MARCA	CANTIDAD	FRECUENCIA	FECHA
1	Transportador N°3	Reposo	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
2	Elevador N°4	Reposo	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
3	Transportador N°4	Reposo	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
4	Silo de descanso N°9	Reposo	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
5	Silo de descanso N°10	Reposo	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
6	Silo de descanso N°11	Reposo	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
7	Silo de descanso N°12	Reposo	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
8	Transportador N°5	Vaporizado	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
9	Transportador N°6	Vaporizado	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
10	Elevador N°6	Vaporizado	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
11	Silo de descanso N°13	Vaporizado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
12	Autoclave	Vaporizado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
13	Zaranda vibratoria N°2	Vaporizado	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
14	Elevador N°7	Vaporizado	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
15	Silo de descanso N°14	Resecado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
16	Rodillo N°5	Resecado	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
17	Intercambiador de calor N°5	Resecado	2	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	

Observaciones:

Ejecutado por: _____

Supervisor de
Mantenimiento

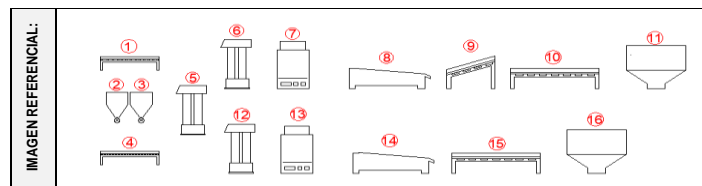
Figura 45 Plan de lubricación en zona III

PLAN DE LUBRICACIÓN - ZONA III

Tipo de Mantenimiento:	Preventivo
Responsable:	
Mes:	

NOTA:

* La zona III contempla el siguiente proceso: Descascarado.



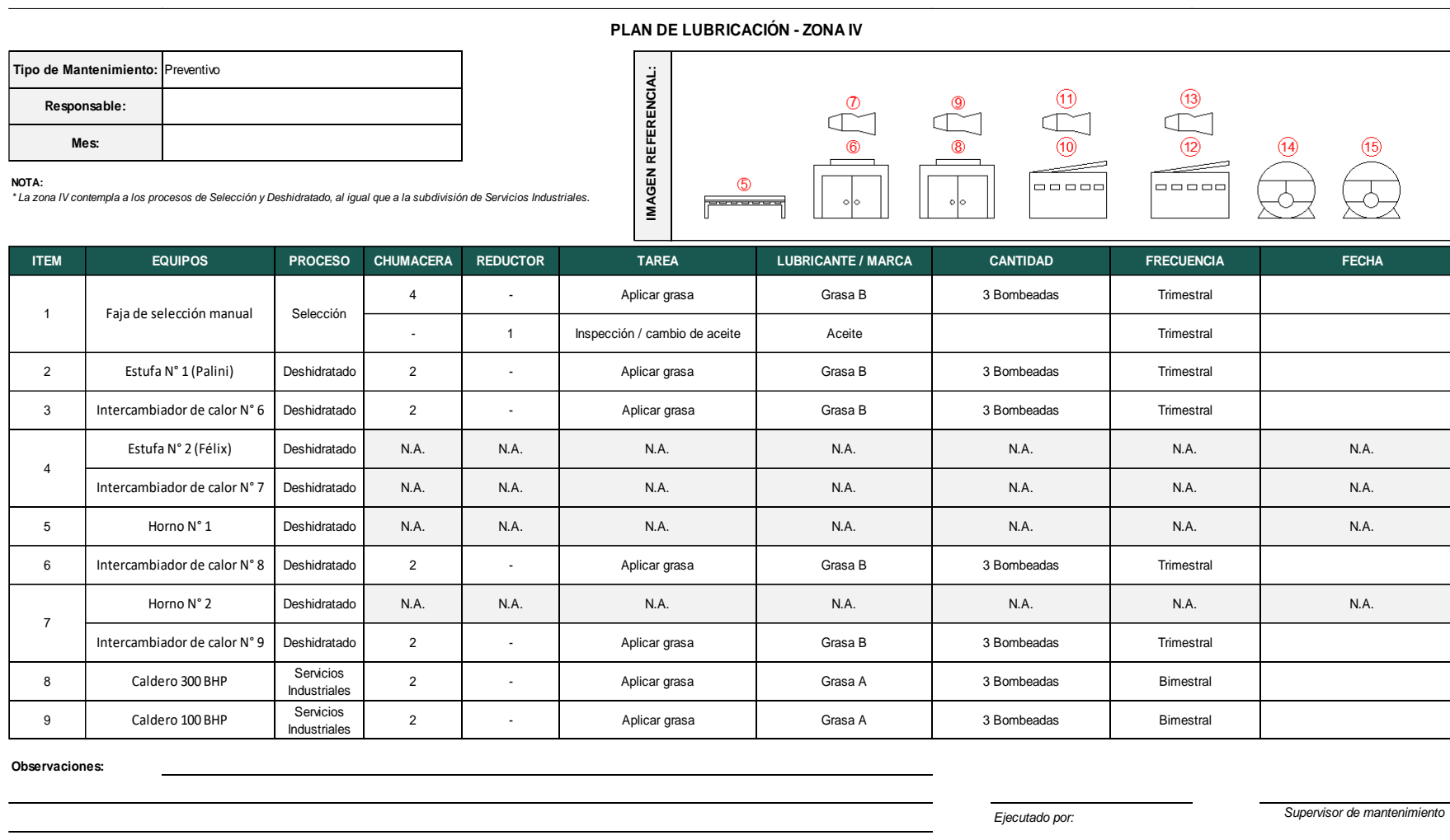
ITEM	EQUIPOS	PROCESO	CHUMACERA	REDUCTOR	TAREA	LUBRICANTE / MARCA	CANTIDAD	FRECUENCIA	FECHA
1	Transportador N°7	Descascarado	4	-	Aplicar grasa	Grasa A	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
2	Silo de descanso N° 15	Descascarado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
3	Silo de descanso N° 16	Descascarado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
4	Zaranda vibratoria 3	Descascarado	2	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
			4	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
5	Elevador N° 8	Descascarado	4	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
6	Elevador N° 9	Descascarado	4	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
7	Peladora N° 1	Descascarado	6	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
8	Zaranda vibratoria 4	Descascarado	2	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
			4	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
9	Faja de reproceso N° 1	Descascarado	4	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
10	Faja de reproceso N° 2	Descascarado	4	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
11	Chalero N° 1	Descascarado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
12	Elevador N° 10	Descascarado	4	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
13	Peladora N° 2	Descascarado	6	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
14	Zaranda vibratoria 5	Descascarado	2	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
			4	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
15	Faja de reproceso N° 3	Descascarado	4	-	Aplicar grasa	Grasa B	3 Bombeadas	Trimestral	
			-	1	Inspección/cambio de aceite	Aceite		Trimestral	
16	Chalero N° 2	Descascarado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

Observaciones:

Ejecutado por:

Supervisor de mantenimiento

Figura 46. Plan de lubricación en zona IV



A continuación, se elabora el formato de mantenimiento correctivo (figura 47), el cual nos ayudará a llevar un correcto historial de nuestros activos y a reducir tiempos de respuesta ante posibles fallas futuras.

Figura 47. Formato de orden de trabajo de mantenimiento correctivo

ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO			
I. DATOS GENERALES			
Orden de trabajo N°:		Fecha de inicio:	
Prioridad:		Fecha de finalización:	
Máquina/Equipo/Edif:		Código de activo:	
Programado:	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	Horómetro Equipo (Horas):	
II. DATOS DEL EQUIPO		III. MOTIVO DE INTERVENCIÓN	
Ubicación del equipo:			
Equipo:			
N° Equipo:			
IV. DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO REALIZADO			
V. REPUESTOS Y SUMINISTROS UTILIZADOS:			
CONCEPTO	CANTD.	CONCEPTO	CANTD.
1.		6.	
2.		7.	
3.		8.	
4.		9.	
5.		10.	
VI. HERRAMIENTAS UTILIZADAS:			
1.		6.	
2.		7.	
3.		8.	
4.		9.	
5.		10.	
VII. PERSONAL INVOLUCRADO		VIII. TIEMPO DE REPARACIÓN	
NOMBRE Y APELLIDOS		HORA INICIO:	HORA FIN:
1.			
2.			
3.		TIEMPO TOTAL (MIN):	
4.		PARADA DEL EQUIPO:	SI () NO ()
IX. OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES			
X. CONFORMIDAD			
_____		_____	
TÉCNICO DE MANTENIMIENTO		SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO	

Como método para evaluar la causa raíz de los problemas en los mantenimientos correctivos se desarrolla el formato de ACR (figuras 48, 49, 50 y 51) el cual se desarrolla en 4 etapas:

Figura 48. Formato ACR paso 1 (5W+1H)

Descripción del incidente (5W + 1H)	Pregunta (5W+1H)		Descripción
	¿Qué	pasó exactamente? hechos ocurrieron?	
	¿Dónde	ocurrió el problema?	
	¿Quién	participó o se involucró?	
	¿Cuál(es)	son los productos, materiales o personal afectados?	
	¿Cuándo	fue que pasó?	
	¿Cuánto	es la pérdida?	
	Nueva descripción del Problema:		

Figura 49. *Formato ACR paso 2 (Diagrama de causa efecto)*



Figura 50. Formato ACR paso 3 (5 Porque)

5 Porque - Aplíquelo a las causa probables o ramas mas probables analizadas en el diagrama Causa - Efecto (Espina de Pescado)						
ACR - 5 porque	1	Causa 1:	2	Causa 2:	3	Causa 3:
	¿Por qué?		¿Por qué?		¿Por qué?	
	¿Por qué?		¿Por qué?		¿Por qué?	
	¿Por qué?		¿Por qué?		¿Por qué?	
	¿Por qué?		¿Por qué?		¿Por qué?	
	¿Por qué? (Causa Raiz)		¿Por qué? (Causa Raiz)		¿Por qué? (Causa Raiz)	

Figura 51. *Formato ACR paso 4 (Acciones correctivas)*

Acciones correctivas	Nr.	Haga una lista de las acciones correctivas que solucionen las causas raices identificadas	Responsable	Fecha	Status (H-EP-P)
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				

En los procedimientos para mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo se definen los objetivos, alcances, documentos asociados, responsabilidades y disposiciones generales. Así mismo se elabora el flujograma de mantenimiento preventivo (figura 52) y el flujograma de mantenimiento correctivo (figura 53) para un entendimiento más dinámico.

Figura 52. *Flujograma de mantenimiento preventivo*

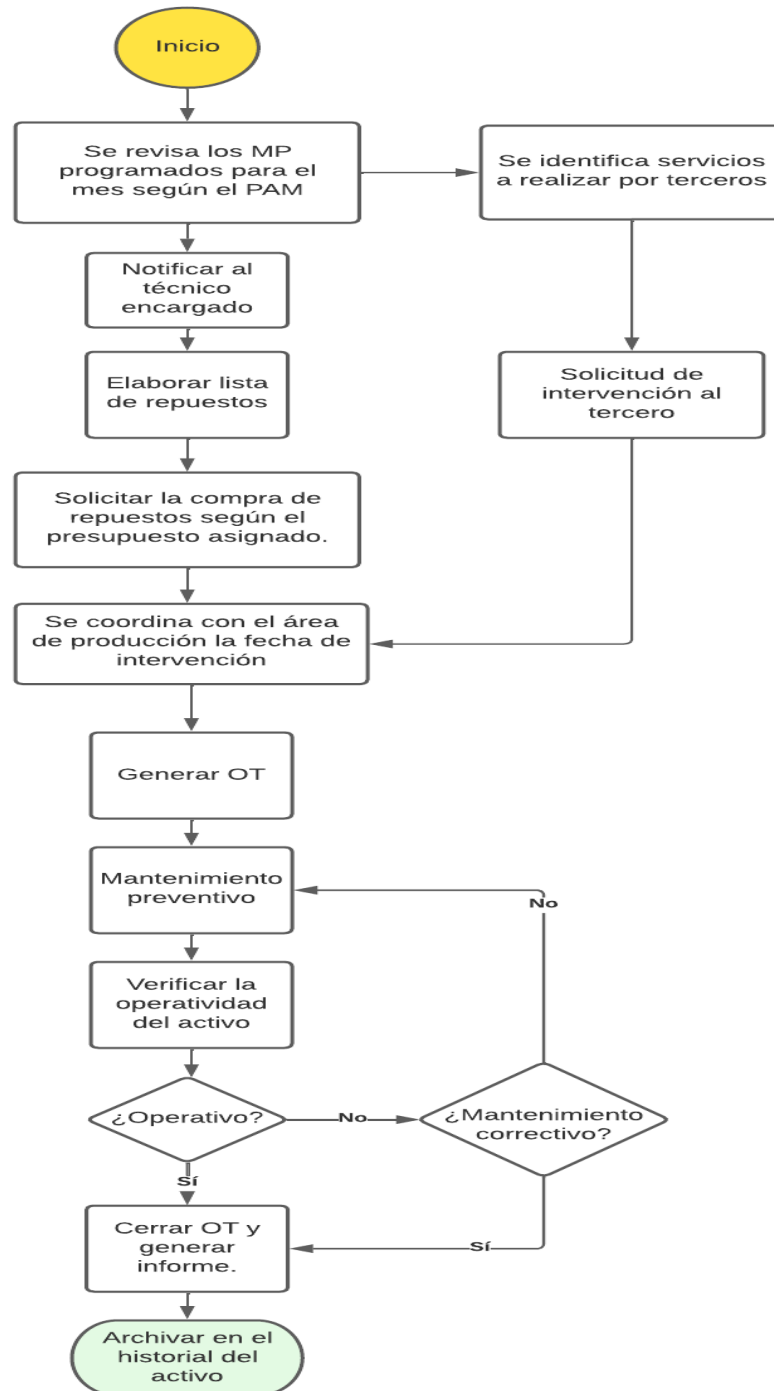
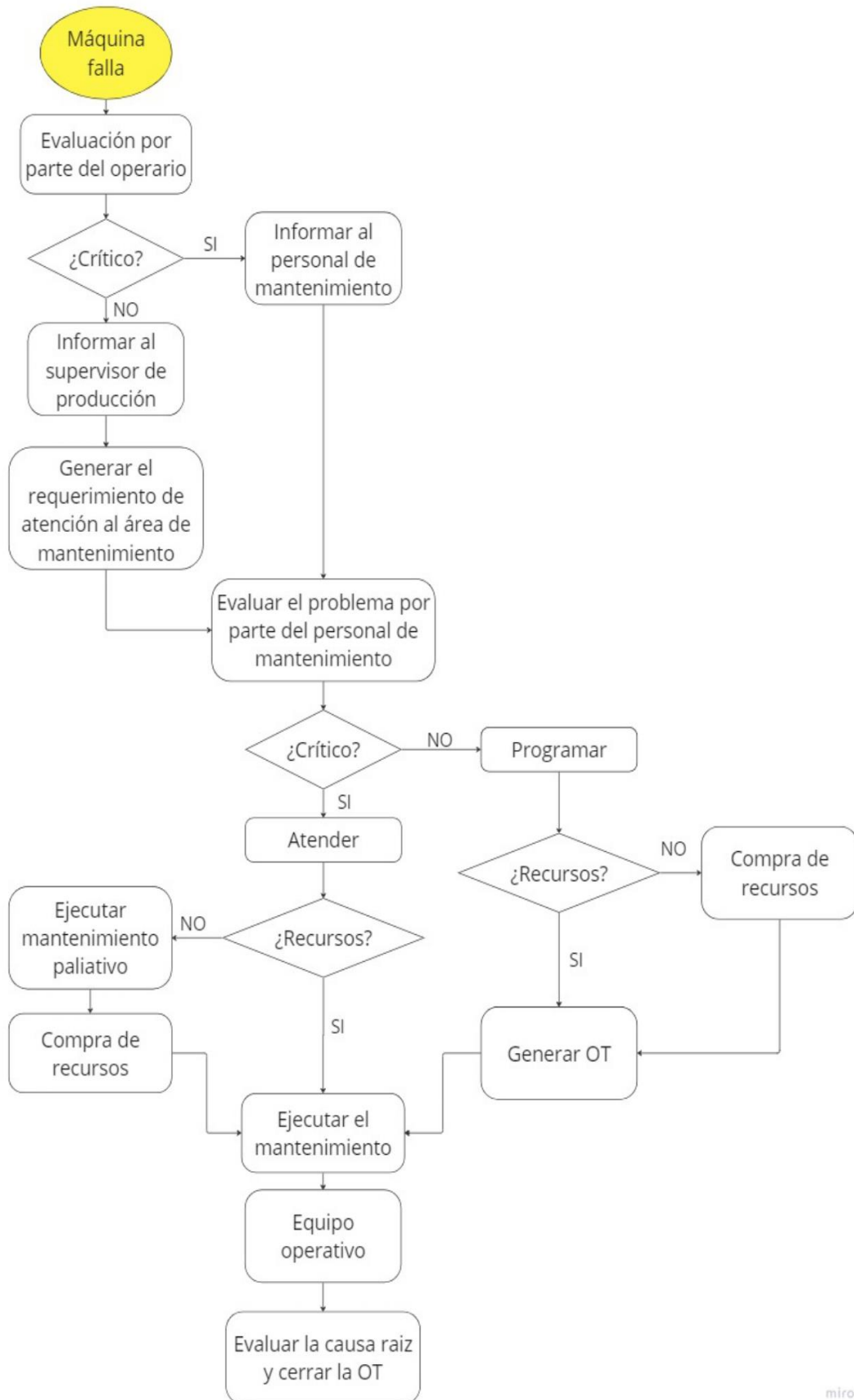


Figura 53. *Flujograma de mantenimiento correctivo*



miro

Para implementar un buen sistema de compras, se evalúa el stock necesario de repuestos teniendo en cuenta la cantidad de equipos que cuentan con un mismo componente, el costo del repuesto y la importancia del repuesto para el equipo. Se puede prescindir del cálculo del espacio ocupado en el almacén, ya que el área de almacenamiento para repuestos de mantenimiento es amplia (400 m²). También se deberá tener en cuenta el stock de repuestos definido como plan de contingencia para los activos altamente críticos.

Tabla 17. *Cantidad de máquinas según diseño.*

Máquina	Cantidad
Elevadores de cangilones	9
Zarandas	4
Ciclón de polvos	1
Criba giratoria	1
Transportadores	7
Rodillos giratorios	5
Intercambiadores de calor	9
Peladoras	2
Fajas de reproceso	4
Estufas y hornos	4
Calderos	2

La cantidad de repuestos en stock será directamente proporcional a la cantidad de máquinas con un mismo diseño que se tenga en el proceso.

a. Elevador de cangilones

1 plancha de fierro negro 1.20 x 2.40 x 0.002 m

8 chumaceras SKF SY511M

2 eje de fierro acerado de $D = 0.1 \text{ m}$ x $L = 1 \text{ m}$

56 m de faja 3 pliegues Dunlop café de nylon con caucho, ancho: 0.6m

100 pernos de acero cincado con doble arandela plana y tuerca con seguro nylon

60 cangilones de fierro negro

2 motorreductor WEG 5 HP trifásico 380v con reductor WEG modelo G58224NK00GAW, rpm 1: 1750, rpm 2: 107, ratio: 16.4

2 llave termomagnética de 3x20A modelo A9F74320

2 relé térmico de 7 a 10A modelo LRD14

2 contactor de 18A modelo LC1D18 M7

2 pulsador de 22 mm N.O.

