

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“Propuesta de un Modelo de Gestión de Mantenimiento para la Corporación Arrocera de
Costa Rica S.A.”**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TITULO DE
LICENCIATURA**

ÁREA DE CONOCIMIENTO:

Gestión del Mantenimiento

REALIZADO POR:

AARÓN JOSUÉ CHAVES CASTRO

CARTAGO, MAYO, 2025



Carrera evaluada y acreditada por:

Agencia de Acreditación de programas de Ingeniería y Arquitectura

Profesor Guía

Manuel Centeno López

Asesor Industrial

Antony Trejos García

Tribunal Examinador

Francisco Bonilla Guido

Rosa Matarrita Chávez

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado especialmente a mis padres, Rodolfo y Anabelle, quienes me han apoyado constantemente durante todos estos años, dándome la oportunidad de formarme como profesional en una institución tan prestigiosa como el TEC.

Agradecimientos

Agradezco sinceramente a la empresa CACSA por permitirme realizar mi trabajo de graduación en sus instalaciones y a todos los colaboradores que me apoyaron con su experiencia y amabilidad durante esta práctica profesional.

También agradezco a todas las personas que estuvieron a mi lado durante estos años de formación académica, apoyándome directa o indirectamente en cada paso del camino.

Finalmente, gracias especiales a mi profesor guía, Manuel Centeno, y a mi asesor industrial, Antony Trejos, por toda su paciencia, ayuda y los valiosos consejos basados en su amplia experiencia.

Hoja de datos

Datos personales

Nombre completo: Aarón Josué Chaves Castro

Número de cédula: 305210274

Número de carné: 2019031844

Número de teléfono: +506 8673 0495

Correos electrónicos: aaronchavescastro@estudiantec.cr

Dirección exacta de domicilio: Cartago, Oriental, Residencial Angulo, 2da etapa.

Datos de la Empresa

Nombre: Corporación Arrocería de Costa Rica S.A.

Actividad Principal: Productor y procesador de arroz

Dirección: 2 km al Oeste del Cementerio General de Alajuela., Alajuela, Costa Rica

Contacto: Antony Sebastián Trejos García

Teléfono: +506 8701 1004

Índice

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPITULO 1. RESEÑA DE LA EMPRESA	4
1.1 Descripción de la empresa.....	4
1.2 Reseña histórica.....	4
1.3 Misión y visión.....	6
1.4 Proceso productivo	6
1.5 Departamento de mantenimiento	10
CAPITULO 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2.1 Justificación del proyecto.....	12
2.2 Objetivos	14
2.3 Alcances y limitaciones.....	15
CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO.....	18
3.1 Antecedentes	18
3.2 Mantenimiento Industrial	20
3.3 Tipos de mantenimiento	24
3.4 Definiciones de mantenimiento.....	26
3.5 Mejora continua.....	29
3.6 Cuadro de Mando Integral.....	29
3.7 Norma COVENIN 2500-93	33
3.8 Criticidad.....	37
3.9 Análisis financiero.....	43
3.10 Prototipo de monitoreo.....	44
CAPITULO 4. METODOLOGÍA	48
4.1 Método de evaluación del departamento.....	48
4.2 Método de recolección de información.....	48

4.3	Método de codificación de equipos.....	49
4.4	Método de análisis de criticidad.....	50
4.5	Método de creación de los cronogramas del MGM	51
CAPITULO 5. DIAGNOSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO		52
5.1	Resultados de la aplicación de la Auditoría según la norma COVENIN.....	52
5.2	Análisis de los resultados	65
CAPITULO 6. ESTIMACIÓN DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS		67
6.1	Propuesta de un sistema de clasificación por código	67
6.2	Determinación de equipos críticos	70
6.3	Análisis de resultados de criticidad.....	71
CAPITULO 7. PROPUESTA DEL MODELO DE GESTIÓN.....		73
7.1	Misión y visión propuesta para el departamento.....	74
7.2	Características del modelo	74
7.3	Consideraciones del diseño del manual	75
7.4	Propuesta de plantillas para el departamento	80
CAPITULO 8. DISEÑO DEL CUADRO DE MANDO INTEGRAL		85
8.1	Definición de objetivos por perspectiva.....	85
8.2	Cuadro de mando integral	92
CAPITULO 9. ANÁLISIS FINANCIERO.....		94
9.1	Determinación de costos del modelo	94
9.2	Análisis financiero.....	101
CAPITULO 10. DISEÑO DE PROTOTIPO DE MEDICIÓN EN TIEMPO REAL		111
10.1	Elección del equipo y variable de interés.....	111
10.2	Selección de plataforma a utilizar	112
10.3	Selección de dispositivos	113
10.4	Montaje y programación del prototipo.....	118
10.5	Diagrama de conexión.....	135
10.6	Diagrama de flujo del código	136

10.7	Resumen de materiales y costos.....	137
10.8	Pruebas y resultados	139
10.9	Análisis de resultados.....	142
10.10	Oportunidades de mejora	143
10.11	Cronograma de posible implementación.....	146
10.12	Riesgos clave de la implementación y medidas de mitigación	147
CONCLUSIONES.....		149
RECOMENDACIONES		150
BIBLIOGRAFÍA.....		151
ANEXOS.....		157