2 pulsador de 22 mm N.C.

b. Zarandas vibratorias

1 motor WEG de 3 HP trifásico 380v 3600 RPM

2 chumaceras SFK UCP209

1 eje de acero de 54mm de diámetro por 1.45 m de largo

2 brazos de transmisión mecánico

2 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320

2 relé térmico de 7 a 10A modelo LRD14

2 contactor de 18A modelo LC1D18 M7

2 pulsador de 22 mm N.O.

2 pulsador de 22 mm N.C.

1 correa de transmisión optibelt B55

c. Ciclón de polvos

1 correa de transmisión optibelt B60

d. Criba giratoria

1 motorreductor WEG de 2 HP trifásico 380v con reductor WEG modelo G58237NK00EPW; rpm 1: 1750, rpm 2: 25.8, ratio: 67.9

e. Transportadores

4 chumaceras SFK FY 508M

1 eje de acero de 80mm de diámetro por 1.20 m de largo

1 motorreductor de back up marca WEG de 5HP trifásico 380v con reductor: Cod. 302.416 ratio 1/14

2 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320

2 relé térmico de 7 a 10A modelo LRD14

2 contactor de 18A modelo LC1D18 M7

2 pulsador de 22 mm N.O.

2 pulsador de 22 mm N.C.

1 pegamento al frío para faja Rema SH-A 4004 sanitario

40 m de faja 3 pliegues Dunlop café de nylon con caucho, ancho: 0.4m

f. Rodillos giratorios

2 chumaceras SFK SNLN 30402 x FRB 10/310 Di=200mm

1 eje de acero de 200mm de diámetro por 8 m de largo

1 motorreductor WEG W22 de 5HP trifásico 380v con reductor: modelo Y15 228P, rpm 1: 1750, rpm 2: 69, ratio. 25.32

2 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320

2 relé térmico de 7 a 10A modelo LRD14

2 contactor de 18A modelo LC1D18 M7

2 pulsador de 22 mm N.O.

2 pulsador de 22 mm N.C.

4 correa de transmisión B85

g. Intercambiadores de calor

1 motor WEG W22 de 5HP trifásico 380v

2 correa de transmisión B75

1 tubo de ½” x 6 m de fierro negro cédula 40

2 codo ½’’ cédula 40
1 visor de condensado de ½’’ para alta temperatura y presión
1 trampa “y” para vapor de ½’’
1 “te” para vapor de ½’’ cédula 40
3 válvulas esféricas de ½’’ spirax sarco 150 PSI
2 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320
2 relé térmico de 7 a 10A modelo LRD14
2 contactor de 18A modelo LC1D18 M7
2 pulsador de 22 mm N.O.
2 pulsador de 22 mm N.C.

h. Peladoras

2 chumaceras partidas de pie SKF SNL 520-617 + 2220 K + HA 320 combinación soporte-rodamiento con accesorios
1 eje de acero de 87.4mm de diámetro por 1 m de largo
3 chumacera SKF SY511M
2 motor WEG W22 de 7.5 HP trifásico 380v
1 motorreductor de 1/2 HP trifásico 380v con reductor de corona sin fin ratio 1/15.5
3 correa de transmisión optibelt B72
2 correa de transmisión optibelt B70
6 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320
2 relé térmico de 1 a 1.6 A modelo: LRD06
2 relé térmico de 9 a 13 A modelo: LRD16
2 relé de 7 a 10 A modelo: LRD14
6 contactor de 18A modelo LC1D18 M7

6 pulsador de 22 mm N.O.

6 pulsador de 22 mm N.C.

i. Fajas de reproceso

40 m de faja pvc sanitaria, ancho: 0.6m, espesor: 5mm

6 polines de acero inoxidable de 2'' x 0.7m

2 polines de acero inoxidable de 6'' x 0.7m

1 motorreductor de 3 HP trifásico 380v con reductor rpm 1: 1762, rpm 2: 48 -
Ratio: 36.85

4 chumaceras SFK FY 508M

1 eje de acero de 80mm de diámetro por 1.20 m de largo

2 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320

2 relé térmico de 4 a 6.3 amperios/ modelo: LRD10

2 contactor de 18A modelo LC1D18 M7

2 pulsador de 22 mm N.O.

2 pulsador de 22 mm N.C.

j. Estufas y hornos

1 motor WEG 7.5 HP trifásico 380v

3 correa de transmisión optibelt B72

2 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320

2 relé térmico de 12 a 18 amperios/ modelo: LRD21

2 contactor de 18A modelo LC1D18 M7

2 pulsador de 22 mm N.O.

2 pulsador de 22 mm N.C.

k. Calderos

2 tubos de 1''x 6 m de fierro negro cédula 40

- 4 codo de 1'' de fierro negro cédula 40
- 2 válvula esférica de 1'' spirax sarco 300 PSI
- 1 te de fierro negro cedula 40
- 1 plancha de empaquetadura no asbesto de 3/16''
- 1 motor 4 HP trifásico 380v Grunofos modelo M6100LC2
- 3 correas de transmisión B77
- 2 llave termomagnética 3x20A modelo A9F74320
- 2 relé térmico de 12 a 18A modelo LRD21
- 2 contactor de 18A modelo LC1D18 M7
- 2 pulsador de 22 mm N.O.
- 2 pulsador de 22 mm N.C.

Debido a los largos plazos de entrega de los repuestos críticos, se ha establecido un stock mínimo para cada máquina. En caso de que se agote un repuesto, se debe solicitar su compra de inmediato.

En la tabla 18 se muestra un resumen de los insumos requeridos anualmente para mantenimiento, así como un comparativo de los costos en Lima y Madre de Dios.

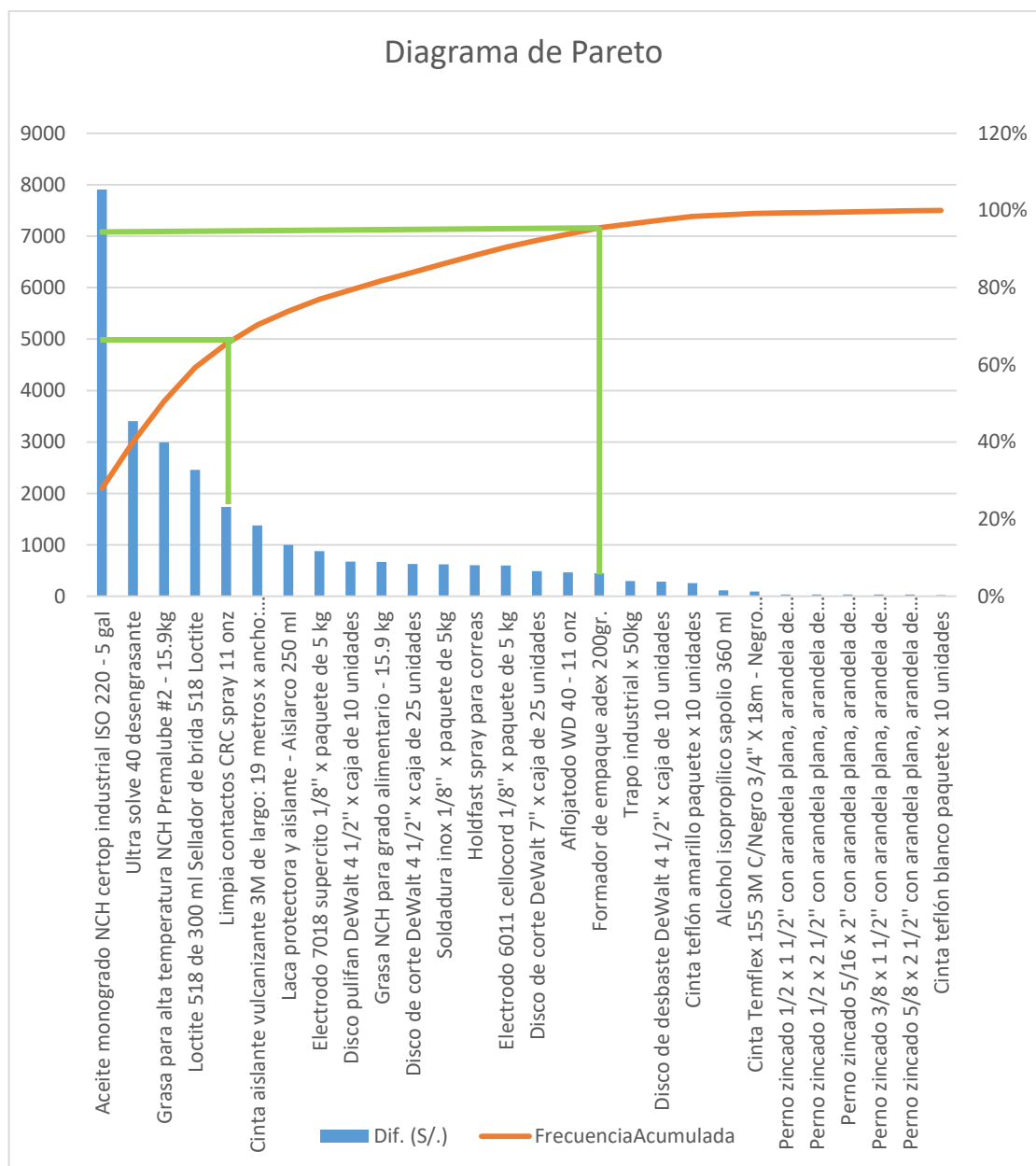
Tabla 18. *Insumos para mantenimiento y comparativo de precios Lima – Madre de Dios*

Descripción	Cant.	C.U.	C.U.	C.P.	C.P.	Dif.
		(S/.) Lima	(S/.) MDD	(S/.) Lima	(S/.) MDD	
Grasa para alta temperatura NCH Premalube #2 - 15.9kg	4	575	1323	2300	5292	2992
Grasa NCH para grado alimentario - 15.9 kg	1	596	1265	596	1265	669
Aceite mono grado NCH Certop industrial ISO220 - 5 gal	6	982	2300	5892	13800	7908
Hold fast spray para correas	8	78	154	624	1232	608
Ultra solve 40 desengrasante	8	674	1100	5392	8800	3408
Limpia contactos CRC spray 11 onz	30	45	103	1350	3090	1740

Alcohol isopropílico sapolio 360 ml	8	24	39	192	312	120
Afloja todo WD 40 - 11 onz	36	32	45	1152	1620	468
Laca protectora y aislante - Aislarco 250 ml	8	145	270	1160	2160	1000
Cinta aislante vulcanizante 3M de largo: 19 metros x ancho: 9mm	12	110	225	1320	2700	1380
Cinta Temflex 155 3M C/Negro 3/4" X 18m - Negro (Paquete por 10 unidades)	15	4.5	11	67.5	165	97.5
Disco de corte DeWalt 4 1/2" x caja de 25 unidades	10	170	233	1700	2330	630
Disco de corte DeWalt 7" x caja de 25 unidades	4	205	328	820	1312	492
Disco de desbaste DeWalt 4 1/2" x caja de 10 unidades	5	63	120	315	600	285
Disco pulifan DeWalt 4 1/2" x caja de 10 unidades	5	180	315	900	1575	675
Cinta teflón amarillo paquete x 10 unidades	3	78	163	234	489	255
Cinta teflón blanco paquete x 10 unidades	3	15	23	45	69	24
Trapo industrial x 50kg	5	240	300	1200	1500	300
Formador de empaque adex 200gr.	10	27	72	270	720	450
Loctite 518 de 300 ml Sellador de brida 518 Loctite	10	344	590	3440	5900	2460
Electrodo 6011 cellocord 1/8" x paquete de 5 kg	6	110	210	660	1260	600
Electrodo 7018 supercito 1/8" x paquete de 5 kg	6	118	265	708	1590	882
Soldadura inox 1/8" paquete de 5kg	3	160	368	480	1104	624
Perno cincado 1/2 x 1 1/2" con arandela plana, arandela de presión y tuerca	200	0.8	1	160	200	40
Perno cincado 1/2 x 2 1/2" con arandela plana, arandela de presión y tuerca	200	0.8	1	160	200	40
Perno cincado 5/16 x 2" con arandela plana, arandela de presión y tuerca	200	0.8	1	160	200	40
Perno cincado 3/8 x 1 1/2" con arandela plana, arandela de presión y tuerca	200	0.8	1	160	200	40
Perno cincado 5/8 x 2 1/2" con arandela plana, arandela de presión y tuerca	200	0.8	1	160	200	40

Teniendo claro la diferencia de costos, se desarrolla el diagrama de Pareto enfatizando el sobre costo que conlleva comprar los insumos en la ciudad de Madre de Dios. Este diagrama actúa como una lupa que amplía la magnitud de las diferencias de precios y revela la urgencia de optimizar nuestra estrategia de adquisición de repuestos críticos. Cada barra en el gráfico representa no solo una diferencia de costos, sino una oportunidad de ahorro que, en conjunto, puede transformar radicalmente nuestra eficiencia operativa y la gestión de recursos, ofreciendo un acto magistral de economía y eficiencia.

Figura 54. Diagrama de Pareto de insumos de mantenimiento



Analizando el diagrama de Pareto se identifican los productos cuyas compras representan los mayores costos en términos de adquisición. Estos productos son considerados críticos desde una perspectiva financiera. Tales productos incluyen aceite mono grado NCH Certop industrial ISO 220, grasa para alta temperatura NCH Premalube #2, grasa NCH para grado alimentario, Loctite 518 y limpia contactos CRC.

Se establece un punto de corte, como el 80% de los costos totales de adquisición, para enfocarse en los productos más costosos.

Posteriormente, se procede a plantear las acciones para el control de gastos:

- Desarrollar la cartera de proveedores en Lima buscando acuerdos favorables enfocando la adquisición de suministros y repuestos críticos para reducir los costos de adquisición.
- Implementar un sistema de gestión de inventarios eficiente para evitar el exceso de stock o escasez de productos críticos.
- Realizar una evaluación de los tiempos de entrega en la ciudad de Madre de Dios para los productos adquiridos en Lima.

4.2.1 Pruebas realizadas

Se analiza los indicadores MTTR, MTBF y disponibilidad para cada equipo, según las fórmulas 3, 4 y 5 durante el periodo comprendido entre el 01/10/2021 y el 30/09/2022. Los resultados obtenidos pertenecen al periodo antes de la implementación del plan de mantenimiento y se basan en la información recopilada.

1. Elevador N°1

Tabla 19. *Historial de mantenimiento del elevador N°1 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
15	4/10/2021	Correctivo	12	
74	22/10/2021	Correctivo	4	
133	12/11/2021	Correctivo	1.5	
184	30/11/2021	Correctivo	3.5	
203	7/12/2021	Correctivo	4.5	4512
234	17/12/2021	Correctivo	11	
308	14/01/2022	Correctivo	13	
340	26/01/2022	Correctivo	4	
354	1/02/2022	Correctivo	15	

418	21/02/2022	Correctivo	2.5
436	28/02/2022	Correctivo	3.5
462	10/03/2022	Correctivo	12
493	22/03/2022	Correctivo	1.5
519	1/04/2022	Correctivo	24
557	16/04/2022	Correctivo	2.5
592	29/04/2022	Correctivo	5
637	17/05/2022	Correctivo	14
649	23/05/2022	Correctivo	22
685	4/06/2022	Correctivo	5
715	14/06/2022	Correctivo	11
749	27/06/2022	Correctivo	1.5
789	11/07/2022	Correctivo	12
822	23/07/2022	Correctivo	2
846	2/08/2022	Correctivo	13
873	13/08/2022	Correctivo	3.5
906	25/08/2022	Correctivo	15
969	16/09/2022	Correctivo	4.5
1008	30/09/2022	Correctivo	3.5

$$MTBF = \frac{4512}{28} = 161.14$$

$$MTTR = \frac{226.5}{28} = 8.09$$

$$Disponibilidad = \frac{161.14}{161.14 + 8.09} = 95.22\%$$

2. Zaranda N°1

Tabla 20. *Historial de mantenimiento de la zaranda N°1 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
149	17/11/2021	Correctivo	11	
370	5/02/2022	Correctivo	5	
593	29/04/2022	Correctivo	16.5	4512
794	14/07/2022	Correctivo	4	
979	20/09/2022	Correctivo	3.5	

$$MTBF = \frac{4512}{5} = 961.4$$

$$MTTR = \frac{40}{5} = 8$$

$$Disponibilidad = \frac{902.4}{902.4 + 8} = 99.12\%$$

3. Ciclón de polvos

Tabla 21. *Historial de mantenimiento del ciclón de polvos – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
211	9/12/2021	Correctivo	12	4512
407	18/02/2022	Correctivo	1.5	
609	6/05/2022	Correctivo	11	
898	22/08/2022	Correctivo	4.5	

$$MTBF = \frac{4512}{4} = 1128$$

$$MTTR = \frac{29}{4} = 7.25$$

$$Disponibilidad = \frac{1128}{1128 + 7.25} = 99.36\%$$

4. Elevador N°2

Tabla 22. *Historial de mantenimiento del elevador N°2 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
16	4/10/2021	Correctivo	13	4512
31	8/10/2021	Correctivo	2.5	
59	18/10/2021	Correctivo	1.5	
135	13/11/2021	Correctivo	4	
145	16/11/2021	Correctivo	13	
209	8/12/2021	Correctivo	11	
263	28/12/2021	Correctivo	5	
275	1/01/2022	Correctivo	3.5	
293	10/01/2022	Correctivo	21	
371	5/02/2022	Correctivo	4	
409	19/02/2022	Correctivo	2.5	
437	1/03/2022	Correctivo	13	
480	17/03/2022	Correctivo	3.5	
504	26/03/2022	Correctivo	1.5	
572	22/04/2022	Correctivo	4	
576	23/04/2022	Correctivo	4.5	
624	12/05/2022	Correctivo	8	

666	29/05/2022	Correctivo	13
687	5/06/2022	Correctivo	2.5
727	20/06/2022	Correctivo	5
760	2/07/2022	Correctivo	4.5
798	15/07/2022	Correctivo	13
874	13/08/2022	Correctivo	7
915	27/08/2022	Correctivo	12
958	11/09/2022	Correctivo	7.5
994	25/09/2022	Correctivo	3

$$MTBF = \frac{4512}{26} = 173.54$$

$$MTTR = \frac{183}{26} = 7.04$$

$$Disponibilidad = \frac{173.54}{173.54 + 7.04} = 96.10\%$$

5. Criba giratoria

Tabla 23. *Historial de mantenimiento la criba giratoria – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1	1/10/2021	Correctivo	3	
38	10/10/2021	Correctivo	2	
105	3/11/2021	Correctivo	4	
192	3/12/2021	Correctivo	1.5	
200	6/12/2021	Correctivo	3	
283	5/01/2022	Correctivo	5	
362	3/02/2022	Correctivo	1	
375	6/02/2022	Correctivo	13	4512
454	7/03/2022	Correctivo	2.5	
533	6/04/2022	Correctivo	2	
615	8/05/2022	Correctivo	1.5	
693	7/06/2022	Correctivo	1	
772	6/07/2022	Correctivo	4	
857	8/08/2022	Correctivo	6	
942	7/09/2022	Correctivo	2	

$$MTBF = \frac{4512}{15} = 300.8$$

$$MTTR = \frac{105.5}{15} = 7.03$$

$$Disponibilidad = \frac{300.8}{300.8 + 7.03} = 97.72\%$$

6. Transportador N°1

Tabla 24. *Historial de mantenimiento del transportador N°1 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
19	5/10/2021	Correctivo	4.5	
60	18/10/2021	Correctivo	4	
94	30/10/2021	Correctivo	3.5	
124	11/11/2021	Correctivo	12	
162	23/11/2021	Correctivo	5	
201	6/12/2021	Correctivo	3	
241	19/12/2021	Correctivo	2.5	
269	31/12/2021	Correctivo	3.5	
300	12/01/2022	Correctivo	10	
332	24/01/2022	Correctivo	2.5	
376	6/02/2022	Correctivo	8	
410	19/02/2022	Correctivo	4	
442	4/03/2022	Correctivo	11	
481	17/03/2022	Correctivo	3.5	
511	29/03/2022	Correctivo	22	
541	10/04/2022	Correctivo	4.5	4506
573	22/04/2022	Correctivo	5	
605	5/05/2022	Correctivo	1.5	
639	18/05/2022	Correctivo	3	
674	31/05/2022	Correctivo	3.5	
706	12/06/2022	Correctivo	4.5	
741	25/06/2022	Correctivo	2.5	
780	8/07/2022	Correctivo	32	
817	21/07/2022	Correctivo	5	
847	2/08/2022	Correctivo	3.5	
879	15/08/2022	Correctivo	6	
916	27/08/2022	Correctivo	9	
950	9/09/2022	Correctivo	2.5	
985	22/09/2022	Correctivo	1.5	
1011	24/09/2022	Correctivo	14	

$$MTBF = \frac{4506}{30} = 150.2$$

$$MTTR = \frac{197}{30} = 6.57$$

$$Disponibilidad = \frac{150.2}{150.2 + 6.57} = 95.81\%$$

7. Elevador N°3

Tabla 25. *Historial de mantenimiento del elevador N°3 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
7	3/10/2021	Correctivo	5	
51	16/10/2021	Correctivo	12	
85	28/10/2021	Correctivo	3	
118	9/11/2021	Correctivo	4	
159	21/11/2021	Correctivo	10	
193	3/12/2021	Correctivo	2.5	
228	15/12/2021	Correctivo	3.5	
260	27/12/2021	Correctivo	8.5	
289	8/01/2022	Correctivo	4.5	
321	20/01/2022	Correctivo	5	
355	1/02/2022	Correctivo	3.5	
395	13/02/2022	Correctivo	2.5	
427	25/02/2022	Correctivo	17	
459	9/03/2022	Correctivo	3	
491	21/03/2022	Correctivo	4	
521	2/04/2022	Correctivo	12	4506
550	14/04/2022	Correctivo	5	
585	26/04/2022	Correctivo	4.5	
616	8/05/2022	Correctivo	1	
643	20/05/2022	Correctivo	2	
677	1/06/2022	Correctivo	33	
710	13/06/2022	Correctivo	1.5	
742	25/06/2022	Correctivo	4.5	
776	7/07/2022	Correctivo	5	
810	19/07/2022	Correctivo	10	
840	31/07/2022	Correctivo	2.5	
867	12/08/2022	Correctivo	14	
903	24/08/2022	Correctivo	3.5	
937	5/09/2022	Correctivo	11	
972	17/09/2022	Correctivo	3	

$$MTBF = \frac{4506}{30} = 150.2$$

$$MTTR = \frac{200.5}{30} = 6.68$$

$$Disponibilidad = \frac{150.2}{150.2 + 6.68} = 95.74\%$$

8. Transportador N°2

Tabla 26. *Historial de mantenimiento del transportador N°2 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
27	7/10/2021	Correctivo	4.5	
65	19/10/2021	Correctivo	2.5	
96	31/10/2021	Correctivo	3.5	
125	11/11/2021	Correctivo	11	
163	23/11/2021	Correctivo	5	
198	5/12/2021	Correctivo	12	
235	17/12/2021	Correctivo	1.5	
265	29/12/2021	Correctivo	13	
294	10/01/2022	Correctivo	2.5	
327	22/01/2022	Correctivo	5	
363	3/02/2022	Correctivo	4	
400	15/02/2022	Correctivo	32	
432	27/02/2022	Correctivo	4.5	
467	11/03/2022	Correctivo	5	
496	23/03/2022	Correctivo	2	
525	4/04/2022	Correctivo	3.5	4506
558	16/04/2022	Correctivo	1.5	
588	28/04/2022	Correctivo	4	
619	10/05/2022	Correctivo	2.5	
648	22/05/2022	Correctivo	5	
682	3/06/2022	Correctivo	3.5	
717	15/06/2022	Correctivo	19	
750	27/06/2022	Correctivo	4.5	
783	9/07/2022	Correctivo	14	
818	21/07/2022	Correctivo	3	
848	2/08/2022	Correctivo	2	
875	14/08/2022	Correctivo	9	
912	26/08/2022	Correctivo	4.5	
943	7/09/2022	Correctivo	3.5	
976	19/09/2022	Correctivo	5	

$$MTBF = \frac{4506}{30} = 150.2$$

$$MTTR = \frac{192.5}{30} = 6.42$$

$$Disponibilidad = \frac{150.2}{150.2 + 6.42} = 95.90\%$$

9. Rodillo N°1

Tabla 27. Historial de mantenimiento del rodillo N°1 – 1er periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
2	1/10/2021	Correctivo	14	4599.5
119	9/11/2021	Correctivo	1.5	
238	18/12/2021	Correctivo	12	
341	26/01/2022	Correctivo	20	
455	7/03/2022	Correctivo	3.5	
553	15/04/2022	Correctivo	11	
651	24/05/2022	Correctivo	4	
761	2/07/2022	Correctivo	13	
863	10/08/2022	Correctivo	4.5	
974	18/09/2022	Correctivo	9	

$$MTBF = \frac{4599.5}{10} = 459.95$$

$$MTTR = \frac{92.5}{10} = 9.25$$

$$Disponibilidad = \frac{459.95}{459.95 + 9.25} = 98.03\%$$

10. Intercambiador de calor N°1

Tabla 28. Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°1 – 1er periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
20	5/10/2021	Correctivo	12	4599.5
139	14/11/2021	Correctivo	3.5	
250	23/12/2021	Correctivo	11.5	
356	1/02/2022	Correctivo	3.5	
469	12/03/2022	Correctivo	4	
570	21/04/2022	Correctivo	10	
671	30/05/2022	Correctivo	5	
781	8/07/2022	Correctivo	21	
882	16/08/2022	Correctivo	3	
995	25/09/2022	Correctivo	4.5	

$$MTBF = \frac{4599.5}{10} = 459.95$$

$$MTTR = \frac{78}{10} = 7.80$$

$$Disponibilidad = \frac{459.95}{459.95 + 7.80} = 98.33\%$$

11. Rodillo N°2

Tabla 29. Historial de mantenimiento del rodillo N°2 – 1er periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
28	7/10/2021	Correctivo	12	4667
146	16/11/2021	Correctivo	2	
364	3/02/2022	Correctivo	11	
577	23/04/2022	Correctivo	3.5	
679	2/06/2022	Correctivo	2.5	
895	20/08/2022	Correctivo	13	
1004	28/09/2022	Correctivo	8	

$$MTBF = \frac{4667}{7} = 666.71$$

$$MTTR = \frac{52}{7} = 7.43$$

$$Disponibilidad = \frac{666.71}{666.71 + 7.43} = 98.90\%$$

12. Intercambiador de calor N°2

Tabla 30. Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°2 – 1er periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
39	10/10/2021	Correctivo	8	4667
154	19/11/2021	Correctivo	1.5	
372	5/02/2022	Correctivo	12	
478	16/03/2022	Correctivo	4	
686	4/06/2022	Correctivo	3.5	
792	13/07/2022	Correctivo	17	
1009	30/09/2022	Correctivo	5	

$$MTBF = \frac{4667}{7} = 666.71$$

$$MTTR = \frac{51}{7} = 7.29$$

$$Disponibilidad = \frac{666.71}{666.71 + 7.29} = 98.92\%$$

13. Rodillo N°3

Tabla 31. *Historial de mantenimiento del rodillo N°3 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
23	6/10/2021	Correctivo	3	
61	18/10/2021	Correctivo	11	
176	27/11/2021	Correctivo	4.5	
194	3/12/2021	Correctivo	3.5	
229	15/12/2021	Correctivo	12	
335	25/01/2022	Correctivo	8	
379	7/02/2022	Correctivo	24	
411	19/02/2022	Correctivo	5	
446	5/03/2022	Correctivo	12	4593
506	27/03/2022	Correctivo	11	
559	17/04/2022	Correctivo	2.5	
581	25/04/2022	Correctivo	3.5	
610	6/05/2022	Correctivo	4	
722	18/06/2022	Correctivo	3	
745	26/06/2022	Correctivo	4	
767	5/07/2022	Correctivo	8	
886	17/08/2022	Correctivo	5	

$$MTBF = \frac{4593}{17} = 270.17$$

$$MTTR = \frac{124}{17} = 7.29$$

$$Disponibilidad = \frac{270.17}{270.17 + 7.29} = 97.37\%$$

14. Intercambiador de calor N°3

Tabla 32. Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°3 – 1er periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
121	10/11/2021	Correctivo	13.5	4593
367	4/02/2022	Correctivo	2.5	
536	7/04/2022	Correctivo	13	
707	12/06/2022	Correctivo	3	
900	23/08/2022	Correctivo	17	
1005	29/09/2022	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{4593}{6} = 765.5$$

$$MTTR = \frac{53}{6} = 8.83$$

$$Disponibilidad = \frac{765.5}{765.5 + 8.83} = 98.86\%$$

15. Rodillo N°4

Tabla 33. Historial de mantenimiento del rodillo N°4 – 1er periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
172	26/11/2021	Correctivo	4.5	4601
476	15/03/2022	Correctivo	15	
601	2/05/2022	Correctivo	1.5	
795	14/07/2022	Correctivo	2.5	
887	18/08/2022	Correctivo	14	
1001	27/09/2022	Correctivo	8	

$$MTBF = \frac{4601}{6} = 766.83$$

$$MTTR = \frac{45.5}{6} = 7.58$$

$$Disponibilidad = \frac{766.83}{766.83 + 7.58} = 99.02\%$$

16. Intercambiador de calor N°4

Tabla 34. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°4 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
29	7/10/2021	Correctivo	3.5	
75	22/10/2021	Correctivo	8	
106	3/11/2021	Correctivo	5	
152	18/11/2021	Correctivo	22	
188	2/12/2021	Correctivo	2.5	
236	17/12/2021	Correctivo	4.5	
301	12/01/2022	Correctivo	13	
343	27/01/2022	Correctivo	1.5	
389	11/02/2022	Correctivo	4	4601
505	26/03/2022	Correctivo	5	
551	14/04/2022	Correctivo	3.5	
667	29/05/2022	Correctivo	14	
711	13/06/2022	Correctivo	5	
752	28/06/2022	Correctivo	4.5	
793	13/07/2022	Correctivo	20	
921	28/08/2022	Correctivo	3.5	
960	12/09/2022	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{4601}{17} = 270.65$$

$$MTTR = \frac{123.5}{17} = 7.26$$

$$Disponibilidad = \frac{270.65}{270.65 + 7.26} = 97.39\%$$

17. Transportador N°3

Tabla 35. *Historial de mantenimiento del transportador N°3 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
368	4/02/2022	Correctivo	9	
728	20/06/2022	Correctivo	5	4727.5
967	15/09/2022	Correctivo	12	

$$MTBF = \frac{4727.5}{3} = 1575.83$$

$$MTTR = \frac{26}{3} = 8.67$$

$$Disponibilidad = \frac{1575.83}{1575.83 + 8.67} = 99.45\%$$

18. Elevador N°4

Tabla 36. *Historial de mantenimiento del elevador N°4 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
8	3/10/2021	Correctivo	13	
35	9/10/2021	Correctivo	3.5	
52	16/10/2021	Correctivo	4.5	
81	25/10/2021	Correctivo	2	
103	2/11/2021	Correctivo	8	
126	11/11/2021	Correctivo	15	
155	20/11/2021	Correctivo	10	
170	25/11/2021	Correctivo	2	
189	2/12/2021	Correctivo	4	
219	11/12/2021	Correctivo	3	
239	18/12/2021	Correctivo	4.5	
261	27/12/2021	Correctivo	3.5	
285	6/01/2022	Correctivo	8	
311	15/01/2022	Correctivo	5	
323	21/01/2022	Correctivo	11	
349	30/01/2022	Correctivo	3	4727.5
373	5/02/2022	Correctivo	2	
397	14/02/2022	Correctivo	2.5	
423	24/02/2022	Correctivo	3.5	
447	5/03/2022	Correctivo	4	
473	13/03/2022	Correctivo	27	
492	21/03/2022	Correctivo	4.5	
507	27/03/2022	Correctivo	5	
526	4/04/2022	Correctivo	2	
544	12/04/2022	Correctivo	3	
571	21/04/2022	Correctivo	3.5	
672	30/05/2022	Correctivo	4.5	
696	8/06/2022	Correctivo	14	
802	16/07/2022	Correctivo	22	
996	25/09/2022	Correctivo	5	

$$MTBF = \frac{4727.5}{30} = 157.58$$

$$MTTR = \frac{202.5}{30} = 6.75$$

$$Disponibilidad = \frac{157.58}{157.58 + 6.75} = 95.89\%$$

19. Transportador N°4

Tabla 37. Historial de mantenimiento del transportador N°4 – 1er periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
4	2/10/2021	Correctivo	4	
36	9/10/2021	Correctivo	2.5	
66	19/10/2021	Correctivo	7	
86	28/10/2021	Correctivo	14	
112	6/11/2021	Correctivo	3.5	
143	15/11/2021	Correctivo	11	
190	2/12/2021	Correctivo	5	
226	14/12/2021	Correctivo	3	
309	14/01/2022	Correctivo	5	
328	23/01/2022	Correctivo	12	
357	1/02/2022	Correctivo	3.5	4727.5
463	10/03/2022	Correctivo	2.5	
487	20/03/2022	Correctivo	4	
594	29/04/2022	Correctivo	6	
612	7/05/2022	Correctivo	15	
634	16/05/2022	Correctivo	1.5	
659	26/05/2022	Correctivo	6	
777	7/07/2022	Correctivo	4	
883	16/08/2022	Correctivo	3.5	
913	26/08/2022	Correctivo	22	
935	4/09/2022	Correctivo	5	

$$MTBF = \frac{4727.5}{21} = 225.12$$

$$MTTR = \frac{140}{21} = 6.66$$

$$Disponibilidad = \frac{225.12}{225.12 + 6.66} = 97.13\%$$

20. Transportador N°5

Tabla 38. *Historial de mantenimiento del transportador N°5 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
17	4/10/2021	Correctivo	13	
53	16/10/2021	Correctivo	4	
95	30/10/2021	Correctivo	4.5	
127	11/11/2021	Correctivo	1	
171	25/11/2021	Correctivo	2	
204	7/12/2021	Correctivo	3.5	
242	19/12/2021	Correctivo	1.5	
270	31/12/2021	Correctivo	14	
297	11/01/2022	Correctivo	2.5	
329	23/01/2022	Correctivo	5	
369	4/02/2022	Correctivo	3.5	
403	16/02/2022	Correctivo	2	4672
510	28/03/2022	Correctivo	4.5	
545	12/04/2022	Correctivo	1	
579	24/04/2022	Correctivo	3	
606	5/05/2022	Correctivo	12	
638	17/05/2022	Correctivo	1	
755	29/06/2022	Correctivo	4.5	
835	30/07/2022	Correctivo	3.5	
868	12/08/2022	Correctivo	5	
914	26/08/2022	Correctivo	14	
949	8/09/2022	Correctivo	1.5	
986	22/09/2022	Correctivo	2	

$$MTBF = \frac{4672}{23} = 203.13$$

$$MTTR = \frac{159}{23} = 6.91$$

$$Disponibilidad = \frac{203.13}{203.13 + 6.91} = 96.71\%$$

21. Transportador N°6

Tabla 39. *Historial de mantenimiento del transportador N°6 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
9	3/10/2021	Correctivo	2.5	4672

47	15/10/2021	Correctivo	3.5
177	27/11/2021	Correctivo	1
210	8/12/2021	Correctivo	4
302	12/01/2022	Correctivo	3
424	24/02/2022	Correctivo	4.5
448	5/03/2022	Correctivo	5
560	17/04/2022	Correctivo	2
668	29/05/2022	Correctivo	3.5
703	11/06/2022	Correctivo	1.5
736	23/06/2022	Correctivo	3.5
766	4/07/2022	Correctivo	4
884	16/08/2022	Correctivo	2.5
922	28/08/2022	Correctivo	5
951	9/09/2022	Correctivo	1
984	21/09/2022	Correctivo	3

$$MTBF = \frac{4672}{16} = 292$$

$$MTTR = \frac{117}{16} = 7.31$$

$$Disponibilidad = \frac{292}{292 + 7.31} = 97.56\%$$

22. Elevador N°6

Tabla 40. *Historial de mantenimiento del elevador N°6 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
42	11/10/2021	Correctivo	4.5	
77	23/10/2021	Correctivo	4	
156	20/11/2021	Correctivo	2	
191	2/12/2021	Correctivo	1	
230	15/12/2021	Correctivo	3.5	
264	28/12/2021	Correctivo	2.5	
292	9/01/2022	Correctivo	3	
324	21/01/2022	Correctivo	4.5	4672
360	2/02/2022	Correctivo	15	
401	15/02/2022	Correctivo	1.5	
433	27/02/2022	Correctivo	2	
470	12/03/2022	Correctivo	4	
501	25/03/2022	Correctivo	3.5	
529	5/04/2022	Correctivo	2.5	
563	18/04/2022	Correctivo	5	