Índice de Figuras

Fig. 1.	Diagrama del proceso productivo de CACSA	9
Fig. 2.	Organigrama del Departamento de Mantenimiento	11
Fig. 3.	Criterios de evaluación de la criticidad de los equipos	39
Fig. 4.	Resultados de la Organización de la Empresa	52
Fig. 5.	Resultados de la Organización del Mantenimiento.....	53
Fig. 6.	Resultados de la Planificación del Mantenimiento	54
Fig. 7.	Resultados del Mantenimiento Rutinario.....	55
Fig. 8.	Resultados del Mantenimiento Programado	56
Fig. 9.	Resultados del Mantenimiento Circunstancial.....	58
Fig. 10.	Resultados del Mantenimiento Correctivo.....	59
Fig. 11.	Resultados del Mantenimiento Preventivo.....	60
Fig. 12.	Resultados del Mantenimiento por Avería.....	61
Fig. 13.	Resultados del Personal de Mantenimiento	62
Fig. 14.	Resultados del Apoyo Logístico	63
Fig. 15.	Resultados de Recursos.....	64
Fig. 16.	Gráfico radar de resultado de la auditoría COVENIN	66
Fig. 17.	Ejemplo para Codificación de los Equipos	70

Fig. 18. Ejemplo de la Propuesta de Cronograma de Mantenimientos Preventivos	78
Fig. 19. Propuesta de Orden de Trabajo	82
Fig. 20. Ejemplo de gestión de reportes de averías	84
Fig. 22. Pines de conexión del sensor DS18B20.....	114
Fig. 23. Sensor NTC-3435.....	114
Fig. 24. Módulo de almacenamiento MicroSD SparkFun OpenLog.....	115
Fig. 25. Módulo DS3231	116
Fig. 26. Módulo de Interfaz LCD.....	117
Fig. 27. Módulo de luces LED	117
Fig. 28. Diagrama de conexión de los sensores.....	119
Fig. 29. Conexión de los sensores de temperatura	119
Fig. 30. Inclusión de librería para sensores y definición de pines.....	120
Fig. 31. Lectura de temperaturas e impresiones al puerto serial	121
Fig. 32. Resultado de las lecturas de sensores en puerto serial	121
Fig. 33. Diagrama de conexión de la pantalla LCD	122
Fig. 34. Conexión de la pantalla LCD.....	123
Fig. 35. Inclusión de librerías para interfaz LCD	123
Fig. 36. Activación de la pantalla LCD.....	124
Fig. 37. Impresión de temperaturas en la pantalla LCD.....	124
Fig. 38. Resultados de las temperaturas mostradas en la pantalla LCD.....	125
Fig. 39. Diagrama de conexión del RTC.....	126
Fig. 40. Conexión del módulo RTC	126
Fig. 41. Inclusión de librería para módulo RTC.....	127
Fig. 42. Inicialización y configuración de reloj del RTC.....	127
Fig. 43. Impresión de fecha y hora directos del RTC.....	128
Fig. 44. Resultados en el monitor serial tras la instalación del módulo RTC	129
Fig. 45. Diagrama de conexión del OpenLog.....	130
Fig. 46. Diagrama de conexión del OpenLog.....	130
Fig. 47. Inclusión de librería para módulo de almacenamiento	131
Fig. 48. Definición de canal de comunicación del OpenLog	131
Fig. 49. Definición de canal de comunicación del OpenLog	132

Fig. 50. Resultados de prueba de almacenamiento.....	133
Fig. 51. Diagrama de conexión módulo de LEDs	133
Fig. 52. Conexión de módulo de LEDs	134
Fig. 53. Definición y configuración de pines	134
Fig. 54. Condiciones para la activación de LEDs	135
Fig. 55. Diagrama de conexión del prototipo	136
Fig. 56. Diagrama de flujo del código.....	137
Fig. 57. Prueba de prototipo en temperatura de trabajo normal	139
Fig. 58. Prueba de prototipo en temperatura de alerta.....	140
Fig. 59. Prueba de prototipo en temperatura de emergencia	140
Fig. 60. Interfaz del visor de resultados	141
Fig. 61. Grafica generada de la prueba realizada a altas temperaturas.....	142
Fig. 62. Grafica generada de la prueba realizada a bajas temperaturas.....	143

Índice de Tablas

Tabla 1. Áreas y principios básicos evaluados por la norma COVENIN 2500-93	36
Tabla 2. Criterios de evaluación del impacto en la seguridad del personal	40
Tabla 3. Criterios de evaluación del impacto en el medio ambiente.....	40
Tabla 4. Criterios de evaluación del impacto en la producción total	40
Tabla 5. Criterios de evaluación del impacto en la producción de la línea	41
Tabla 6. Criterios de evaluación del impacto en integridad de otros equipos.....	41
Tabla 7. Criterios de evaluación del impacto en la calidad del producto.....	41
Tabla 8. Criterios de evaluación del valor económico del equipo	42
Tabla 9. Criterios de evaluación de la dificultad de adquisición de repuestos.....	42
Tabla 10. Rangos de criticidad	42
Tabla 11. Resultados de la auditoría por áreas.....	65
Tabla 12. Ejemplo codificación por ubicación.....	68
Tabla 13. Ejemplo codificación por áreas	68
Tabla 14. Ejemplo codificación por equipos.....	69
Tabla 15. Resultados del análisis de criticidad.....	71
Tabla 16. Descripción de códigos de actividades de mantenimiento	77

Tabla 17. Propuesta de objetivos para la perspectiva financiera.....	85
Tabla 18. Propuesta de objetivos para la perspectiva cliente	87
Tabla 19. Propuesta de objetivos para la perspectiva de los procesos internos	89
Tabla 20. Propuesta de objetivos para la perspectiva de la formación y el aprendizaje	91
Tabla 21. Propuesta de cuadro de mando integral.....	93
Tabla 22. Costo de repuestos del modelo.....	96
Tabla 23. Costo de los servicios tercerizados.....	97
Tabla 24. Determinación de cantidades de aceite necesario de forma anual	98
Tabla 25. Precio de aceites según presentación.....	99
Tabla 26. Costo del aceite necesario para el modelo propuesto.....	99
Tabla 27. Costo de la grasa necesaria para el modelo propuesto	99
Tabla 28. Resumen de costos del modelo	100
Tabla 29. Resumen de costos totales del modelo.....	101
Tabla 30. Costos del mantenimiento CACSA 2024.....	106
Tabla 31. Flujo de caja con perspectiva realista.....	107
Tabla 32. Flujo de caja con perspectiva pesimista	108
Tabla 33. Flujo de caja con perspectiva optimista	109
Tabla 34. Resumen de materiales y costos.....	138