595	30/04/2022	Correctivo	3
625	12/05/2022	Correctivo	11
655	25/05/2022	Correctivo	4.5
689	6/06/2022	Correctivo	3.5
724	19/06/2022	Correctivo	2
758	1/07/2022	Correctivo	1.5
796	14/07/2022	Correctivo	4
828	27/07/2022	Correctivo	5
858	8/08/2022	Correctivo	1
896	21/08/2022	Correctivo	12
933	3/09/2022	Correctivo	2.5
970	16/09/2022	Correctivo	3.5
1006	29/09/2022	Correctivo	4

$$MTBF = \frac{4672}{28} = 166.86$$

$$MTTR = \frac{148}{28} = 5.29$$

$$Disponibilidad = \frac{166.86}{166.86 + 5.29} = 96.93\%$$

23. Zaranda N°2

Tabla 41. *Historial de mantenimiento de la zaranda N°2 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
18	4/10/2021	Correctivo	3	
150	17/11/2021	Correctivo	13	
185	30/11/2021	Correctivo	4.5	
221	12/12/2021	Correctivo	5	
256	25/12/2021	Correctivo	3.5	
288	7/01/2022	Correctivo	2.5	
322	20/01/2022	Correctivo	11	
361	2/02/2022	Correctivo	13	4246.5
477	15/03/2022	Correctivo	4	
663	28/05/2022	Correctivo	2	
712	13/06/2022	Correctivo	4.5	
746	26/06/2022	Correctivo	5	
778	7/07/2022	Correctivo	15	
814	20/07/2022	Correctivo	3	
901	23/08/2022	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{4246.5}{15} = 283.1$$

$$MTTR = \frac{93}{15} = 6.20$$

$$Disponibilidad = \frac{283.1}{283.1 + 6.20} = 97.86\%$$

24. Elevador N°7

Tabla 42. *Historial de mantenimiento del elevador N°7 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
10	3/10/2021	Correctivo	3	
48	15/10/2021	Correctivo	3.5	
54	16/10/2021	Correctivo	7	
62	18/10/2021	Correctivo	15	
89	29/10/2021	Correctivo	2	
97	31/10/2021	Correctivo	11	
128	11/11/2021	Correctivo	4.5	
136	13/11/2021	Correctivo	3	
165	24/11/2021	Correctivo	1.5	
173	26/11/2021	Correctivo	24	
205	7/12/2021	Correctivo	5	
212	9/12/2021	Correctivo	3.5	
247	22/12/2021	Correctivo	13	
279	4/01/2022	Correctivo	2	
314	17/01/2022	Correctivo	4.5	
350	30/01/2022	Correctivo	12	4246.5
392	12/02/2022	Correctivo	3.5	
428	25/02/2022	Correctivo	4	
464	10/03/2022	Correctivo	8	
497	23/03/2022	Correctivo	5	
530	5/04/2022	Correctivo	22	
564	18/04/2022	Correctivo	3	
598	1/05/2022	Correctivo	3.5	
629	14/05/2022	Correctivo	4.5	
635	16/05/2022	Correctivo	2	
660	27/05/2022	Correctivo	14	
669	29/05/2022	Correctivo	5	
697	9/06/2022	Correctivo	4	
701	10/06/2022	Correctivo	32	
732	22/06/2022	Correctivo	4	
737	23/06/2022	Correctivo	13	

768	5/07/2022	Correctivo	4.5
773	6/07/2022	Correctivo	3.5
806	18/07/2022	Correctivo	2.5
811	19/07/2022	Correctivo	5
836	30/07/2022	Correctivo	13
841	1/08/2022	Correctivo	3
869	12/08/2022	Correctivo	2
876	14/08/2022	Correctivo	2.5
892	19/08/2022	Correctivo	3.5
917	27/08/2022	Correctivo	14
944	7/09/2022	Correctivo	9
952	9/09/2022	Correctivo	4.5
968	15/09/2022	Correctivo	5
987	22/09/2022	Correctivo	2

$$MTBF = \frac{4246.5}{15} = 283.1$$

$$MTTR = \frac{316}{15} = 7.02$$

$$Disponibilidad = \frac{283.1}{283.1 + 7.02} = 97.58\%$$

25. Transportador N°7

Tabla 43. Historial de mantenimiento del transportador N°7 – 1er periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
24	6/10/2021	Correctivo	2.5	
37	9/10/2021	Correctivo	13	
67	19/10/2021	Correctivo	2.5	
76	22/10/2021	Correctivo	4	
100	1/11/2021	Correctivo	7	
110	4/11/2021	Correctivo	14	
140	14/11/2021	Correctivo	3	
151	17/11/2021	Correctivo	3.5	
178	27/11/2021	Correctivo	12	4246.5
186	30/11/2021	Correctivo	3.5	
216	10/12/2021	Correctivo	5	
225	13/12/2021	Correctivo	1.5	
251	23/12/2021	Correctivo	4	
259	26/12/2021	Correctivo	3	
280	4/01/2022	Correctivo	1.5	
290	8/01/2022	Correctivo	2.5	

315	17/01/2022	Correctivo	3
325	21/01/2022	Correctivo	4
365	3/02/2022	Correctivo	5
404	16/02/2022	Correctivo	2.5
438	1/03/2022	Correctivo	8
474	14/03/2022	Correctivo	2
508	27/03/2022	Correctivo	3.5
539	9/04/2022	Correctivo	4.5
574	22/04/2022	Correctivo	3
607	5/05/2022	Correctivo	15
640	18/05/2022	Correctivo	4.5
673	30/05/2022	Correctivo	13
708	12/06/2022	Correctivo	2
743	25/06/2022	Correctivo	3
782	8/07/2022	Correctivo	12
819	21/07/2022	Correctivo	4.5
849	2/08/2022	Correctivo	2.5
880	15/08/2022	Correctivo	4.5
923	28/08/2022	Correctivo	11
955	10/09/2022	Correctivo	5
964	13/09/2022	Correctivo	9
990	23/09/2022	Correctivo	2
1000	26/09/2022	Correctivo	3.5

$$MTBF = \frac{4246.5}{39} = 108.88$$

$$MTTR = \frac{209.5}{39} = 5.37$$

$$Disponibilidad = \frac{108.88}{108.88 + 5.37} = 95.30\%$$

26. Rodillo N°5

Tabla 44. *Historial de mantenimiento del rodillo N°5 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
70	20/10/2021	Correctivo	3	
134	12/11/2021	Correctivo	3.5	
231	15/12/2021	Correctivo	17	
346	28/01/2022	Correctivo	4	4246.5
388	10/02/2022	Correctivo	3	
422	23/02/2022	Correctivo	4.5	
456	7/03/2022	Correctivo	5	

488	20/03/2022	Correctivo	2
522	2/04/2022	Correctivo	3.5
554	15/04/2022	Correctivo	13.5
589	28/04/2022	Correctivo	3.5
621	11/05/2022	Correctivo	10
652	24/05/2022	Correctivo	2.5
774	6/07/2022	Correctivo	5
893	19/08/2022	Correctivo	11
932	2/09/2022	Correctivo	3

$$MTBF = \frac{4246.5}{16} = 265.41$$

$$MTTR = \frac{94}{16} = 5.88$$

$$Disponibilidad = \frac{265.41}{265.41 + 5.88} = 97.83\%$$

27. Intercambiador de calor N°5

Tabla 45. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°5 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
3	1/10/2021	Correctivo	4.5	
45	14/10/2021	Correctivo	4	
84	27/10/2021	Correctivo	2	
120	9/11/2021	Correctivo	11	
161	22/11/2021	Correctivo	3.5	
199	5/12/2021	Correctivo	2.5	
240	18/12/2021	Correctivo	3	
271	31/12/2021	Correctivo	4.5	
303	12/01/2022	Correctivo	5	
336	25/01/2022	Correctivo	10	
380	7/02/2022	Correctivo	2	4246.5
414	20/02/2022	Correctivo	4	
449	5/03/2022	Correctivo	3.5	
484	18/03/2022	Correctivo	2.5	
517	31/03/2022	Correctivo	5	
546	12/04/2022	Correctivo	3	
582	25/04/2022	Correctivo	1	
613	7/05/2022	Correctivo	4.5	
644	20/05/2022	Correctivo	3.5	
680	2/06/2022	Correctivo	2	

718	15/06/2022	Correctivo	1.5
753	28/06/2022	Correctivo	4
786	10/07/2022	Correctivo	5
799	15/07/2022	Correctivo	8
823	23/07/2022	Correctivo	2
830	28/07/2022	Correctivo	2.5
852	5/08/2022	Correctivo	3.5
864	10/08/2022	Correctivo	4
888	18/08/2022	Correctivo	4
902	23/08/2022	Correctivo	3.5
927	31/08/2022	Correctivo	2
938	5/09/2022	Correctivo	11
975	18/09/2022	Correctivo	5

$$MTBF = \frac{4246.5}{33} = 128.68$$

$$MTTR = \frac{137}{33} = 4.15$$

$$Disponibilidad = \frac{128.68}{128.68 + 4.15} = 96.88\%$$

28. Zaranda N°3

Tabla 46. *Historial de mantenimiento de la zaranda N°3 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
443	4/03/2022	Correctivo	4	3974
805	17/07/2022	Correctivo	11	

$$MTBF = \frac{3974}{2} = 1987$$

$$MTTR = \frac{18}{2} = 9$$

$$Disponibilidad = \frac{1987}{1987 + 9} = 99.55\%$$

29. Elevador N°8

Tabla 47. *Historial de mantenimiento del elevador N°8 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
30	7/10/2021	Correctivo	5	
71	20/10/2021	Correctivo	12	
104	2/11/2021	Correctivo	8	
144	15/11/2021	Correctivo	3	
181	28/11/2021	Correctivo	2.5	
220	11/12/2021	Correctivo	15	
255	24/12/2021	Correctivo	3.5	
284	5/01/2022	Correctivo	2	
318	18/01/2022	Correctivo	4.5	
353	31/01/2022	Correctivo	7	
396	13/02/2022	Correctivo	13	
431	26/02/2022	Correctivo	5	
468	11/03/2022	Correctivo	2.5	
500	24/03/2022	Correctivo	4.5	
534	6/04/2022	Correctivo	14	
567	19/04/2022	Correctivo	3.5	3974
602	2/05/2022	Correctivo	5	
632	15/05/2022	Correctivo	15	
664	28/05/2022	Correctivo	2	
675	31/05/2022	Correctivo	4	
702	10/06/2022	Correctivo	4.5	
713	13/06/2022	Correctivo	21	
747	26/06/2022	Correctivo	4	
784	9/07/2022	Correctivo	3	
820	22/07/2022	Correctivo	3.5	
851	3/08/2022	Correctivo	9	
885	16/08/2022	Correctivo	8	
925	29/08/2022	Correctivo	4.5	
959	11/09/2022	Correctivo	17	
993	24/09/2022	Correctivo	2.5	

$$MTBF = \frac{3974}{30} = 132.47$$

$$MTTR = \frac{208}{30} = 6.93$$

$$Disponibilidad = \frac{132.47}{132.47 + 6.93} = 95.03\%$$

30. Elevador N°9

Tabla 48. *Historial de mantenimiento del elevador N°9 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
21	5/10/2021	Correctivo	4	
63	18/10/2021	Correctivo	3.5	
98	31/10/2021	Correctivo	15	
137	13/11/2021	Correctivo	7	
174	26/11/2021	Correctivo	5	
213	9/12/2021	Correctivo	34	
248	22/12/2021	Correctivo	3	
277	3/01/2022	Correctivo	4.5	
312	16/01/2022	Correctivo	2	
347	29/01/2022	Correctivo	5	
390	11/02/2022	Correctivo	14	
425	24/02/2022	Correctivo	6	
460	9/03/2022	Correctivo	3	
494	22/03/2022	Correctivo	2.5	
527	4/04/2022	Correctivo	3.5	
561	17/04/2022	Correctivo	4.5	
596	30/04/2022	Correctivo	10	3974
626	12/05/2022	Correctivo	5	
656	25/05/2022	Correctivo	6	
694	7/06/2022	Correctivo	4	
729	20/06/2022	Correctivo	18	
738	23/06/2022	Correctivo	4	
764	3/07/2022	Correctivo	3	
775	6/07/2022	Correctivo	2	
803	16/07/2022	Correctivo	4.5	
812	19/07/2022	Correctivo	5	
833	29/07/2022	Correctivo	9	
842	1/08/2022	Correctivo	2.5	
877	14/08/2022	Correctivo	3.5	
918	27/08/2022	Correctivo	4.5	
953	9/09/2022	Correctivo	15	
988	22/09/2022	Correctivo	3.5	

$$MTBF = \frac{3974}{32} = 124.19$$

$$MTTR = \frac{216}{32} = 6.75$$

$$Disponibilidad = \frac{124.19}{124.19 + 6.75} = 94.84\%$$

31. Faja de reproceso N°1

Tabla 49. *Historial de mantenimiento de la faja de reproceso N°1 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
78	23/10/2021	Correctivo	3	3974
113	6/11/2021	Correctivo	5	
215	9/12/2021	Correctivo	3	
252	23/12/2021	Correctivo	2	
305	12/01/2022	Correctivo	2.5	
338	25/01/2022	Correctivo	14	
382	7/02/2022	Correctivo	3.5	
416	20/02/2022	Correctivo	3	
451	5/03/2022	Correctivo	4	
538	8/04/2022	Correctivo	4.5	
586	26/04/2022	Correctivo	8	
628	12/05/2022	Correctivo	12	
744	25/06/2022	Correctivo	3	
859	8/08/2022	Correctivo	2	

$$MTBF = \frac{3974}{14} = 283.86$$

$$MTTR = \frac{69.5}{14} = 4.96$$

$$Disponibilidad = \frac{283.86}{283.86 + 4.96} = 98.28\%$$

32. Zaranda N°4

Tabla 50. *Historial de mantenimiento de la zaranda N°4 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
6	2/10/2021	Correctivo	11	3974
22	5/10/2021	Correctivo	7	
50	15/10/2021	Correctivo	4	
64	18/10/2021	Correctivo	3.5	
88	28/10/2021	Correctivo	11	
99	31/10/2021	Correctivo	5	
123	10/11/2021	Correctivo	4.5	
138	13/11/2021	Correctivo	2.5	
175	26/11/2021	Correctivo	33	

214	9/12/2021	Correctivo	21
249	22/12/2021	Correctivo	2
278	3/01/2022	Correctivo	4.5
313	16/01/2022	Correctivo	1.5
348	29/01/2022	Correctivo	3.5
391	11/02/2022	Correctivo	2.5
426	24/02/2022	Correctivo	4
461	9/03/2022	Correctivo	13
495	22/03/2022	Correctivo	5
528	4/04/2022	Correctivo	14
562	17/04/2022	Correctivo	4
597	30/04/2022	Correctivo	2
604	3/05/2022	Correctivo	15
627	12/05/2022	Correctivo	3
636	16/05/2022	Correctivo	3.5
657	25/05/2022	Correctivo	5
670	29/05/2022	Correctivo	4.5
695	7/06/2022	Correctivo	4
704	11/06/2022	Correctivo	12
730	20/06/2022	Correctivo	2.5
740	24/06/2022	Correctivo	3
765	3/07/2022	Correctivo	12
779	7/07/2022	Correctivo	8
804	16/07/2022	Correctivo	4.5
815	20/07/2022	Correctivo	5
834	29/07/2022	Correctivo	3.5
843	1/08/2022	Correctivo	14
866	11/08/2022	Correctivo	4
878	14/08/2022	Correctivo	12
905	24/08/2022	Correctivo	5
919	27/08/2022	Correctivo	2.5
941	6/09/2022	Correctivo	6
954	9/09/2022	Correctivo	18
978	19/09/2022	Correctivo	4.5
989	22/09/2022	Correctivo	4

$$MTBF = \frac{3974}{44} = 90.31$$

$$MTTR = \frac{314}{44} = 7.14$$

$$Disponibilidad = \frac{90.31}{90.31 + 7.14} = 92.67\%$$

33. Peladora N°1

Tabla 51. *Historial de mantenimiento de la peladora N°1 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
5	2/10/2021	Correctivo	4	
32	8/10/2021	Correctivo	3	
49	15/10/2021	Correctivo	15	
72	21/10/2021	Correctivo	2.5	
87	28/10/2021	Correctivo	5	
107	3/11/2021	Correctivo	6	
122	10/11/2021	Correctivo	12	
147	16/11/2021	Correctivo	3	
164	23/11/2021	Correctivo	4	
182	29/11/2021	Correctivo	2.5	
202	6/12/2021	Correctivo	4.5	
222	12/12/2021	Correctivo	18	
243	19/12/2021	Correctivo	3	
257	25/12/2021	Correctivo	5	
272	31/12/2021	Correctivo	4	
286	6/01/2022	Correctivo	3	
304	12/01/2022	Correctivo	17	
319	19/01/2022	Correctivo	14	
337	25/01/2022	Correctivo	3	
358	1/02/2022	Correctivo	5	3974
381	7/02/2022	Correctivo	12	
398	14/02/2022	Correctivo	4.5	
415	20/02/2022	Correctivo	3.5	
434	27/02/2022	Correctivo	2.5	
450	5/03/2022	Correctivo	4	
471	12/03/2022	Correctivo	16	
485	18/03/2022	Correctivo	5	
502	25/03/2022	Correctivo	1.5	
518	31/03/2022	Correctivo	3.5	
537	7/04/2022	Correctivo	3	
547	12/04/2022	Correctivo	4	
569	20/04/2022	Correctivo	2	
583	25/04/2022	Correctivo	2.5	
617	8/05/2022	Correctivo	9	
646	21/05/2022	Correctivo	3.5	
683	3/06/2022	Correctivo	4.5	
720	16/06/2022	Correctivo	2	
756	29/06/2022	Correctivo	5	
790	11/07/2022	Correctivo	14	

826	24/07/2022	Correctivo	4.5
853	5/08/2022	Correctivo	3
865	11/08/2022	Correctivo	4
889	18/08/2022	Correctivo	2.5
904	24/08/2022	Correctivo	3
928	31/08/2022	Correctivo	17
940	6/09/2022	Correctivo	5
961	12/09/2022	Correctivo	4
977	19/09/2022	Correctivo	18
997	25/09/2022	Correctivo	3

$$MTBF = \frac{3974}{49} = 81.1$$

$$MTTR = \frac{299.5}{49} = 6.11$$

$$Disponibilidad = \frac{81.1}{81.1 + 6.11} = 92.99\%$$

34. Elevador N°10

Tabla 52. *Historial de mantenimiento del elevador N°10 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
25	6/10/2021	Correctivo	4.5	4115
68	19/10/2021	Correctivo	3.5	
153	18/11/2021	Correctivo	4	
187	1/12/2021	Correctivo	2	
227	14/12/2021	Correctivo	11	
262	27/12/2021	Correctivo	1.5	
291	8/01/2022	Correctivo	5	
326	21/01/2022	Correctivo	2.5	
366	3/02/2022	Correctivo	3	
405	16/02/2022	Correctivo	4	
439	1/03/2022	Correctivo	8.5	
475	14/03/2022	Correctivo	12	
509	27/03/2022	Correctivo	3.5	
540	9/04/2022	Correctivo	4.5	
575	22/04/2022	Correctivo	5	
608	5/05/2022	Correctivo	3.5	
641	18/05/2022	Correctivo	8	
676	31/05/2022	Correctivo	2.5	
714	13/06/2022	Correctivo	4.5	
748	26/06/2022	Correctivo	3	