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Formula de criticidad.....	38
Ecuación 2. Costo anual de mantenimiento por tonelada producida.....	86
Ecuación 3. Retorno sobre la inversión.....	87
Ecuación 4. Disponibilidad	88
Ecuación 5. Tiempo medio entre fallas	88
Ecuación 6. Tiempo medio de reparación	88
Ecuación 7. Disponibilidad por avería	89
Ecuación 8. Tiempo dedicado al mantenimiento preventivo	90
Ecuación 9. Porcentaje de tareas preventivas realizadas.....	90
Ecuación 10. Horas promedio de capacitación.....	92

Índice de Anexos

Anexo 1. Respuestas de la evaluación de la Norma COVENIN.....	157
Anexo 2. Codificación de equipos.....	165
Anexo 3. Determinación de equipos Críticos.....	168
Anexo 4. Fichas técnicas de equipos críticos	172
Anexo 5. Cronogramas de mantenimiento diseñados por equipo	190
Anexo 6. Costo por mano de obra del plan de mantenimiento propuesto.....	197
Anexo 7. Código para Arduino del prototipo de medición en tiempo real	202
Anexo 8. Código Python para el visualizador de datos.....	206

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal el diseño de un Modelo Integral de Gestión del Mantenimiento para la Corporación Arrocera de Costa Rica S.A. (CACSA), con la finalidad de mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y aumentar la confiabilidad de los equipos críticos de la planta. A través de una auditoría basada en la norma COVENIN 2500-93, se diagnosticó el estado actual del departamento, revelando un nivel global de inocencia (24%), caracterizado por una fuerte dependencia del mantenimiento correctivo y por avería.

Además, mediante un análisis cualitativo de criticidad, se identificaron 17 equipos clave que presentan vulnerabilidades operativas importantes, destacando principalmente al compresor Blower. A partir de estos resultados, se propuso un modelo estructurado que incluye cronogramas anuales de mantenimiento preventivo, plantillas estandarizadas para recopilación de información, y un Cuadro de Mando Integral (CMI) con indicadores estratégicos alineados con la misión y visión de CACSA.

Para validar la viabilidad económica del modelo, se realizó un análisis financiero considerando distintos escenarios de ahorro, determinándose un escenario realista con una reducción de costos estimada del 30%, que genera un VAN de ₡18,857,586 y una TIR del 42%, lo que indica una sólida rentabilidad económica.

Finalmente, se desarrolló un prototipo funcional basado en Arduino para monitoreo en tiempo real del equipo crítico seleccionado, demostrando una respuesta efectiva a los cambios térmicos en menos de 5 segundos y un sistema robusto de alarmas, validando así su utilidad como plan piloto mientras se implementan soluciones más avanzadas y permanentes.

Palabras clave: Modelo de Gestión de Mantenimiento, análisis de criticidad, Cuadro de Mando Integral, VAN, TIR, prototipo de monitoreo.

ABSTRACT

This project aims to design an Integral Maintenance Management Model for the "Corporación Arrocera de Costa Rica S.A." (CACSA), with the goal of enhancing operational efficiency, reducing costs, and increasing the reliability of critical plant equipment. Through an audit based on the COVENIN 2500-93 standard, the current state of the maintenance department was assessed, revealing an overall level of "innocence" (24%), characterized by a strong dependence on corrective and breakdown maintenance.

Additionally, a qualitative criticality analysis identified 17 key assets with significant operational vulnerabilities, primarily highlighting the Blower compressor. Based on these findings, a structured model was proposed, including annual preventive maintenance schedules, standardized data-collection templates, and a Balanced Scorecard with strategic indicators aligned with CACSA's mission and vision.

To validate the model's economic viability, a financial analysis was performed considering different savings scenarios. A realistic scenario with an estimated 30% cost reduction resulted in an NPV of ₡18,857,586 and an IRR of 42%, demonstrating strong economic profitability.

Finally, a functional prototype based on Arduino technology was developed for real-time monitoring of the selected critical equipment, demonstrating an effective response to thermal changes within 5 seconds and a robust alarm system, thus validating its utility as a pilot solution while more advanced and permanent systems are implemented.

Keywords: Maintenance Management Model, criticality analysis, Balanced Scorecard, NPV, IRR, monitoring prototype.

INTRODUCCIÓN

La gestión eficaz del mantenimiento es clave para asegurar la continuidad operativa y la competitividad de cualquier empresa del sector industrial. En un entorno donde la optimización de procesos, reducción de costos y mejora de la calidad son esenciales, las empresas deben garantizar el óptimo funcionamiento de sus equipos para evitar paros y pérdidas. La Corporación Arrocera de Costa Rica S.A. (CACSA), una de las principales empresas del sector alimentario del país, enfrenta desafíos importantes debido a la falta de un sistema de mantenimiento estructurado.

Este trabajo tiene como objetivo diseñar un modelo integral de gestión del mantenimiento, enfocado en mejorar la eficiencia operativa y la confiabilidad de sus equipos. La ausencia de un plan de mantenimiento formal y la dependencia del mantenimiento circunstancial y por avería han generado altos costos y tiempos de inactividad, afectando la productividad y competitividad de la empresa.

Para esto, se realizará una evaluación del estado actual del mantenimiento mediante auditorías normativas como la COVENIN, así como un análisis de criticidad para identificar los equipos más críticos. También se definirán indicadores clave de rendimiento alineados con los objetivos estratégicos de la empresa. Con base en estos resultados, se diseñará un modelo de gestión del mantenimiento que integre prácticas preventivas, incluyendo un análisis financiero para validar su viabilidad y un prototipo funcional de monitoreo en tiempo real del equipo más crítico.