785	9/07/2022	Correctivo	22
821	22/07/2022	Correctivo	3.5
850	2/08/2022	Correctivo	11
881	15/08/2022	Correctivo	6.5
924	28/08/2022	Correctivo	2.5
956	10/09/2022	Correctivo	4.5
991	23/09/2022	Correctivo	2

$$MTBF = \frac{4115}{27} = 152.41$$

$$MTTR = \frac{148}{27} = 5.48$$

$$Disponibilidad = \frac{152.41}{152.41 + 5.48} = 96.53\%$$

35. Faja de reproceso N°2

Tabla 53. *Historial de mantenimiento de la faja de reproceso N°2 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
40	10/10/2021	Correctivo	5	4115
79	23/10/2021	Correctivo	11	
111	4/11/2021	Correctivo	5	
223	12/12/2021	Correctivo	4.5	
402	15/02/2022	Correctivo	2.5	
452	6/03/2022	Correctivo	3.5	
512	29/03/2022	Correctivo	7	
548	12/04/2022	Correctivo	4	
658	25/05/2022	Correctivo	3	
690	6/06/2022	Correctivo	12	
813	19/07/2022	Correctivo	5	
844	1/08/2022	Correctivo	3	
965	14/09/2022	Correctivo	15	
1002	27/09/2022	Correctivo	2	

$$MTBF = \frac{4115}{14} = 293.93$$

$$MTTR = \frac{82.5}{14} = 5.89$$

$$Disponibilidad = \frac{293.93}{293.93 + 5.89} = 98.04\%$$

36. Faja de reproceso N°3

Tabla 54. *Historial de mantenimiento de la faja de reproceso N°3 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
33	8/10/2021	Correctivo	2.5	4115
73	21/10/2021	Correctivo	3	
108	3/11/2021	Correctivo	11	
148	16/11/2021	Correctivo	4.5	
183	29/11/2021	Correctivo	2	
224	12/12/2021	Correctivo	5	
258	25/12/2021	Correctivo	15	
787	10/07/2022	Correctivo	3	
824	23/07/2022	Correctivo	2	
854	5/08/2022	Correctivo	4	
890	18/08/2022	Correctivo	4.5	
929	31/08/2022	Correctivo	7	
962	12/09/2022	Correctivo	2.5	
998	25/09/2022	Correctivo	3.5	

$$MTBF = \frac{4115}{14} = 293.93$$

$$MTTR = \frac{69.5}{14} = 4.96$$

$$Disponibilidad = \frac{293.93}{293.93 + 4.96} = 98.34\%$$

37. Zaranda N°5

Tabla 55. *Historial de mantenimiento de la zaranda N°5 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
44	13/10/2021	Correctivo	4	4115
83	26/10/2021	Correctivo	4.5	
117	8/11/2021	Correctivo	1	
160	21/11/2021	Correctivo	2	
197	4/12/2021	Correctivo	3.5	
237	17/12/2021	Correctivo	2	
266	29/12/2021	Correctivo	13	
295	10/01/2022	Correctivo	5	
330	23/01/2022	Correctivo	2.5	

374	5/02/2022	Correctivo	4
408	18/02/2022	Correctivo	2
420	22/02/2022	Correctivo	4.5
441	3/03/2022	Correctivo	3
457	7/03/2022	Correctivo	11
479	16/03/2022	Correctivo	5
489	20/03/2022	Correctivo	3.5
513	29/03/2022	Correctivo	4
523	2/04/2022	Correctivo	2.5
542	10/04/2022	Correctivo	4
555	15/04/2022	Correctivo	3
578	23/04/2022	Correctivo	38
590	28/04/2022	Correctivo	5
611	6/05/2022	Correctivo	12
622	11/05/2022	Correctivo	2.5
642	19/05/2022	Correctivo	4
653	24/05/2022	Correctivo	18
678	1/06/2022	Correctivo	3.5
691	6/06/2022	Correctivo	5
716	14/06/2022	Correctivo	3
725	19/06/2022	Correctivo	4
751	27/06/2022	Correctivo	2
762	2/07/2022	Correctivo	21
800	15/07/2022	Correctivo	4.5
831	28/07/2022	Correctivo	3
861	9/08/2022	Correctivo	8
899	22/08/2022	Correctivo	2
936	4/09/2022	Correctivo	5
973	17/09/2022	Correctivo	3.5
1010	30/09/2022	Correctivo	4

$$MTBF = \frac{4115}{39} = 105.51$$

$$MTTR = \frac{232}{39} = 5.95$$

$$Disponibilidad = \frac{105.51}{105.51 + 5.95} = 94.66\%$$

38. Peladora N°2

Tabla 56. *Historial de mantenimiento de la peladora N°2 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
11	3/10/2021	Correctivo	3.5	
55	16/10/2021	Correctivo	2	
90	29/10/2021	Correctivo	5	
101	1/11/2021	Correctivo	14	
129	11/11/2021	Correctivo	2	
141	14/11/2021	Correctivo	3.5	
166	24/11/2021	Correctivo	3	
179	27/11/2021	Correctivo	4	
206	7/12/2021	Correctivo	11	
217	10/12/2021	Correctivo	32	
244	20/12/2021	Correctivo	4.5	
253	23/12/2021	Correctivo	1	
276	1/01/2022	Correctivo	5	
281	4/01/2022	Correctivo	2	
310	14/01/2022	Correctivo	13	
316	17/01/2022	Correctivo	1.5	
344	27/01/2022	Correctivo	4	
351	30/01/2022	Correctivo	3	
386	9/02/2022	Correctivo	3.5	4115
393	12/02/2022	Correctivo	5	
429	25/02/2022	Correctivo	3	
465	10/03/2022	Correctivo	11	
498	23/03/2022	Correctivo	4.5	
531	5/04/2022	Correctivo	2	
565	18/04/2022	Correctivo	1.5	
599	1/05/2022	Correctivo	4	
630	14/05/2022	Correctivo	2.5	
661	27/05/2022	Correctivo	14	
698	9/06/2022	Correctivo	5	
733	22/06/2022	Correctivo	21	
769	5/07/2022	Correctivo	4.5	
807	18/07/2022	Correctivo	3	
837	30/07/2022	Correctivo	2	
870	12/08/2022	Correctivo	3.5	
907	25/08/2022	Correctivo	15	
945	7/09/2022	Correctivo	5	
980	20/09/2022	Correctivo	2	

$$MTBF = \frac{4115}{37} = 111.22$$

$$MTTR = \frac{226}{37} = 6.11$$

$$Disponibilidad = \frac{111.22}{111.22 + 6.11} = 94.79\%$$

39. Faja de selección manual

Tabla 57. Historial de mantenimiento de la faja de selección manual – 1er periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
12	3/10/2021	Correctivo	5	
56	16/10/2021	Correctivo	3	
91	29/10/2021	Correctivo	4	
130	11/11/2021	Correctivo	1	
287	6/01/2022	Correctivo	2	
320	19/01/2022	Correctivo	1.5	
359	1/02/2022	Correctivo	4.5	
399	14/02/2022	Correctivo	2	
435	27/02/2022	Correctivo	3.5	
472	12/03/2022	Correctivo	1.5	
503	25/03/2022	Correctivo	5	
535	6/04/2022	Correctivo	3	
568	19/04/2022	Correctivo	12	3948
603	2/05/2022	Correctivo	4	
633	15/05/2022	Correctivo	4.5	
665	28/05/2022	Correctivo	1	
699	9/06/2022	Correctivo	2.5	
734	22/06/2022	Correctivo	3	
770	5/07/2022	Correctivo	5	
808	18/07/2022	Correctivo	3.5	
838	30/07/2022	Correctivo	4	
871	12/08/2022	Correctivo	2.5	
908	25/08/2022	Correctivo	11	
946	7/09/2022	Correctivo	4.5	
981	20/09/2022	Correctivo	3	

$$MTBF = \frac{3948}{25} = 157.92$$

$$MTTR = \frac{96.5}{25} = 3.86$$

$$Disponibilidad = \frac{157.92}{157.92 + 3.86} = 97.61\%$$

40. Estufa N°1

Tabla 58. *Historial de mantenimiento de la estufa N°1 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
167	24/11/2021	Correctivo	3	4640
383	7/02/2022	Correctivo	5	
731	20/06/2022	Correctivo	14	
845	1/08/2022	Correctivo	11	

$$MTBF = \frac{4640}{4} = 1160$$

$$MTTR = \frac{33}{4} = 8.25$$

$$Disponibilidad = \frac{1160}{1160 + 8.25} = 99.29\%$$

41. Intercambiador de calor N°6

Tabla 59. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°6 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
46	14/10/2021	Correctivo	4	4640
345	27/01/2022	Correctivo	7	
387	9/02/2022	Correctivo	3	
421	22/02/2022	Correctivo	4.5	
458	7/03/2022	Correctivo	11	
490	20/03/2022	Correctivo	2.5	
524	2/04/2022	Correctivo	3	
556	15/04/2022	Correctivo	5	
591	28/04/2022	Correctivo	12	
623	11/05/2022	Correctivo	15	
654	24/05/2022	Correctivo	4	
692	6/06/2022	Correctivo	3	
726	19/06/2022	Correctivo	2.5	
763	2/07/2022	Correctivo	8	
801	15/07/2022	Correctivo	5	
832	28/07/2022	Correctivo	4.5	

862	9/08/2022	Correctivo	3
-----	-----------	------------	---

$$MTBF = \frac{4640}{17} = 272.94$$

$$MTTR = \frac{97}{17} = 5.71$$

$$Disponibilidad = \frac{272.94}{272.94 + 5.71} = 97.95\%$$

42. Estufa N°2

Tabla 60. *Historial de mantenimiento de la estufa N°2 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
296	10/01/2022	Correctivo	7	4658
739	23/06/2022	Correctivo	4	
939	5/09/2022	Correctivo	15	

$$MTBF = \frac{4658}{3} = 1552.67$$

$$MTTR = \frac{26}{3} = 8.67$$

$$Disponibilidad = \frac{1552.67}{1552.67 + 8.67} = 99.44\%$$

43. Intercambiador de calor N°7

Tabla 61. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°7 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
13	3/10/2021	Correctivo	5	4658
57	16/10/2021	Correctivo	3.5	
92	29/10/2021	Correctivo	22	
131	11/11/2021	Correctivo	4	
168	24/11/2021	Correctivo	11	
207	7/12/2021	Correctivo	3	
245	20/12/2021	Correctivo	2.5	
273	31/12/2021	Correctivo	1.5	
306	12/01/2022	Correctivo	3.5	
339	25/01/2022	Correctivo	2	

384	7/02/2022	Correctivo	4
417	20/02/2022	Correctivo	12
909	25/08/2022	Correctivo	4.5
947	7/09/2022	Correctivo	5
982	20/09/2022	Correctivo	2.5

$$MTBF = \frac{4658}{15} = 310.53$$

$$MTTR = \frac{86}{15} = 5.73$$

$$Disponibilidad = \frac{310.53}{310.53 + 5.73} = 98.19\%$$

44. Horno N°1

Tabla 62. *Historial de mantenimiento del horno N°1 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
114	7/11/2021	Correctivo	3	4582
331	23/01/2022	Correctivo	12	
440	2/03/2022	Correctivo	4	
705	11/06/2022	Correctivo	13	
816	20/07/2022	Correctivo	3.5	
926	29/08/2022	Correctivo	5	

$$MTBF = \frac{4582}{6} = 763.67$$

$$MTTR = \frac{40.5}{6} = 6.75$$

$$Disponibilidad = \frac{763.67}{763.67 + 6.75} = 99.12\%$$

45. Intercambiador de calor N°8

Tabla 63. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°8 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
34	8/10/2021	Correctivo	4	4582
115	7/11/2021	Correctivo	3	
157	20/11/2021	Correctivo	11	

195	3/12/2021	Correctivo	4.5
232	16/12/2021	Correctivo	2
267	29/12/2021	Correctivo	3
298	11/01/2022	Correctivo	8
333	24/01/2022	Correctivo	2.5
377	6/02/2022	Correctivo	5
412	19/02/2022	Correctivo	4
444	4/03/2022	Correctivo	2
482	17/03/2022	Correctivo	3.5
515	30/03/2022	Correctivo	12
543	11/04/2022	Correctivo	4
580	24/04/2022	Correctivo	3
614	7/05/2022	Correctivo	15
645	20/05/2022	Correctivo	5
681	2/06/2022	Correctivo	8
719	15/06/2022	Correctivo	4.5
754	28/06/2022	Correctivo	3.5
788	10/07/2022	Correctivo	2.5
825	23/07/2022	Correctivo	9
855	5/08/2022	Correctivo	4
891	18/08/2022	Correctivo	5
930	31/08/2022	Correctivo	3
963	12/09/2022	Correctivo	4.5
999	25/09/2022	Correctivo	12

$$MTBF = \frac{4582}{27} = 169.70$$

$$MTTR = \frac{140.5}{27} = 5.46$$

$$Disponibilidad = \frac{169.70}{169.70 + 5.46} = 96.88\%$$

46. Horno N°2

Tabla 64. *Historial de mantenimiento del horno N°2 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
109	3/11/2021	Correctivo	15	
406	16/02/2022	Correctivo	3.5	
514	29/03/2022	Correctivo	6	4578.5
709	12/06/2022	Correctivo	4	
910	25/08/2022	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{4578.5}{5} = 915.70$$

$$MTTR = \frac{32.5}{5} = 6.5$$

$$Disponibilidad = \frac{915.70}{915.70 + 6.5} = 99.30\%$$

47. Intercambiador de calor N°9

Tabla 65. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°9 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
14	3/10/2021	Correctivo	5	
26	6/10/2021	Correctivo	8	
69	19/10/2021	Correctivo	3	
102	1/11/2021	Correctivo	1.5	
142	14/11/2021	Correctivo	4.5	
180	27/11/2021	Correctivo	2.5	
218	10/12/2021	Correctivo	3.5	
254	23/12/2021	Correctivo	4	
282	4/01/2022	Correctivo	11	
317	17/01/2022	Correctivo	5	
352	30/01/2022	Correctivo	3	
394	12/02/2022	Correctivo	6	
430	25/02/2022	Correctivo	8	
466	10/03/2022	Correctivo	2.5	
499	23/03/2022	Correctivo	4.5	
532	5/04/2022	Correctivo	3	4578.5
566	18/04/2022	Correctivo	4	
600	1/05/2022	Correctivo	5	
631	14/05/2022	Correctivo	12	
662	27/05/2022	Correctivo	2	
700	9/06/2022	Correctivo	3.5	
735	22/06/2022	Correctivo	4	
771	5/07/2022	Correctivo	3	
809	18/07/2022	Correctivo	2	
839	30/07/2022	Correctivo	17	
872	12/08/2022	Correctivo	4	
911	25/08/2022	Correctivo	2.5	
920	27/08/2022	Correctivo	3	
948	7/09/2022	Correctivo	4.5	
957	10/09/2022	Correctivo	5	

983	20/09/2022	Correctivo	3.5
992	23/09/2022	Correctivo	9

$$MTBF = \frac{4578.5}{32} = 143.08$$

$$MTTR = \frac{159}{32} = 4.97$$

$$Disponibilidad = \frac{143.08}{143.08 + 4.97} = 96.64\%$$

48. Caldero 300 BHP

Tabla 66. *Historial de mantenimiento del caldero 300 BHP – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
43	12/10/2021	Correctivo	12	
58	16/10/2021	Correctivo	4	
82	25/10/2021	Correctivo	16	
93	29/10/2021	Correctivo	13	
116	7/11/2021	Correctivo	5	
132	11/11/2021	Correctivo	5	
158	20/11/2021	Correctivo	4.5	
169	24/11/2021	Correctivo	3	
196	3/12/2021	Correctivo	3	
208	7/12/2021	Correctivo	3.5	
233	16/12/2021	Correctivo	7	
246	20/12/2021	Correctivo	24	
268	29/12/2021	Correctivo	5	
274	31/12/2021	Correctivo	10	
299	11/01/2022	Correctivo	3	4770
307	13/01/2022	Correctivo	36	
334	24/01/2022	Correctivo	4.5	
342	26/01/2022	Correctivo	2.5	
378	6/02/2022	Correctivo	3.5	
385	8/02/2022	Correctivo	9	
413	19/02/2022	Correctivo	3	
419	21/02/2022	Correctivo	11	
445	4/03/2022	Correctivo	4	
453	6/03/2022	Correctivo	3	
483	17/03/2022	Correctivo	3.5	
486	19/03/2022	Correctivo	4	
516	30/03/2022	Correctivo	12	
520	1/04/2022	Correctivo	5	

549	12/04/2022	Correctivo	3.5
552	14/04/2022	Correctivo	17
587	27/04/2022	Correctivo	2
620	10/05/2022	Correctivo	3
650	23/05/2022	Correctivo	4.5
688	5/06/2022	Correctivo	12
723	18/06/2022	Correctivo	3
759	1/07/2022	Correctivo	2.5
797	14/07/2022	Correctivo	19
829	27/07/2022	Correctivo	4.5
860	8/08/2022	Correctivo	3.5
897	21/08/2022	Correctivo	15
934	3/09/2022	Correctivo	2.5
971	16/09/2022	Correctivo	12
1007	29/09/2022	Correctivo	3

$$MTBF = \frac{4770}{43} = 110.93$$

$$MTTR = \frac{326}{32} = 7.58$$

$$Disponibilidad = \frac{110.93}{110.93 + 7.58} = 93.60\%$$

49. Caldero 100 BHP

Tabla 67. *Historial de mantenimiento del transportador N°7 – 1er periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
41	10/10/2021	Correctivo	4	
80	23/10/2021	Correctivo	1.5	
584	25/04/2022	Correctivo	3.5	
618	8/05/2022	Correctivo	5	
647	21/05/2022	Correctivo	14	
684	3/06/2022	Correctivo	1	
721	16/06/2022	Correctivo	2	
757	29/06/2022	Correctivo	4.5	5027
791	12/07/2022	Correctivo	2.5	
827	25/07/2022	Correctivo	3	
856	6/08/2022	Correctivo	3.5	
894	19/08/2022	Correctivo	16	
931	1/09/2022	Correctivo	1.5	
966	14/09/2022	Correctivo	5	
1003	27/09/2022	Correctivo	2	

$$MTBF = \frac{5027}{15} = 335.13$$

$$MTTR = \frac{69}{15} = 4.6$$

$$Disponibilidad = \frac{335.13}{335.13 + 4.6} = 98.65\%$$

La implementación de la gestión de mantenimiento se dio durante octubre del 2022, así mismo la evaluación de indicadores se realizará desde el 01/10/2022 al 30/09/2023 y posteriormente se comparará los resultados.