La finalidad es proporcionar una herramienta estratégica que optimice sus operaciones, reduzca costos y mejore la disponibilidad y confiabilidad de sus equipos, contribuyendo así al logro de sus objetivos estratégicos y fortaleciendo su posición competitiva en el mercado agroindustrial.

CAPITULO 1. RESEÑA DE LA EMPRESA

1.1 Descripción de la empresa

La Corporación Arrocera de Costa Rica, ubicada en Barrio San José de Alajuela, es la segunda empresa más grande del sector arrocero del país, con más de 50 años de experiencia en el mercado. Su actividad principal se centra en la producción, procesamiento y distribución de arroz para el consumo nacional, consolidándose como un referente dentro de la industria alimentaria costarricense.

A lo largo de su trayectoria, la empresa ha demostrado un compromiso constante con la calidad de sus productos y la eficiencia en sus procesos, lo que le ha permitido responder de manera efectiva a la creciente demanda del mercado. Su enfoque se orienta a ofrecer un producto confiable que cumpla con los estándares de calidad exigidos por el consumidor costarricense.

Con una capacidad de producción cercana a los 70 mil quintales mensuales y la generación de empleo local en áreas agrícolas, industriales y logísticas, la empresa se posiciona como uno de los actores clave en el desarrollo del sector arrocero del país.

1.2 Reseña histórica

La trayectoria de CACSA se remonta a 1968, cuando la fusión de Arrocera San Ramón y Arrocera Los Cipreses dio origen a Arrocera Costa Rica y a la construcción de la planta matriz en barrio San José de Alajuela. Desde sus inicios la empresa adoptó un modelo de integración vertical, donde se compra la granza, se hace el procesamiento industrial y la distribución del arroz empacado, que aún hoy en día la distingue de su competencia (Acosta, Fonseca & Varela, 2018).

Durante la década de 1970 la operación industrial se consolidó y, en 1978, la compañía lanzó Imperio, el primer arroz precocido del mercado costarricense. Este fue un éxito comercial que inauguró una etapa de expansión que incluyó, en 1998, la incorporación de presentaciones con 80 % y 90 % de grano entero, así como nuevas marcas orientadas a distintos nichos de consumidores (Acosta et al., 2018).

El salto cualitativo llegó en 2000 con Imperio Premium, 95 % de grano entero, y la adquisición de dos plantas adicionales en Liberia y Palmar Norte, duplicando la capacidad de pilado y generando empleo para cientos de familias. Seis años después, el consorcio multinacional Grain Hill absorbió Arrocera Costa Rica y por medio de la organización y la reestructuración funda la Corporación Arrocera de Costa Rica S.A. (Acosta et al., 2018).

La estrategia de modernización continuó en 2007 con la compra del Grupo Arrocerero XXI S.A., que se especializaba en semilla certificada, lo que garantizó a CACSA el control tanto de la materia prima como de la finca, facilitando la implantación de la ISO 9001-2015 por inocuidad y calidad. En ese mismo año, se introdujo la presentación Imperio 98% grano entero, reflejando la apuesta por la diferenciación en la calidad (Acosta et al., 2018).

En 2010, se realizó una inversión para la adquisición de una planta Bühler de última generación, que automatizó completamente el proceso de pilado y pulido, reduciendo mermas y mejorando la eficiencia energética. Esto en conjunto con la búsqueda de mejorar su calidad culminó en la obtención de la certificación Kosher en 2014 para toda la línea de arroz y se reforzó en 2015, con un rediseño de empaque y el lanzamiento de Imperio 99% grano entero. Finalmente, en 2017, CACSA obtuvo el distintivo nacional de “Alimento Fortificado en Costa Rica”, consolidando así su imagen como referente de calidad y responsabilidad nutricional. (Acosta et al., 2018)

De esta forma, en poco más de medio siglo, la empresa ha pasado de ser un molino regional a un conglomerado industrial integrado, que logra controlar desde la semilla hasta el producto que llega a los supermercados, respaldado por su conocimiento del sector y sus múltiples certificaciones hace de CACSA y su producto estrella, Imperio, un líder referente del arroz a nivel nacional.

1.3 Misión y visión

1.3.1 Misión

En Corporación Arrocera Costa Rica S.A. contribuimos con la salud, bienestar y nutrición de nuestros clientes; brindando productos elaborados bajo estándares de calidad e inocuidad.

1.3.2 Visión

Ser líder en la industrialización y acondicionamiento de arroz en el país, a través de la innovación constante, la máxima calidad, eficiencia en los procesos y la excelencia del recurso humano, para garantizar la satisfacción de clientes, proveedores y personal interno.

1.4 Proceso productivo

Actualmente, la empresa cuenta con un amplio proceso productivo que abarca desde la llegada de la granza hasta su posterior salida como grano en bolsa independientemente de sus distintas presentaciones y marcas.

La planta Alajuela, sede de este proyecto, se enfoca en la producción de arroz en sus distintas presentaciones, mientras la planta de Liberia procesa los demás productos y granos bajo la empresa CACSA. El sistema productivo tiene un diseño lineal, de modo que cada etapa depende de la anterior y esta prepara la siguiente.

Tras la recepción de la granza, se realiza un análisis de calidad según los estándares internos por parte del laboratorio, en caso de que el lote no los cumpla, este se rechaza, si los supera, pasa al sector de romanas para confirmar el pesaje y registrar su ingreso.

A continuación, la granza se destina a los silos de recibo para disminuir su porcentaje de humedad. El tiempo de estancia en estos silos varía según el nivel de humedad, donde el laboratorio realiza análisis periódicos hasta alcanzar el porcentaje adecuado para la siguiente fase. En años anteriores, se utilizaban secadores industriales para acelerar este paso, sin embargo, por la antigüedad de estos y la falta de una estructura de mantenimiento de calidad, estos secadores están fuera de servicio. Esto se compensa por un mayor tiempo de estadía del grano en el silo.