a. Elevador N°1

Tabla 68. Historial de mantenimiento del elevador N°1 – 2do periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1020	6/11/2022	Correctivo	3	5022.5
1060	25/12/2022	Correctivo	4	
1103	13/02/2023	Correctivo	1.5	
1143	3/04/2023	Correctivo	3.5	
1181	22/05/2023	Correctivo	4.5	
1247	31/07/2023	Correctivo	2	
1284	18/09/2023	Correctivo	6	

$$MTBF = \frac{5022.5}{7} = 717.5$$

$$MTTR = \frac{24.5}{7} = 3.5$$

$$Disponibilidad = \frac{717.5}{717.5 + 3.5} = 99.51\%$$

b. Zaranda N°1

Tabla 69. Historial de mantenimiento de la zaranda N°1 – 2do periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1139	26/03/2023	Correctivo	4	5022.5
1178	14/05/2023	Correctivo	5	
1222	2/07/2023	Correctivo	7	

$$MTBF = \frac{5022.5}{3} = 1674.17$$

$$MTTR = \frac{16}{3} = 5.33$$

$$Disponibilidad = \frac{1674.17}{1674.17 + 5.33} = 99.68\%$$

c. Ciclón de polvos

Tabla 70. *Historial de mantenimiento del ciclón de polvos – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1097	9/02/2023	Correctivo	3	5022.5

$$MTBF = \frac{5022.5}{1} = 5022.5$$

$$MTTR = \frac{3}{1} = 3$$

$$Disponibilidad = \frac{5022.5}{5022.5 + 3} = 99.94\%$$

d. Elevador N°2

Tabla 71. *Historial de mantenimiento del elevador N°2 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1078	11/01/2023	Correctivo	3	5022.5
1140	29/03/2023	Correctivo	2.5	
1207	18/06/2023	Correctivo	1.5	
1251	7/08/2023	Correctivo	4	
1291	26/09/2023	Correctivo	3	

$$MTBF = \frac{5022.5}{5} = 1004.5$$

$$MTTR = \frac{14}{5} = 2.8$$

$$Disponibilidad = \frac{1004.5}{1004.5 + 2.8} = 99.72\%$$

e. Criba giratoria

Tabla 72. *Historial de mantenimiento de la criba giratoria – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1035	27/11/2022	Correctivo	4	5022.5
1081	15/01/2023	Correctivo	3	
1121	4/03/2023	Correctivo	4	
1162	23/04/2023	Correctivo	1.5	
1256	12/08/2023	Correctivo	3.5	

$$MTBF = \frac{5022.5}{5} = 1004.5$$

$$MTTR = \frac{16}{5} = 3.2$$

$$Disponibilidad = \frac{1004.5}{1004.5 + 3.2} = 99.68\%$$

f. Transportador N°1

Tabla 73. *Historial de mantenimiento del transportador N°1 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1036	28/11/2022	Correctivo	4.5	5008.5
1056	16/12/2022	Correctivo	4	
1096	5/02/2023	Correctivo	3.5	
1138	26/03/2023	Correctivo	2	
1177	14/05/2023	Correctivo	5	
1221	2/07/2023	Correctivo	3	
1237	20/07/2023	Correctivo	2.5	
1262	21/08/2023	Correctivo	3.5	
1277	8/09/2023	Correctivo	4	
1299	9/10/2023	Correctivo	2.5	

$$MTBF = \frac{5008.5}{10} = 500.85$$

$$MTTR = \frac{34.5}{10} = 3.45$$

$$Disponibilidad = \frac{500.85}{500.85 + 3.45} = 99.32\%$$

g. Elevador N°3

Tabla 74. *Historial de mantenimiento del elevador N°3 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1014	25/10/2022	Correctivo	2	5008.5
1024	14/11/2022	Correctivo	3	
1068	2/01/2023	Correctivo	5	
1110	21/02/2023	Correctivo	4	
1152	11/04/2023	Correctivo	6	
1189	30/05/2023	Correctivo	2.5	
1234	18/07/2023	Correctivo	3.5	
1274	6/09/2023	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{5008.5}{8} = 626.06$$

$$MTTR = \frac{30}{8} = 3.75$$

$$Disponibilidad = \frac{626.06}{626.06 + 3.75} = 99.40\%$$

h. Transportador N°2

Tabla 75. *Historial de mantenimiento del transportador N°2 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1062	27/12/2022	Correctivo	4.5	5008.5
1082	15/01/2023	Correctivo	2.5	
1122	4/03/2023	Correctivo	3.5	
1163	23/04/2023	Correctivo	5	
1202	12/06/2023	Correctivo	3	
1265	30/08/2023	Correctivo	4.5	

$$MTBF = \frac{5008.5}{6} = 834.75$$

$$MTTR = \frac{23}{6} = 3.83$$

$$Disponibilidad = \frac{834.75}{834.75 + 3.83} = 99.54\%$$

i. Rodillo N°1

Tabla 76. *Historial de mantenimiento del rodillo N°1 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1117	26/02/2023	Correctivo	4	5022
1176	14/05/2023	Correctivo	1.5	
1220	2/07/2023	Correctivo	3	
1286	21/09/2023	Correctivo	3.5	

$$MTBF = \frac{5022}{4} = 1255.5$$

$$MTTR = \frac{12}{4} = 3$$

$$Disponibilidad = \frac{1255.5}{1255.5 + 3} = 99.76\%$$

j. Intercambiador de calor N°1

Tabla 77. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°1 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1084	22/01/2023	Correctivo	2	5022
1125	10/03/2023	Correctivo	3.5	
1165	28/04/2023	Correctivo	11	
1203	17/06/2023	Correctivo	2.5	
1272	5/09/2023	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{5022}{5} = 1004.4$$

$$MTTR = \frac{23}{5} = 4.6$$

$$Disponibilidad = \frac{1004.4}{1004.4 + 4.6} = 99.54\%$$

k. Rodillo N°2**Tabla 78.** *Historial de mantenimiento del rodillo N°2 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1040	3/12/2022	Correctivo	4	5022
1083	21/01/2023	Correctivo	2	
1123	9/03/2023	Correctivo	3	
1243	27/07/2023	Correctivo	3.5	

$$MTBF = \frac{5022}{4} = 1255.5$$

$$MTTR = \frac{23}{5} = 4.6$$

$$Disponibilidad = \frac{1255.5}{1255.5 + 4.6} = 99.63\%$$

l. Intercambiador de calor N°2**Tabla 79.** *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°2 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1050	12/12/2022	Correctivo	3	5022
1064	1/01/2023	Correctivo	1.5	
1208	19/06/2023	Correctivo	6	
1287	24/09/2023	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{5022}{4} = 1255.5$$

$$MTTR = \frac{14.5}{4} = 3.63$$

$$Disponibilidad = \frac{1255.5}{1255.5 + 3.63} = 99.71\%$$

m. Rodillo N°3

Tabla 80. *Historial de mantenimiento del rodillo N°3 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de operación eficiente (hrs)
1012	20/10/2022	Correctivo	3	5016
1046	8/12/2022	Correctivo	6	
1088	26/01/2023	Correctivo	4.5	
1128	13/03/2023	Correctivo	3.5	
1183	27/05/2023	Correctivo	2	
1227	14/07/2023	Correctivo	4	
1266	1/09/2023	Correctivo	8	

$$MTBF = \frac{5016}{7} = 716.57$$

$$MTTR = \frac{31}{7} = 4.43$$

$$Disponibilidad = \frac{716.57}{716.57 + 4.43} = 99.39\%$$

n. Intercambiador de calor N°3

Tabla 81. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°3 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1098	9/02/2023	Correctivo	3.5	5016
1184	28/05/2023	Correctivo	2.5	
1228	15/07/2023	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{5016}{3} = 1672$$

$$MTTR = \frac{10}{3} = 3.33$$

$$Disponibilidad = \frac{1672}{1672 + 3.33} = 99.80\%$$

o. Rodillo N°4

Tabla 82. *Historial de mantenimiento del rodillo N°4 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1091	1/02/2023	Correctivo	4.5	
1209	20/06/2023	Correctivo	5	5016
1252	8/08/2023	Correctivo	1.5	

$$MTBF = \frac{5016}{3} = 1672$$

$$MTTR = \frac{11}{3} = 3.67$$

$$Disponibilidad = \frac{1672}{1672 + 3.67} = 99.78\%$$

p. Intercambiador de calor N°4

Tabla 83. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°4 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1034	22/11/2022	Correctivo	3.5	
1077	10/01/2023	Correctivo	3	
1119	28/02/2023	Correctivo	5	
1132	17/03/2023	Correctivo	3	5016
1170	5/05/2023	Correctivo	2.5	
1213	24/06/2023	Correctivo	4.5	
1270	3/09/2023	Correctivo	2	

$$MTBF = \frac{5016}{7} = 716.57$$

$$MTTR = \frac{23.5}{7} = 3.36$$

$$Disponibilidad = \frac{716.57}{716.57 + 3.36} = 99.53\%$$

q. Transportador N°3

Tabla 84. *Historial de mantenimiento del transportador N°3 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1105	14/02/2023	Correctivo	4	5039
1211	21/06/2023	Correctivo	5	
1273	5/09/2023	Correctivo	3	

$$MTBF = \frac{5039}{3} = 1679.67$$

$$MTTR = \frac{12}{3} = 4$$

$$Disponibilidad = \frac{1679.67}{1679.67 + 4} = 99.76\%$$

r. Elevador N°4

Tabla 85. *Historial de mantenimiento del elevador N°4 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1051	13/12/2022	Correctivo	3	5039
1090	1/02/2023	Correctivo	3.5	
1134	20/03/2023	Correctivo	4.5	
1172	8/05/2023	Correctivo	2	
1215	27/06/2023	Correctivo	6	
1259	15/08/2023	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{5039}{6} = 839.83$$

$$MTTR = \frac{23}{6} = 3.83$$

$$Disponibilidad = \frac{839.83}{839.83 + 3.83} = 99.55\%$$

s. Transportador N°4

Tabla 86. *Historial de mantenimiento del transportador N°4 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1061	25/12/2022	Correctivo	4	5039

1104	13/02/2023	Correctivo	2.5
1144	3/04/2023	Correctivo	3
1182	22/05/2023	Correctivo	4
1223	4/07/2023	Correctivo	1.5
1285	18/09/2023	Correctivo	7

$$MTBF = \frac{5039}{6} = 938.83$$

$$MTTR = \frac{22}{6} = 3.67$$

$$Disponibilidad = \frac{938.83}{938.83 + 3.67} = 99.61\%$$

t. Transportador N°5

Tabla 87. Historial de mantenimiento del transportador N°5 – 2do periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1028	15/11/2022	Correctivo	3	5021.5
1086	22/01/2023	Correctivo	4.5	
1127	10/03/2023	Correctivo	2.5	
1167	28/04/2023	Correctivo	2	
1205	17/06/2023	Correctivo	3.5	
1225	9/07/2023	Correctivo	2	
1264	27/08/2023	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{5021.5}{7} = 717.36$$

$$MTTR = \frac{21.5}{7} = 3.07$$

$$Disponibilidad = \frac{717.36}{717.36 + 3.07} = 99.57\%$$

u. Transportador N°6

Tabla 88. Historial de mantenimiento del transportador N°6 – 2do periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1022	12/11/2022	Correctivo	2.5	5021.5
1066	1/01/2023	Correctivo	3.5	
1107	19/02/2023	Correctivo	5	

1147	9/04/2023	Correctivo	4
1186	28/05/2023	Correctivo	2
1230	15/07/2023	Correctivo	4.5
1249	5/08/2023	Correctivo	3
1289	24/09/2023	Correctivo	4

$$MTBF = \frac{5021.5}{8} = 627.69$$

$$MTTR = \frac{28.5}{8} = 3.56$$

$$Disponibilidad = \frac{627.69}{627.69 + 3.56} = 99.44\%$$

v. Elevador N°6

Tabla 89. *Historial de mantenimiento del elevador N°6 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1013	23/10/2022	Correctivo	4.5	5021.5
1033	22/11/2022	Correctivo	4	
1076	10/01/2023	Correctivo	2	
1118	28/02/2023	Correctivo	3	
1159	19/04/2023	Correctivo	3.5	
1199	8/06/2023	Correctivo	2.5	
1242	27/07/2023	Correctivo	3	
1281	14/09/2023	Correctivo	2	

$$MTBF = \frac{5021.5}{8} = 627.69$$

$$MTTR = \frac{24.5}{8} = 3.06$$

$$Disponibilidad = \frac{627.69}{627.69 + 3.06} = 99.51\%$$

w. Zaranda N°2

Tabla 90. *Historial de mantenimiento de la zaranda N°2 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1037	28/11/2022	Correctivo	3	4958.5
1067	1/01/2023	Correctivo	4	

1108	19/02/2023	Correctivo	4.5
1148	9/04/2023	Correctivo	5
1206	17/06/2023	Correctivo	3.5
1250	5/08/2023	Correctivo	2.5
1290	24/09/2023	Correctivo	4

$$MTBF = \frac{4958.5}{7} = 708.36$$

$$MTTR = \frac{26.5}{7} = 3.79$$

$$Disponibilidad = \frac{708.36}{708.36 + 3.79} = 99.47\%$$

x. Elevador N°7

Tabla 91. Historial de mantenimiento del elevador N°7 – 2do periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1023	13/11/2022	Correctivo	3	4958.5
1063	1/01/2023	Correctivo	3.5	
1109	20/02/2023	Correctivo	6	
1149	10/04/2023	Correctivo	3	
1188	29/05/2023	Correctivo	2	
1232	17/07/2023	Correctivo	5	
1271	5/09/2023	Correctivo	4.5	

$$MTBF = \frac{4958.5}{7} = 708.36$$

$$MTTR = \frac{27}{7} = 3.86$$

$$Disponibilidad = \frac{708.36}{708.36 + 3.86} = 99.46\%$$

y. Transportador N°7

Tabla 92. Historial de mantenimiento del transportador N°7 – 2do periodo

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1029	15/11/2022	Correctivo	2.5	4958.5
1072	3/01/2023	Correctivo	3	
1113	22/02/2023	Correctivo	2.5	

1155	11/04/2023	Correctivo	4
1193	1/06/2023	Correctivo	5
1238	20/07/2023	Correctivo	4
1278	8/09/2023	Correctivo	1
1295	27/09/2023	Correctivo	3

$$MTBF = \frac{4958.5}{8} = 619.81$$

$$MTTR = \frac{25}{8} = 3.13$$

$$Disponibilidad = \frac{619.81}{619.81 + 3.13} = 99.50\%$$

z. Rodillo N°5

Tabla 93. *Historial de mantenimiento del rodillo N°5 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1053	15/12/2022	Correctivo	3	4958.5
1071	3/01/2023	Correctivo	3.5	
1112	22/02/2023	Correctivo	6	
1154	11/04/2023	Correctivo	4	
1192	1/06/2023	Correctivo	3	
1294	27/09/2023	Correctivo	4.5	

$$MTBF = \frac{4958.5}{6} = 826.42$$

$$MTTR = \frac{24}{6} = 4$$

$$Disponibilidad = \frac{826.42}{826.42 + 4} = 99.52\%$$

aa. Intercambiador de calor N°5

Tabla 94. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°5 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1058	19/12/2022	Correctivo	4.5	4958.5
1074	7/01/2023	Correctivo	3	
1116	26/02/2023	Correctivo	2	

1158	16/04/2023	Correctivo	7
1198	5/06/2023	Correctivo	3.5
1240	24/07/2023	Correctivo	2.5
1258	13/08/2023	Correctivo	3
1280	11/09/2023	Correctivo	4.5
1300	10/10/2023	Correctivo	5

$$MTBF = \frac{4958.5}{9} = 550.94$$

$$MTTR = \frac{35}{9} = 3.89$$

$$Disponibilidad = \frac{550.94}{550.94 + 3.89} = 99.30\%$$

bb. Zaranda N°3

Tabla 95. *Historial de mantenimiento del transportador N°7 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1092	4/02/2023	Correctivo	4	4948
1233	17/07/2023	Correctivo	2	

$$MTBF = \frac{4948}{2} = 2474$$

$$MTTR = \frac{6}{2} = 3$$

$$Disponibilidad = \frac{2474}{2474 + 3} = 99.88\%$$

cc. Elevador N°8

Tabla 96. *Historial de mantenimiento del elevador N°8 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1041	4/12/2022	Correctivo	2	4948
1157	12/04/2023	Correctivo	6	
1246	30/07/2023	Correctivo	8	

$$MTBF = \frac{4948}{3} = 1649.33$$

$$MTTR = \frac{16}{3} = 5.33$$

$$Disponibilidad = \frac{1649.33}{1649.33 + 5.33} = 99.68\%$$

dd. Elevador N°9

Tabla 97. *Historial de mantenimiento del elevador N°9 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1031	19/11/2022	Correctivo	3	4948
1043	7/12/2022	Correctivo	3.5	
1115	26/02/2023	Correctivo	5	
1133	18/03/2023	Correctivo	2.5	
1171	6/05/2023	Correctivo	4	
1214	25/06/2023	Correctivo	3	
1257	13/08/2023	Correctivo	4.5	
1298	1/10/2023	Correctivo	2	

$$MTBF = \frac{4948}{8} = 618.5$$

$$MTTR = \frac{27.5}{8} = 3.44$$

$$Disponibilidad = \frac{618.5}{618.5 + 3.44} = 99.45\%$$

ee. Faja de reproceso N°1

Tabla 98. *Historial de mantenimiento de la faja de reproceso N°1 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1079	12/01/2023	Correctivo	3	4948
1150	10/04/2023	Correctivo	5	
1268	2/09/2023	Correctivo	3	

$$MTBF = \frac{4948}{3} = 1649.33$$

$$MTTR = \frac{11}{3} = 3.67$$

$$Disponibilidad = \frac{1649.33}{1649.33 + 3.67} = 99.78\%$$

ff. Zaranda N°4

Tabla 99. *Historial de mantenimiento de la zaranda N°4 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1018	2/11/2022	Correctivo	3	
1047	8/12/2022	Correctivo	6	
1089	26/01/2023	Correctivo	4	
1131	14/03/2023	Correctivo	3.5	
1169	2/05/2023	Correctivo	3	
1187	28/05/2023	Correctivo	5	4948
1212	21/06/2023	Correctivo	4.5	
1231	15/07/2023	Correctivo	2.5	
1255	9/08/2023	Correctivo	6	
1267	1/09/2023	Correctivo	4	
1296	27/09/2023	Correctivo	2	

$$MTBF = \frac{4948}{11} = 449.82$$

$$MTTR = \frac{43.5}{11} = 3.95$$

$$Disponibilidad = \frac{449.82}{449.82 + 3.95} = 99.13\%$$

gg. Peladora N°1

Tabla 100. *Historial de mantenimiento de la peladora N°1 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1032	20/11/2022	Correctivo	4	
1045	8/12/2022	Correctivo	3	
1087	26/01/2023	Correctivo	5	
1100	10/02/2023	Correctivo	4	
1130	14/03/2023	Correctivo	3	
1142	2/04/2023	Correctivo	4	4948
1185	28/05/2023	Correctivo	6	
1210	21/06/2023	Correctivo	3	
1229	15/07/2023	Correctivo	5	
1254	9/08/2023	Correctivo	4	

1293	27/09/2023	Correctivo	3
------	------------	------------	---

$$MTBF = \frac{4948}{11} = 449.82$$

$$MTTR = \frac{44}{11} = 4$$

$$Disponibilidad = \frac{449.82}{449.82 + 4} = 99.12\%$$

hh. Elevador N°10

Tabla 101. *Historial de mantenimiento del elevador N°10 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1017	30/10/2022	Correctivo	4.5	4939
1057	18/12/2022	Correctivo	3.5	
1094	5/02/2023	Correctivo	4	
1136	25/03/2023	Correctivo	2	
1173	13/05/2023	Correctivo	6	
1197	5/06/2023	Correctivo	1.5	
1239	24/07/2023	Correctivo	5	
1279	11/09/2023	Correctivo	2.5	

$$MTBF = \frac{4939}{8} = 617.38$$

$$MTTR = \frac{29}{8} = 3.63$$

$$Disponibilidad = \frac{617.38}{617.38 + 3.63} = 99.42\%$$

ii. Faja de reproceso N°2

Tabla 102. *Historial de mantenimiento de la faja de reproceso N°2 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1044	8/12/2022	Correctivo	5	4939
1164	26/04/2023	Correctivo	4	
1217	1/07/2023	Correctivo	5	
1260	20/08/2023	Correctivo	4.5	

$$MTBF = \frac{4939}{4} = 1234.75$$

$$MTTR = \frac{18.5}{4} = 4.63$$

$$Disponibilidad = \frac{1234.75}{1234.75 + 4.63} = 99.63\%$$

jj. Faja de reproceso N°3

Tabla 103. *Historial de mantenimiento de la faja de reproceso N°3 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1075	8/01/2023	Correctivo	2.5	4939
1179	21/05/2023	Correctivo	3	
1269	3/09/2023	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{4939}{3} = 1646.33$$

$$MTTR = \frac{9.5}{3} = 3.17$$

$$Disponibilidad = \frac{1646.33}{1646.33 + 3.17} = 99.81\%$$

kk. Zaranda N°5

Tabla 104. *Historial de mantenimiento de la zaranda N°5 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1030	15/11/2022	Correctivo	4	4939
1073	3/01/2023	Correctivo	4.5	
1114	22/02/2023	Correctivo	1	
1129	13/03/2023	Correctivo	2	
1156	11/04/2023	Correctivo	3.5	
1168	1/05/2023	Correctivo	2	
1194	1/06/2023	Correctivo	3	
1216	27/06/2023	Correctivo	5	
1253	8/08/2023	Correctivo	2.5	
1297	27/09/2023	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{4939}{10} = 493.30$$

$$MTTR = \frac{31.5}{10} = 3.15$$

$$Disponibilidad = \frac{493.30}{493.30 + 3.15} = 99.37\%$$

II. Peladora N°2

Tabla 105. *Historial de mantenimiento de la peladora N°2 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1016	28/10/2022	Correctivo	3.5	4939
1027	15/11/2022	Correctivo	2	
1055	16/12/2022	Correctivo	5	
1070	3/01/2023	Correctivo	4	
1095	5/02/2023	Correctivo	11	
1111	22/02/2023	Correctivo	4	
1153	11/04/2023	Correctivo	5	
1191	1/06/2023	Correctivo	2	
1236	20/07/2023	Correctivo	8	
1276	8/09/2023	Correctivo	2	

$$MTBF = \frac{4939}{10} = 493.30$$

$$MTTR = \frac{46.5}{10} = 4.65$$

$$Disponibilidad = \frac{493.30}{493.30 + 4.65} = 99.07\%$$

mm. Faja transportadora de selección manual

Tabla 106. *Historial de mantenimiento de la faja transportadora de selección manual – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1019	4/11/2022	Correctivo	5	3948
1059	23/12/2022	Correctivo	3	
1080	14/01/2023	Correctivo	4	
1120	2/03/2023	Correctivo	1	
1160	21/04/2023	Correctivo	2	

1200	10/06/2023	Correctivo	1.5
1244	29/07/2023	Correctivo	4.5
1282	16/09/2023	Correctivo	2

$$MTBF = \frac{3948}{8} = 493.5$$

$$MTTR = \frac{23}{8} = 2.88$$

$$Disponibilidad = \frac{493.5}{493.5 + 2.88} = 99.42\%$$

nn. Estufa N°1

Tabla 107. *Historial de mantenimiento de la estufa N°1 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1099	10/02/2023	Correctivo	3	5036
1226	12/07/2023	Correctivo	5	

$$MTBF = \frac{5036}{2} = 2518$$

$$MTTR = \frac{8}{2} = 4$$

$$Disponibilidad = \frac{2518}{2518 + 4} = 99.84\%$$

oo. Intercambiador de calor N°6

Tabla 108. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°6 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1137	25/03/2023	Correctivo	4	5036
1174	13/05/2023	Correctivo	6	
1218	1/07/2023	Correctivo	3	

$$MTBF = \frac{5036}{3} = 1678.67$$

$$MTTR = \frac{13}{3} = 4.33$$

$$Disponibilidad = \frac{1678.67}{1678.67 + 4.33} = 99.74\%$$

pp. Estufa N°2

Tabla 109. *Historial de mantenimiento de la estufa N°2 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1124	10/03/2023	Correctivo	3	5028.5
1195	2/06/2023	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{5028.5}{2} = 2514.25$$

$$MTTR = \frac{7}{2} = 3.5$$

$$Disponibilidad = \frac{2514.25}{2514.25 + 3.5} = 99.86\%$$

qq. Intercambiador de calor N°7

Tabla 110. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°7 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1042	4/12/2022	Correctivo	5	5028.5
1161	21/04/2023	Correctivo	3.5	
1201	10/06/2023	Correctivo	3	
1245	29/07/2023	Correctivo	4	
1283	16/09/2023	Correctivo	6	

$$MTBF = \frac{5028.5}{5} = 1005.7$$

$$MTTR = \frac{21.5}{5} = 4.3$$

$$Disponibilidad = \frac{1005.7}{1005.7 + 4.3} = 99.57\%$$

rr. Horno N°1

Tabla 111. *Historial de mantenimiento del horno N°1 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1038	3/12/2022	Correctivo	3	5009.5
1052	15/12/2022	Correctivo	3	
1101	11/02/2023	Correctivo	4	
1196	2/06/2023	Correctivo	3	

$$MTBF = \frac{5009.5}{4} = 1252.38$$

$$MTTR = \frac{13}{4} = 3.25$$

$$Disponibilidad = \frac{1252.38}{1252.38 + 3.25} = 99.74\%$$

ss. Intercambiador de calor N°8

Tabla 112. *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°8 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1011	15/10/2022	Correctivo	4	5009.5
1039	3/12/2022	Correctivo	3	
1049	10/12/2022	Correctivo	6	
1085	22/01/2023	Correctivo	4.5	
1102	11/02/2023	Correctivo	2	
1141	2/04/2023	Correctivo	3.5	
1180	21/05/2023	Correctivo	2.5	
1224	9/07/2023	Correctivo	5	
1292	27/09/2023	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{5009.5}{9} = 556.61$$

$$MTTR = \frac{34.5}{9} = 3.83$$

$$Disponibilidad = \frac{556.61}{556.61 + 3.83} = 99.32\%$$

tt. Horno N°2**Tabla 113.** *Historial de mantenimiento del horno N°2 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1026	15/11/2022	Correctivo	5	
1145	9/04/2023	Correctivo	3.5	5015
1263	27/08/2023	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{5015}{3} = 1671.67$$

$$MTTR = \frac{12.5}{3} = 4.17$$

$$Disponibilidad = \frac{1671.67}{1671.67 + 4.17} = 99.75\%$$

uu. Intercambiador de calor N°9**Tabla 114.** *Historial de mantenimiento del intercambiador de calor N°9 – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1021	12/11/2022	Correctivo	5	
1065	1/01/2023	Correctivo	2.5	
1106	19/02/2023	Correctivo	3	
1126	10/03/2023	Correctivo	1.5	
1146	9/04/2023	Correctivo	4.5	5015
1166	28/04/2023	Correctivo	2.5	
1204	17/06/2023	Correctivo	3.5	
1248	5/08/2023	Correctivo	4	
1288	24/09/2023	Correctivo	3	

$$MTBF = \frac{5015}{9} = 557.22$$

$$MTTR = \frac{29.5}{9} = 3.28$$

$$Disponibilidad = \frac{557.22}{557.22 + 3.28} = 99.41\%$$

vv. Caldero 300 BHP

Tabla 115. *Historial de mantenimiento del caldero 300 BHP – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1015	28/10/2022	Correctivo	3	5057
1025	15/11/2022	Correctivo	4	
1054	16/12/2022	Correctivo	5	
1069	3/01/2023	Correctivo	2	
1093	5/02/2023	Correctivo	5	
1135	22/03/2023	Correctivo	4	
1151	11/04/2023	Correctivo	7	
1190	1/06/2023	Correctivo	3	
1235	20/07/2023	Correctivo	3	
1241	26/07/2023	Correctivo	2	
1275	8/09/2023	Correctivo	1	

$$MTBF = \frac{5057}{11} = 459.73$$

$$MTTR = \frac{39}{11} = 3.55$$

$$Disponibilidad = \frac{459.73}{459.73 + 3.55} = 99.23\%$$

ww. Caldero 100 BHP

Tabla 116. *Historial de mantenimiento del caldero 100 BHP – 2do periodo*

Ítem	Fecha	Tipo de mantenimiento	Tiempo de reparación (hrs)	Horas de trabajo en buen estado
1048	9/12/2022	Correctivo	4	5083
1175	14/05/2023	Correctivo	1.5	
1219	2/07/2023	Correctivo	3.5	
1261	21/08/2023	Correctivo	4	

$$MTBF = \frac{5083}{4} = 1270.75$$

$$MTTR = \frac{13}{4} = 3.25$$

$$Disponibilidad = \frac{1270.75}{1270.75 + 3.25} = 99.74\%$$

Debido a que la mayoría de máquinas trabajan dependiendo de la funcionalidad de otras máquinas se considera un indicador en conjunto para la evaluación de resultados, el cual se determina hallando el producto de los indicadores de disponibilidad de las máquinas dependientes entre sí.

$$\text{Disponibilidad Total} = \text{Disp Maq 1} \times \text{Disp Maq 2} \times \dots \times \text{Disp Maq N}$$

En la tabla 117 se muestra el conjunto de máquinas dependientes que trabajan como un solo sistema.

Tabla 117. *Sistemas de máquinas que trabajan en serie*

Sistema 1	Elevador N°1
	Zaranda N°1
	Ciclón de polvos
Sistema 2	Elevador N°2
	Criba giratoria
	Transportador N°1
Sistema 3	Elevador N°3
	Transportador N°2
	Rodillo N°1
Sistema 4	Intercambiador de calor N°1
	Caldero 300 BHP
	Rodillo N°2
Sistema 5	Intercambiador de calor N°2
	Caldero 300 BHP
	Rodillo N°3
Sistema 6	Intercambiador de calor N°3
	Caldero 300 BHP
	Rodillo N°4
Sistema 7	Intercambiador de calor N°4
	Caldero 300 BHP
	Transportador N°3
Sistema 8	Elevador N°4
	Transportador N°4
	Transportador N°5
Sistema 9	Transportador N°6
	Elevador N°6
	Zaranda N°2
Sistema 9	Elevador N°7
	Transportador N°7
	Rodillo N°5

	Intercambiador de calor N°5
	Zaranda N°3
	Elevador N°8
Sistema 10	Elevador N°9
	Faja de reproceso N°1
	Zaranda N°4
	Peladora N°1
	Zaranda N°3
	Elevador N°8
	Elevador N°10
Sistema 11	Faja de reproceso N°2
	Faja de reproceso N°3
	Zaranda N°5
	Peladora N°2
Sistema 12	Faja de selección manual
	Estufa N°1
Sistema 13	Intercambiador de calor N°6
	Caldero 300 BHP
	Estufa N°2
Sistema 14	Intercambiador de calor N°7
	Caldero 300 BHP
	Horno N°1
Sistema 15	Intercambiador de calor N°8
	Caldero 300 BHP
	Horno N°2
Sistema 16	Intercambiador de calor N°9
	Caldero 300 BHP

4.3 Resultados

La tabla 118 muestra el resumen comparativo del indicador de disponibilidad para cada equipo en los periodos estudiados y por sistema.

Tabla 118. *Indicador de disponibilidad en cada sistema*

Sistema	Nombre del activo	Disponibilidad 2021 - 2022	Disponibilidad 2022 - 2023	
1	Elevador N°1	95.22%	99.51%	88.07%
	Zaranda N°1	99.12%	99.68%	
	Ciclón de polvos	99.36%	99.94%	
	Elevador N°2	96.10%	99.72%	
	Criba giratoria	97.72%	99.68%	
2	Transportador N°1	95.81%	99.32%	87.97%
	Elevador N°3	95.74%	99.40%	

	Transportador N°2	95.90%		99.54%	
3	Rodillo N°1	98.03%		99.76%	
	Intercambiador de calor N°1	98.33%	90.22%	99.54%	98.54%
	Caldero 300 BHP	93.60%		99.23%	
4	Rodillo N°2	98.90%		99.63%	
	Intercambiador de calor N°2	98.92%	91.57%	99.71%	98.58%
	Caldero 300 BHP	93.60%		99.23%	
5	Rodillo N°3	97.37%		99.39%	
	Intercambiador de calor N°3	98.86%	90.10%	99.80%	98.43%
	Caldero 300 BHP	93.60%		99.23%	
6	Rodillo N°4	99.02%		99.78%	
	Intercambiador de calor N°4	97.39%	90.26%	99.53%	98.55%
	Caldero 300 BHP	93.60%		99.23%	
7	Transportador N°3	99.45%		99.76%	
	Elevador N°4	95.89%	92.63%	99.55%	98.92%
	Transportador N°4	97.13%		99.61%	
8	Transportador N°5	96.71%		99.57%	
	Transportador N°6	97.56%	91.45%	99.44%	98.53%
	Elevador N°6	96.93%		99.51%	
9	Zaranda N°2	97.86%		99.47%	
	Elevador N°7	97.58%		99.46%	
	Transportador N°7	95.30%	86.25%	99.50%	97.28%
	Rodillo N°5	97.83%		99.52%	
	Intercambiador de calor N°5	96.88%		99.30%	
10	Zaranda N°3	99.55%		99.88%	
	Elevador N°8	95.03%		99.68%	
	Elevador N°9	94.84%	75.98%	99.45%	97.07%
	Faja de reproceso N°1	98.28%		99.78%	
	Zaranda N°4	92.67%		99.13%	
	Peladora N°1	92.99%		99.12%	
11	Zaranda N°3	99.55%		99.88%	
	Elevador N°8	95.03%		99.68%	
	Elevador N°10	96.53%	79%	99.42%	
	Faja de reproceso N°2	98.04%		99.63%	96.90%
	Faja de reproceso N°3	98.34%		99.81%	
	Zaranda N°5	94.66%		99.37%	
	Peladora N°2	94.79%		99.07%	
12	Faja de selección manual	97.61%	97.61%	99.42%	99.42%
13	Estufa N°1	99.29%		99.84%	
	Intercambiador de calor N°6	97.95%	91.03%	99.74%	98.81%
	Caldero 300 BHP	93.60%		99.23%	
14	Estufa N°2	99.44%		99.86%	
	Intercambiador de calor N°7	98.19%	91.39%	99.57%	98.66%
	Caldero 300 BHP	93.60%		99.23%	
	Horno N°1	99.12%		99.74%	

15	Intercambiador de calor N°8	96.88%	89.88%	99.32%	98.30%
	Caldero 300 BHP	93.60%		99.23%	
16	Horno N°2	99.30%		99.75%	
	Intercambiador de calor N°9	96.64%	89.82%	99.41%	98.40%
	Caldero 300 BHP	93.60%		99.23%	

De la tabla 118 se analiza el comparativo del indicador de disponibilidad entre ambos periodos, de lo cual la mejora se halla entre la diferencia del periodo 2 y el periodo 1. Los resultados se exponen en la tabla 119.

Tabla 119. *Mejora en el indicador de disponibilidad*

Sistema	Disponibilidad Periodo 1	Disponibilidad Periodo 2	Mejora
1	88.07%	98.54%	10.47%
2	87.97%	98.27%	10.30%
3	90.22%	98.54%	8.32%
4	91.57%	98.58%	7.01%
5	90.10%	98.43%	8.33%
6	90.26%	98.55%	8.29%
7	92.63%	98.92%	6.29%
8	91.45%	98.53%	7.08%
9	86.25%	97.28%	11.03%
10	75.98%	97.07%	21.09%
11	79%	96.90%	17.90%
12	97.61%	99.42%	1.81%
13	91.03%	98.81%	7.78%
14	91.39%	98.66%	7.27%
15	89.88%	98.30%	8.42%
16	89.82%	98.40%	8.58%

Los resultados derivados de la aplicación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad han arrojado cifras altamente positivas, superando el umbral del 95%. Este rendimiento excepcional sirve como un indicador robusto del éxito de la implementación, destacando la efectividad del enfoque adoptado en la mejora de la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas electromecánicas en la empresa agroindustrial procesadora de castaña. Al examinar los datos de manera integral y considerando el promedio total de cada periodo como punto de referencia, se concluye que la disponibilidad global durante el periodo 1 alcanzó el 88.95%, mientras que en

el periodo 2 se elevó significativamente al 98.33%. Esta mejora representa un notable incremento del 9.38% en la disponibilidad global.

Posterior a la implementación del plan de mantenimiento y debido a la optimización de adquisición de repuestos críticos, se logró reducir los tiempos de parada por fallas (tabla 120) y por ende a reducir los costos de producción afectos a paradas no programadas (tabla 121).