Cuando la granza alcanza el nivel de humedad óptima, se inyecta por medio de elevadores a las zarandas, donde se realiza una limpieza de todas aquellas impurezas que naturalmente trae el arroz tras su recolección, como piedras, palos y hojas. Cada zaranda tiene un ojal más pequeño tras cada paso, lo que permite una filtración por fases, y una limpieza más detallada.

Una vez limpia, la granza se inyecta a los silos de secado por 90 días, hasta que el grano alcance la maduración y una humedad ideal cercana al 12%. En caso donde el lote se encuentre con una pequeña diferencia de la humedad, se cuenta con un secador que si bien, no es capaz de procesar toda la producción de los silos, tiene capacidad para aquellos lotes que no son tan grandes.

Cumplido ese periodo, la granza pasa al molino, donde recibirá una limpieza adicional. Primero en pre limpiadoras que por medio de zarandas afinarán la filtración de todas las impurezas restantes en el arroz, luego por detectores magnéticos (electroimanes), que permiten atrapar partículas de material ferroso que pueda dañar los equipos.

A continuación, un sistema de tres descascaradoras en línea retira la cascarilla. El material separado se extrae mediante aspiración y ventilación que se conduce hacia las esclusas. Después, mesas Paddy con bandejas perforadas que permiten separar los granos integrales de las impurezas restantes (Alvarado, 2022). Por último, una clasificadora de tambor separa las semillas que cumplen con las características deseadas de tamaño y forma, seguido de un electroimán que atrapa cualquier partícula residual restante.

A este punto, se decide si el producto será arroz integral o pulido. El arroz integral se desvía por un baipás que evita las pulidoras, mientras que el arroz pulido pasa por hasta tres pulidoras para lograr el nivel de brillo requerido.

Luego, equipos como la puntillera, cilindros clasificadores (Treabejón, tris, granos enteros y quebrados) y clasificadoras electrónicas (Satake y Bühler) seleccionan el grano según su calidad y blancura, logrando hasta un 99 % de granos enteros o integrales.

Finalmente, cada lote se pesa y pasa por detectores de metales antes del envasado. Si el arroz se necesita con un 99 % de grano entero, se empaca en su presentación estándar, de lo contrario, se mezcla según la proporción requerida para su posterior empaquetado y almacenaje en una bodega temporal, donde se almacenan hasta su despacho o venta.

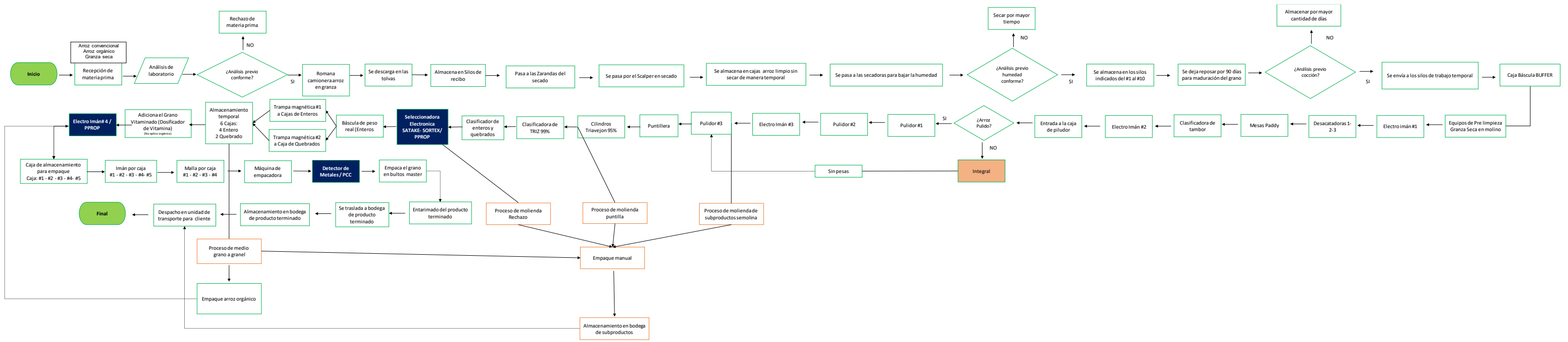


Fig. 1. Diagrama del proceso productivo de CACSA

Fuente: Corporación Arroceras de Costa Rica S.A.

1.5 Departamento de mantenimiento

Actualmente, el departamento no cuenta con autonomía ni con una estructura jerárquica que le permita establecerse como una unidad independiente con su propio presupuesto anual y capacidad para brindar servicios al área de producción. En lugar de ello, se encuentra integrado dentro del mismo departamento de producción, sin una figura como un gerente o responsable directo que actúe como intermediario entre sus necesidades ante la empresa, además de no contar con un presupuesto definido

El departamento está liderado por un jefe de mantenimiento, quien debe asumir tanto las funciones administrativas del cargo como apoyar directamente en caso de emergencias, además de estar presente en planta o intervenir en reparaciones que requieren personal con mayor nivel técnico. Este jefe tiene a su cargo un equipo de cuatro personas que, aunque están contratadas como técnicos mecánicos, también deben atender tareas de otras áreas, como obra civil o funciones misceláneas. Además, solo se cuenta con un técnico en el área eléctrica. Cabe destacar que ninguno de los cinco técnicos posee formación académica formal, ya que su conocimiento es empírico. A esto se suma una alta rotación de personal debido a la carga de trabajo, lo que dificulta tanto la estabilidad del equipo como la posibilidad de ofrecer procesos de formación técnica adecuados para cubrir eficientemente las necesidades de la planta.

Además, este equipo técnico debe cubrir tanto el turno diurno como el nocturno, lo que implica que la fuerza laboral disponible se divida entre ambos horarios, reduciendo así la presencia total de personal en la planta en todo momento.

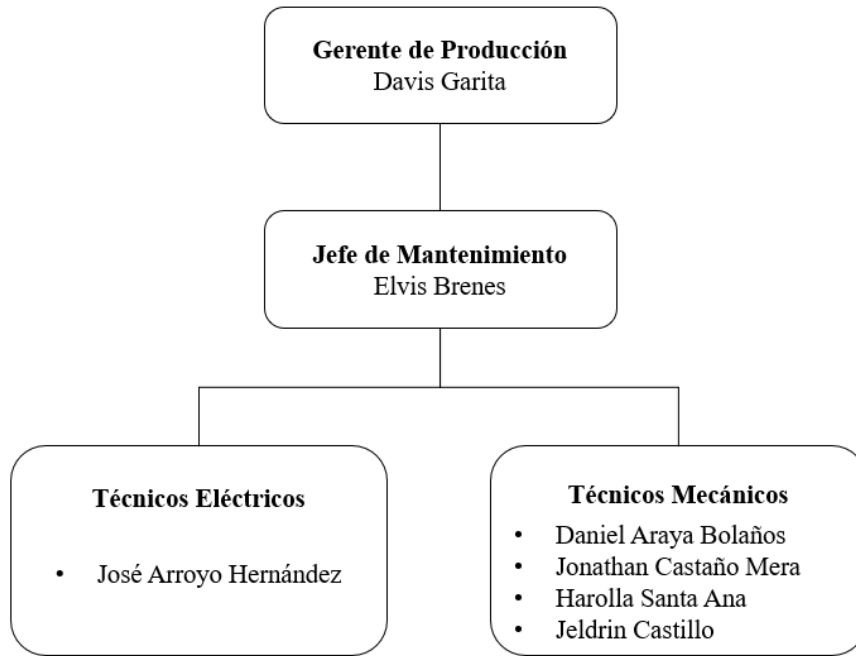


Fig. 2.Organigrama del Departamento de Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Justificación del proyecto

La Corporación Arrocera de Costa Rica S.A. enfrenta grandes desafíos en la gestión del mantenimiento de sus equipos, un aspecto que afecta su rendimiento y productividad. Al no contar con un plan de mantenimiento estructurado y en ejecución, la empresa depende casi por completo del mantenimiento correctivo y por avería, lo que se traduce en altos costos por mantenimiento y por paros inesperados de la producción. Pese a que los costos rondan los 11 millones de colones al mes en repuestos y podrían considerarse manejables, no hay forma de calcular con precisión las pérdidas generadas por cada paro, lo que al final incrementa el impacto financiero de manera indirecta.

Si bien la capacidad instalada de la planta permite producir hasta 70 mil quintales mensuales, actualmente se registran alrededor de 56 mil quintales, lo que representa una disponibilidad operativa de aproximadamente un 69 %. Esta baja eficiencia ha tenido repercusiones importantes, como el cierre de la planta en Palmar Norte, resultado de la sostenida caída en su capacidad de producción. Como plantea Rubio (2021), es fundamental contar con datos claros sobre gastos, repuestos, fallas y tiempos de reparación para gestionar de manera eficaz estos procesos.

Frente a esta realidad, adoptar un Modelo de Gestión de Mantenimiento representa una oportunidad para transformar radicalmente el enfoque actual. En lugar de centrarse únicamente en reparaciones puntuales, la empresa podrá implementar una estrategia principalmente preventiva. Este tipo de mantenimiento se enfoca en asegurar que los equipos operen en condiciones óptimas, reduciendo fallas y aumentando la confiabilidad operativa. Según Pillado, Castillo y Riva (2022), “la implementación del mantenimiento preventivo es fundamental para minimizar averías”.

La evidencia respalda esta propuesta. Ruiz (2024) reporta que la aplicación de un plan preventivo elevó la disponibilidad de máquinas del 96.41 % al 99.09 %, mientras que Timoteo (2022) señala una reducción del 40.5 % en las horas de parada, lo que a su vez incrementó en un 5.5 % la disponibilidad de los equipos. Estos resultados se traducen en mayor continuidad operativa y una gestión más eficiente de los recursos.

Los datos que se obtengan de esta nueva metodología serán de gran utilidad para la toma de decisiones dentro de CACSA y servirá como base para optimizar los procesos actuales. Como mencionan Pillado et al. (2022), “el mantenimiento preventivo representa la gestión correcta de activos, promoviendo la productividad y reduciendo costos frente al mantenimiento correctivo”. Asimismo, cuando el uso de recursos está bien planificado y organizado, es más probable que se cumplan los plazos de producción y que los equipos permanezcan en un estado óptimo de funcionamiento.

Con este proyecto, el departamento de mantenimiento podrá dejar atrás un estilo de trabajo basado en la corrección de fallas, para adoptar un sistema más activo y preventivo. Este enfoque permitirá que las operaciones sean más continuas y eficientes. Timoteo (2022) destaca que “la correcta implementación de un plan de mantenimiento preventivo reduce pérdidas en la producción, aumenta la disponibilidad y disminuye las horas de parada”. Además, ajustar la programación o la frecuencia de las revisiones ayuda a administrar mejor los recursos y a aprovechar al máximo el tiempo de trabajo. Tal como señalan Pillado et al. (2022), “el cambio de mantenimiento mensual a bimensual redujo la mano de obra necesaria y disminuyó el tiempo de paro”.

Las deficiencias que se viven hoy, desde no tener registros claros hasta carecer de indicadores de rendimiento, han contribuido a elevar costos y a que surjan ineficiencias. Tal como recuerda

Rubio (2021), “recopilar información clave es esencial para un mantenimiento bien gestionado”. El modelo propuesto busca crear una base ordenada que permita supervisar de manera constante las prácticas de mantenimiento y, sobre la marcha, afinar la estrategia. Con ello, se podrá dar prioridad a los equipos más críticos y, a la vez, reducir los riesgos de paros costosos o innecesarios.