Tabla 120. *Comparativo de tiempo medio de reparación*

Máquinas	MTTR (hrs) Periodo 1	MTTR (hrs) Periodo 2	Reducción de MTTR
Caldero N° 01	7.58	3.55	4.03
Caldero N° 02	4.60	3.25	1.35
Ciclón de polvos	7.25	3.00	4.25
Criba giratoria	7.03	3.20	3.83
Elevador N° 01	8.09	3.50	4.59
Elevador N° 02	7.04	2.80	4.24
Elevador N° 03	6.68	3.75	2.93
Elevador N° 04	6.75	3.83	2.92
Elevador N° 06	5.29	3.06	2.23
Elevador N° 07	7.02	3.86	3.16
Elevador N° 08	6.93	5.33	1.60
Elevador N° 09	6.75	3.44	3.31
Elevador N° 10	5.48	3.63	1.85
Estufa N° 01	8.25	4.00	4.25
Estufa N° 02	8.67	3.50	5.17
Faja de reproceso N° 01	4.96	3.67	1.29
Faja de reproceso N° 02	5.89	4.63	1.26
Faja de reproceso N° 03	4.96	3.17	1.79
Faja transportadora de selección manual	3.86	2.88	0.98
Horno N° 01	6.75	3.25	3.50
Horno N° 02	6.50	4.17	2.33
Intercambiador de calor N° 01	7.80	4.60	3.20
Intercambiador de calor N° 02	7.29	3.63	3.66
Intercambiador de calor N° 03	8.83	3.33	5.50
Intercambiador de calor N° 04	7.27	3.36	3.91
Intercambiador de calor N° 05	4.15	3.89	0.26
Intercambiador de calor N° 06	5.71	4.33	1.38
Intercambiador de calor N° 07	5.73	4.30	1.43
Intercambiador de calor N° 08	5.46	3.83	1.63
Intercambiador de calor N° 09	4.97	3.28	1.69

Peladora N° 01	6.11	4.00	2.11
Peladora N° 02	6.11	4.65	1.46
Rodillo N° 01	9.25	3.00	6.25
Rodillo N° 02	7.43	3.13	4.30
Rodillo N° 03	7.29	4.43	2.86
Rodillo N° 04	7.58	3.67	3.91
Rodillo N° 05	5.88	4.00	1.88
Transportador N° 01	6.57	3.45	3.12
Transportador N° 02	6.42	3.83	2.59
Transportador N° 03	8.67	4.00	4.67
Transportador N° 04	6.67	3.67	3.00
Transportador N° 05	6.91	3.19	3.72
Transportador N° 06	7.31	3.56	3.75
Transportador N° 07	5.37	3.13	2.24
Zaranda N° 01	8.00	5.33	2.67
Zaranda N° 02	6.20	3.79	2.41
Zaranda N° 03	7.5	3.00	4.50
Zaranda N° 04	7.14	3.95	3.19
Zaranda N° 05	5.95	3.15	2.80

Al examinar los datos de manera global, se identifica un Tiempo Medio de Reparación (MTTR) general de 6.65 horas en el primer periodo, que se reduce a 3.69 horas en el segundo periodo. Esta mejora se traduce en una reducción notable de 2.96 horas en el MTTR.

En la actualidad, el costo por hora hombre del personal operario asciende a S/ 4.58. A partir de esta información base, procedemos a calcular el costo total por personal operario en cada sistema, teniendo en cuenta la cantidad de operarios establecidos y considerando situaciones en las que el equipo esté inoperativo, lo que implica que el operario esté presente pero no activamente trabajando.

Tabla 121. *Comparativo de costos de pérdida en horas hombre por averías*

Sistema	Cantidad de personal	Horas paradas Periodo 1	Horas paradas Periodo 2	Costo de pérdida en h.h. por averías Periodo 1	Costo de pérdida en h.h. por averías Periodo 2
1	2	584.00	73.50	S/ 5,349.44	S/ 673.26
2	1	590.00	87.50	S/ 2,702.20	S/ 400.75
3	0.75	496.50	74.00	S/ 1,705.48	S/ 254.19
4	0.75	429.00	66.00	S/ 1,473.62	S/ 226.71

5	0.75	503.00	80.00	S/	1,727.81	S/	274.80
6	0.75	495.00	73.50	S/	1,700.33	S/	252.47
7	1	368.50	57.00	S/	1,687.73	S/	261.06
8	1	424.00	78.50	S/	1,941.92	S/	359.53
9	3	849.50	137.50	S/	11,672.13	S/	1,889.25
10	1	1122.00	148.00	S/	5,138.76	S/	677.84
11	1	981.00	157.00	S/	4,492.98	S/	719.06
12	12	96.50	23.00	S/	5,303.64	S/	1,264.08
13	1.25	456.00	60.00	S/	2,610.60	S/	343.50
14	1.25	438.00	67.50	S/	2,507.55	S/	386.44
15	1.25	514.00	86.50	S/	2,942.65	S/	495.21
16	1.25	517.50	81.00	S/	2,962.69	S/	463.73
				S/	55,919.51	S/	8,941.88

Al contrastar los costos asociados a las horas hombre desperdiciadas entre el primer período (S/ 55,919.51) y el segundo período (S/ 8,941.88), se observa una discrepancia significativa de S/ 46,977.63. Este hallazgo refleja una notable disminución del 84% en los gastos asociados a la mano de obra, derivados de las paradas de equipos.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos demuestran que la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) ha tenido un impacto significativo en la disponibilidad de las máquinas electromecánicas en la empresa agroindustrial procesadora de castaña. En primer lugar, se observó una mejora notable en la disponibilidad general de las máquinas, indicando que el RCM ha contribuido positivamente a reducir el tiempo de paradas por fallas. Este logro está alineado con el objetivo específico a de la tesis, que buscaba precisamente mejorar la eficiencia operativa mediante la disminución de los períodos de inactividad.

Además, los beneficios del RCM se reflejaron en el sistema de compras de repuestos, evidenciando una optimización en la adquisición de repuestos críticos. La implementación del plan de gestión de mantenimiento ha permitido una mayor eficiencia en la gestión de inventarios de repuestos, asegurando la disponibilidad oportuna de las piezas esenciales para el funcionamiento de las máquinas. Este éxito se correlaciona con el objetivo específico b de la tesis, que se centraba en mejorar el proceso de adquisición de repuestos.

Asimismo, se destacan los ahorros obtenidos en las compras de repuestos, lo que respalda la efectividad del RCM en la reducción de los costos de producción, como se planteaba en el objetivo específico c de la investigación. La implementación de un enfoque basado en confiabilidad ha permitido identificar y abordar de manera proactiva las necesidades de mantenimiento, evitando gastos innecesarios y contribuyendo a la eficiencia económica de la empresa.

En última instancia, la reducción de la pérdida de mano de obra por parada de máquinas constituye otro logro significativo derivado de la implementación del RCM. La mejora en la gestión de mantenimiento ha llevado a una mayor continuidad en la operación, minimizando las interrupciones y optimizando el rendimiento del personal involucrado. En conjunto, estos resultados validan la efectividad del enfoque de mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para alcanzar los objetivos planteados en la tesis.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

La implementación del plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar diversos aspectos operativos y económicos en la empresa agroindustrial procesadora de castaña. Los objetivos establecidos en la tesis han sido alcanzados de manera exitosa, respaldando la idea inicial de que el enfoque centrado en confiabilidad puede tener un impacto positivo en la disponibilidad de las máquinas electromecánicas y, por ende, en la eficiencia global de la operación.

La implementación exitosa de la metodología RCM ha tenido un impacto significativo en la disponibilidad de las máquinas electromecánicas, manifestándose con un notable aumento del 9.38% en la disponibilidad global promedio. Este resultado concreto respalda de manera concluyente la eficacia del RCM como herramienta estratégica para la optimización del rendimiento operativo. Además, la eficiencia en la gestión de repuestos críticos ha contribuido a una mayor continuidad en las operaciones, minimizando la dependencia de adquisiciones urgentes y generando ahorros tangibles en las compras de repuestos.

La drástica disminución del 84% en los costos de producción vinculados al mantenimiento, derivada de la aplicación del RCM, subraya de manera contundente la premisa de que adoptar un enfoque centrado en la confiabilidad no solo perfecciona la eficiencia operativa, sino que también genera repercusiones directas en la salud financiera de la empresa. La capacidad de anticipar y prevenir fallas ha demostrado ser una estrategia económicamente sólida, permitiendo a la empresa asignar recursos de manera más eficiente y evitar gastos imprevistos.

En resumen, los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación respaldan la relevancia y el impacto positivo del mantenimiento centrado en confiabilidad en el contexto de la empresa agroindustrial procesadora de castaña. Las conclusiones derivadas de este estudio proporcionan una base sólida para la continuación y la expansión de prácticas de gestión de mantenimiento centradas en la confiabilidad en el ámbito industrial.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AENOR. (1987). UNE 58-222-87: Aparatos de manutención continua: Elevadores de cangilones: Clasificación. Madrid: AENOR.

Alex Vedan (2023). ¿Cómo funcionan los motores eléctricos? Tractian Tecnología Industrial.

Alfaro Flores, W. R. (2019). Gestión de mantenimiento basado en el riesgo para incrementar la confiabilidad de las máquinas de la empresa ZINSAC del Perú S.A.C. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Álvarez Q., A. (2006). Tecnología de la Concentración Centrífuga. Universidad Mayor de San Andrés.

Arenzano, J. (2009, 7 de noviembre). Ingeniería de servicios. Generación de Vapor. Recuperado de <http://ingenieriaserviciosgeneracionvapor.blogspot.com/2009/11/principio-de-funcionamiento-de-la.html>.

Baisón Santiago, L. A. (2010). Manual Electricidad Industrial. Editorial CEP.

Blanco-Cáceres, J. S., & Duque-Suárez, O. M. (2018). Ingeniería de mantenimiento basada en confiabilidad a los equipos altamente críticos de la Empresa Comercializadora LICRATEX C.A. Mundo Fesc, 8(15), 41-48. ISSN 2216-0353 (impreso) - 2216-0388 (Online).

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2018). Diseño en Ingeniería Mecánica (8a edición). McGraw-Hill Interamericana.

Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. Científica, 23(1), 51-59. Instituto Politécnico Nacional.

CEMA. (2005). Belt Conveyors for Bulk Materials, Volume 1. CEMA.

Coetze, J. (1998). Maintenance. Trafford Publishing.

- Cuñas Bautista, E. F. (2014). Diseño y Construcción de un Extractor Centrífugo para Almidón de Yuca. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito.
- Davis, R. (2012). Introducción a la gestión de activos. The Institute of Asset Management.
- Díaz Navarro, J. (2007). Técnicas de mantenimiento industrial. Calpe Institute of Technology.
- Dudley, D. W. (1984). Handbook of Practical Gear Design. New York, NY: McGraw-Hill.
- Duffua, S. O., Raouf, A., & Campbell, J. D. (1998). Planning and Control of Maintenance Systems. John Wiley & Sons.
- Echeverri Londoño, C. A. (2006). DISEÑO ÓPTIMO DE CICLONES. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 5(9), 123-139.
- Espinoza Montes, C. (2014). Metodología de investigación tecnológica Pensando en sistemas. Huancayo: Soluciones Gráficas S.A.C.
- Fellows, P. (2009). Tecnología del procesado de los alimentos: principios y práctica (2da ed.). Editorial Acribia.
- Gonzales Fernandez, F. J. (2005). Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado (2da ed.). Fundación Confemetal.
- Gooding Garavito, N. (2009). Lubricación industrial. Universidad Nacional de Colombia.
- Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. México: McGRAW-HILL.
- Instituto Tecnológico de Capacitación y Productividad. (2002). Instalación y mantenimiento de motores eléctricos trifásicos Módulo No. 10. INTECAP.
- International Copper Association Latin América. (2015). Gestión de activos: Guía para la aplicación de la Norma ISO 55001.
- Jaramillo, O. A. (2007). INTERCAMBIADORES DE CALOR. Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kohan, A. L. (2000). Manual de calderas, principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas. Mc Graw Hill.

- Leon Paro, L. I. (2019). diseño de un módulo educativo a escala de una zaranda vibratoria. ProQuest LLC.
- Meruane, V. (2014). Gestión de activos físicos. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile.
- Monchy, F. (1990). La fonction maintenance. Masson S.A.
- Moubray, J. (1997). Reliability centered maintenance. Industrial Press, Inc.
- Muñoz Cevallos, J. L., & Cantos Macías, M. (2021). Mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos en industria de conservas de atún. Científica, 25(2), 1-24. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- Navarro Elola, L., Pastor Tejedor, A. C., & Mugaburu Lacabrera, J. M. (1997). Gestión Integral de Mantenimiento. Marcombo Boixareu Editores.
- Paredes Solano, P., Carreño Aguilar, E., & Méndez Bueno, R. (2018). Diseño de un plan de mantenimiento basado en condición para la empresa Molinos Guanentá S.A.S. Revista Matices Tecnológicos, Edición 9, ISSN 2027-4408, 38. Fundación Universitaria de San Gil.
- Parra, C., & Crespo, A. (2012). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos. Ingecon.
- Roldan Vilorio, J. (1982). Electricidad industrial esquemas básicos (7ma edición). Paraninfo.
- Suazo, L. (2020). 8 indicadores de mantenimiento para la gestión de activos. Tractian Tecnología Industrial.
- Trinks, W., Garvey, J., & Mawhinney, J. R. (2003). Industrial Furnaces 6e. John Wiley & Sons.
- Uribe, S. C. (2020). Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil. Ingeniería Industrial, (38), 48-12. doi: 10.26439/ing.ind2020.n038.4812. Universidad de Lima, Perú.
- Vila y Lletjós, F. (1862). Memorias sobre la exposición universal de 1862 en Londres. Barcelona: Diputación provincial de Barcelona. Establecimiento tipográfico de Jaime Jepús.
- Weg Cestari. (2019). Línea sinfín y corona | Manual de Instrucciones. Weg Cestari.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS MÁQUINAS ELECTROMECAÑICAS EN UNA EMPRESA AGROINDUSTRIAL PROCESADORA DE CASTAÑA”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema General</p> <p>¿Cómo la implementación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad permitirá incrementar la disponibilidad de máquinas electromecánicas en una empresa agroindustrial procesadora de castaña?</p> <p>Problema Específico 1</p> <p>¿Cómo la implementación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad reducirá el tiempo de paradas por fallas?</p> <p>Problema Específico 2</p> <p>¿Cómo la implementación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad optimizará la adquisición de repuestos críticos?</p> <p>Problema Específico 3</p> <p>¿Cómo la implementación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad impactará en la reducción de costos de producción?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Implementar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para incrementar la disponibilidad de máquinas electromecánicas en una empresa agroindustrial procesadora de castaña.</p> <p>Objetivo Específico 1</p> <p>Implementar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para reducir el tiempo de paradas por fallas.</p> <p>Objetivo Específico 2</p> <p>Implementar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para optimizar la adquisición de repuestos críticos.</p> <p>Objetivo Específico 3</p> <p>Implementar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para reducir los costos de producción.</p>	<p>Variable 1</p> <p>Implementación de un plan de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad</p>	Criticidad	<ul style="list-style-type: none"> Matriz de criticidad 	<p>Tipo investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de investigación: Descriptiva</p> <p>Diseño de investigación: Longitudinal</p> <p>Enfoque de investigación: Cuantitativo</p> <p>Técnica: Observación experimental, análisis de datos históricos.</p> <p>Instrumentos: Registro de órdenes de trabajo, registro de indicadores claves de rendimiento, vernier, pirómetro, multímetro.</p> <p>Población: Máquinas electromecánicas de la empresa agroindustrial procesadora de castaña.</p> <p>Muestra: Máquinas electromecánicas de la empresa agroindustrial procesadora de castaña.</p>
			Cumplimiento	<ul style="list-style-type: none"> $\frac{N^{\circ} \text{ de Mantos Ejecutados}}{N^{\circ} \text{ de Mantos Programados}}$ 	
			Costos por mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro de costos relacionados a mantenimiento 	
		<p>Variable 2</p> <p>Disponibilidad de las máquinas electromecánicas</p>	Disponibilidad de los equipos	<ul style="list-style-type: none"> $\frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100\%$ 	
			Tiempos de paradas por fallas	<ul style="list-style-type: none"> $MTBF = \frac{\sum \text{Horas de trabajo en buen estado}}{\sum N^{\circ} \text{ averías para el manto correctivo}}$ 	
				<ul style="list-style-type: none"> $MTTR = \frac{\sum \text{Tiempo de reparación}}{\sum N^{\circ} \text{ intervenciones realizadas}}$ 	
			Costos de producción	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro de costos relacionados a producción 	
			Adquisición de repuestos críticos	<ul style="list-style-type: none"> Tiempos de repuesta para la adquisición de repuestos 	

Anexo 2. Glosario de términos

Confiabilidad: La capacidad de un sistema, equipo o proceso para realizar su función sin fallas durante un período específico y bajo condiciones establecidas.

Mantenimiento predictivo: Un enfoque de mantenimiento que utiliza datos e información recopilada para predecir posibles fallas o problemas en los equipos antes de que ocurran.

Análisis de fallas: Un proceso para investigar y comprender las causas subyacentes de una falla en un sistema o equipo con el fin de evitar recurrencias.

Plan de mantenimiento: Un conjunto de actividades y estrategias planificadas y programadas para mantener y mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Eficiencia operativa: La capacidad de un sistema o proceso para producir resultados óptimos utilizando la menor cantidad de recursos posibles.

Gestión de activos: El proceso de coordinar y optimizar el rendimiento, la adquisición, el mantenimiento y la eliminación de los activos de una organización.

Mantenimiento correctivo: Intervenciones para reparar equipos o sistemas después de que se haya producido una falla o avería.

Mantenimiento preventivo: Actividades de mantenimiento planificadas y programadas para evitar fallas y prolongar la vida útil de los equipos.

Indicadores clave de desempeño (KPIs): Métricas específicas utilizadas para evaluar el rendimiento y los resultados de un proceso o sistema.

Pirómetro: Un dispositivo para medir la temperatura de partes de las máquinas o equipos en constante trabajo y esfuerzo.

Multímetro: Un instrumento utilizado para medir tensión (V), corriente (A) y resistencia (Ohm) en equipos y sistemas eléctricos y electrónicos.

Vernier: Un instrumento de medición utilizado para medir dimensiones precisas, como ejes, chumaceras, rodamientos, etc. para evaluar su desgaste con respecto al tiempo.

Severidad (Si): La severidad se refiere al impacto o consecuencia de un modo de falla particular en el sistema o proceso. La escala de severidad generalmente varía de 1 a 10, donde 1 indica un impacto menor y 10 indica un impacto catastrófico.

Ocurrencia (Oi): La ocurrencia se refiere a la probabilidad de que ocurra un modo de falla. La escala de ocurrencia generalmente varía de 1 a 10, donde 1 indica una ocurrencia muy baja y 10 indica una ocurrencia muy alta.

Detección (Ni): La detección se refiere a la capacidad de detectar un modo de falla antes de que cause un impacto significativo. La escala de detección generalmente varía de 1 a 10, donde 1 indica una alta capacidad de detección y 10 indica una baja capacidad de detección.

Nivel de riesgo de prioridad (NPRi): El NPRi es el producto de los valores asignados a la severidad, ocurrencia y detección. Este valor numérico ayuda a clasificar y priorizar los modos de falla. Cuanto mayor sea el NPRi, mayor será el riesgo asociado con el modo de falla.

Crítico (Cr): En el contexto de clasificación, un elemento o evento clasificado como "crítico" implica que tiene un impacto significativo en el rendimiento, la seguridad, la fiabilidad o el éxito general de un sistema.

Mayor (My): En el contexto de clasificación, un elemento o evento clasificado como "mayor" indica que tiene un impacto significativo, pero no tan severo.

Horas hombre (h.h.): Unidad de medida que expresa el esfuerzo total de trabajo que puede realizar una persona en una hora.