Por tanto, la introducción de un Modelo de Gestión de Mantenimiento dará a CACSA los elementos necesarios para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de sus equipos. Al basarse en datos cuantificables y apostar por la prevención, la empresa se volverá más hábil para manejar sus recursos y disminuir los tiempos muertos, disminuyendo las pérdidas económicas y fortaleciendo así su competitividad en el sector agroindustrial.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo integral de gestión del mantenimiento para la Corporación Arrocera de Costa Rica S.A., mediante la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, para una gestión operativa eficiente y confiable de los equipos.

2.2.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar el estado actual de la gestión de mantenimiento en la Corporación Arrocera de Costa Rica S.A., mediante una auditoría basada en la normativa COVENIN, para la identificación de oportunidades de mejora dentro de la empresa.

Indicador de logro: Resultados auditoría COVENIN

2. Proponer un modelo integral de gestión del mantenimiento enfocado en los equipos más críticos, identificados a través de un análisis de criticidad y alineado con los objetivos

estratégicos de la empresa, que permita el cumplimiento de metas enfocadas en una gestión eficiente y confiable de los activos.

Indicador de logro: Cronogramas de mantenimientos para los equipos críticos

3. Determinar mediante un análisis financiero, utilizando los indicadores financieros VAN y TIR, la viabilidad de la eventual implementación del Modelo de Gestión del Mantenimiento propuesto.

Indicador de logro: Análisis financiero con indicadores de VAN y TIR

4. Diseñar un prototipo funcional para un monitoreo en tiempo real del equipo electromecánico más crítico seleccionado bajo un análisis de criticidad para el diagnóstico continuo de la condición del equipo.

Indicador de logro: Diseño de prototipo funcional de medición

2.3 Alcances y limitaciones

2.3.1 Alcances

El presente proyecto es de alcance descriptivo y explicativo, ya que analiza y describe el estado actual de la gestión de mantenimiento en CACSA y explica las causas de las deficiencias identificadas. Además, es propositivo al diseñar un modelo integral de gestión y un prototipo de monitoreo que aportan soluciones concretas.

En este, se diseñará un modelo de gestión enfocado en las necesidades específicas de los equipos más críticos, asegurando que dicho modelo se alinee de manera efectiva con las exigencias y expectativas del área de Producción.

Adicionalmente, se establecerá un sistema de indicadores de clase mundial que permita un seguimiento continuo y preciso del desempeño de la gestión de mantenimiento, buscando una mejora sostenida en los procesos.

El proyecto incluirá un análisis financiero con tal de evaluar la viabilidad de la implementación del modelo propuesto, determinando su impacto económico.

Finalmente, se diseñará un prototipo de medición en tiempo real para el equipo más crítico, monitoreando aquella condición operativa que se considere como más sensible.

2.3.2 Limitaciones

En la ejecución del proyecto para diseñar el modelo de gestión de mantenimiento, una de las principales limitaciones radica en la disponibilidad de las personas clave. El equipo técnico y el jefe del departamento tienen una gran carga de trabajo que, a menudo, dificulta su participación.

Otro aspecto relevante es la confidencialidad de la información. Aunque no se establecen requisitos formales, el acceso a datos sensibles resulta un punto crítico, lo que ha derivado en controles estrictos, de modo que solo se utilice y comparta la información realmente necesaria. Asimismo, los resultados se redactan de forma que no revelen datos estratégicos de la empresa.

La falta de documentación histórica y de datos precisos sobre el mantenimiento limita la posibilidad de hacer un diagnóstico profundo del estado actual del departamento. Para solucionarlo, se opta por la recopilación de la información más reciente directamente a través de entrevistas con el personal involucrado.

Finalmente, se identifican posibles obstáculos de tipo técnico en la creación del prototipo, ya sea por fallas en componentes o por la necesidad de conocimientos especializados. Para superar estos desafíos, se aplica un enfoque iterativo que facilita la detección de problemas y así buscar

rápida solución. A la vez, se busca el apoyo de especialistas y en el autoaprendizaje, con el fin de fortalecer la robustez del prototipo y mantener la viabilidad técnica de la iniciativa.

CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes Teóricos

La gestión del mantenimiento ha evolucionado de ser una actividad puramente reactiva para convertirse en una función estratégica dentro de las organizaciones. Herrera, López y Jarquín (2022) destacan que "el mantenimiento industrial es la base para el rendimiento y la calidad de las máquinas, aportando eficiencia al sistema productivo y buscando la fiabilidad y estabilidad de la empresa". En este contexto, estrategias como el mantenimiento preventivo y predictivo surgen como herramientas fundamentales para mejorar la eficiencia y productividad.

La necesidad de contar con datos precisos y actualizados es fundamental para una gestión eficaz del mantenimiento. Rubio (2021) indica que "es necesario recopilar información como costos, repuestos, bitácoras de mantenimiento, frecuencia de fallos y tiempos de mantenimiento para lograr una buena gestión". Esta información permite identificar áreas de mejora y establecer estrategias de mantenimiento efectivas.

Las estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo han demostrado ser eficaces en la optimización de los recursos y la reducción de costos. Crespo, Marcos, y Kumar (2023) mencionan que "la combinación de mantenimiento predictivo y preventivo puede reducir los costos de mantenimiento en un 25% a 30% en comparación con las políticas tradicionales", mientras otros estudios hablan de entre un 20% hasta un 50% de reducción de los costos. Este enfoque maximiza la vida operativa de los activos y mejora la eficiencia.

El enfoque estratégico del mantenimiento es clave para considerarlo un generador de ingresos y no solo como un costo para la empresa. Solano (2020) señala que "la gestión del

mantenimiento debe impactar positivamente la disponibilidad de los equipos, la eficiencia operativa y la reducción de los gastos correctivos". Esto ha llevado a empresas de diversos sectores a ver en la gestión del mantenimiento una oportunidad para fortalecerse como competidores.

3.1.2 Antecedentes Experimentales

Varios estudios han evidenciado el impacto positivo de implementar modelos de gestión del mantenimiento en empresas del sector agroindustrial. Un plan de mantenimiento bien gestionado ayuda a distribuir las tareas diarias, planificar y controlar las paradas de los equipos y reunir los medios materiales necesarios, como herramientas y repuestos. Esto contribuye a mejorar la disponibilidad y a reducir los tiempos de parada, incrementando la productividad laboral.

La falta de un plan de mantenimiento preventivo estructurado puede limitar la eficiencia operativa, generando averías recurrentes y reparaciones no planificadas. Baquerizo y Caro (2022) identificaron que, en Manufacturas TITANIO S.A.C., la ausencia de mantenimiento preventivo limitaba la eficiencia operativa de los equipos. La implementación del plan de mantenimiento preventivo en esta empresa permitió un aumento significativo en la disponibilidad de las máquinas, logrando una reducción de paradas no programadas y mejorando el ritmo de producción.

Ruiz (2024) afirma que "el mantenimiento preventivo tiene como objetivo evitar fallas inesperadas y mejorar la disponibilidad de las máquinas. Este plan de mantenimiento permitió aumentar la disponibilidad promedio de las máquinas de una empresa molinera de arroz del 96.41% al 99.09%, lo que representa una mejora significativa en la confiabilidad y el tiempo operativo". Además, "el análisis de la situación actual de las máquinas demostró que un adecuado plan de mantenimiento preventivo puede mejorar considerablemente los índices de productividad y eficiencia, reduciendo el número de fallas y aumentando el tiempo medio entre fallas (MTBF)".

Timoteo (2022) resalta que, con la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, "las horas de parada se redujeron en 220.5 horas, aumentando la disponibilidad de los equipos en un 5.5%". Esto evidencia la importancia de un mantenimiento adecuado para minimizar costos operativos y mejorar la productividad.

En el sector arrocero, Alvarado (2022) destaca que la implementación de un plan de gestión de mantenimiento generó una mayor confiabilidad operacional, mejorando la disponibilidad de los equipos, reduciendo las paradas no programadas y aumentando la eficiencia global de las máquinas. Esto confirma que un enfoque estructurado en mantenimiento es esencial para optimizar la operatividad de los equipos y prever fallas antes de que ocurran.

Correa y Seminario (2023) también evidenciaron que "el mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de maquinaria en un 6.59%". La implementación de un plan de mantenimiento preventivo permitió alcanzar un MTBF que presenta una mejora significativa respecto al periodo inicial evaluado.

Finalmente, según Pillado et al. (2022), "después de la implementación de la metodología de mantenimiento preventivo, se observó una mejora del 44.47% en la disponibilidad operativa, pasando de un promedio de 1.176 horas entre fallas a 1.699 horas". Esto demuestra la eficacia del mantenimiento preventivo en diferentes contextos industriales.

3.2 Mantenimiento Industrial

A lo largo del tiempo, el concepto de mantenimiento ha sido definido desde diversas perspectivas, lo que ha generado múltiples enfoques que pueden variar según el punto de vista desde el cuál se aborde. Esto se puede ver reflejado en la gran cantidad de libros, revistas, artículos y estudios existentes sobre el tema.

Históricamente, Pérez (2021) menciona que, desde la Revolución Industrial, predominaba lo que ahora conocemos como mantenimiento correctivo o reactivo, orientado principalmente a reparar fallas o averías una vez ocurridas.

Durante la década de 1920, el mantenimiento comenzó a organizarse con más atención, principalmente para prevenir accidentes laborales y mejorar la rentabilidad empresarial (Pérez, 2021). Esto significó el primer paso hacia una visión más preventiva y planificada.

Posteriormente, Botero, Marcela y Olarte (2010) destacan cómo en 1930, con el auge de la producción en cadena introducida por Henry Ford, apareció un enfoque algo más estructurado ya que, era el propio personal operativo quien determinaba cuándo realizar las reparaciones necesarias. Esto, aunque primitivo, sentó las bases del mantenimiento correctivo que conocemos hoy en día.

La evolución del mantenimiento continuó con el paso del tiempo, a través de varias etapas o generaciones. En los años 60 surgieron estrategias más estructuradas como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), seguido del Mantenimiento Productivo Total (TPM) en los 70. Luego, durante las décadas de 1980 y 1990, aparecieron metodologías como las 5S, enfocadas en optimizar aún más las actividades programadas.

En épocas recientes, el mantenimiento predictivo y el basado en la condición mediante monitoreo en tiempo real han ganado importancia, adaptándose a la tecnología disponible y a las necesidades actuales de la industria.

De esta manera, demostrando cómo la evolución histórica del mantenimiento y cómo este se ha ido adaptando progresivamente a las nuevas realidades del sector industrial, buscando siempre su enfoque tanto en la prevención como en la mejora continua.

3.2.1 Concepto de Mantenimiento

Desde un enfoque técnico, Duffuaa, Raouf y Campbell (2002) define el mantenimiento como "la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o sistema se mantiene en, o se restablece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas". Esta definición destaca claramente la importancia de conservar o restaurar la funcionalidad de los equipos.

Por otro lado, una perspectiva más integral es propuesta por Pérez (2021) en su libro *Conceptos Generales en la Gestión del Mantenimiento Industrial*, donde describe el mantenimiento como todas aquellas acciones que realizan las personas responsables para asegurar que los equipos industriales funcionen en las condiciones para las cuales fueron diseñadas. Resaltando al factor humano, señalando que quienes ejecutan estas actividades deben contar con una combinación entre conocimiento, experiencia, habilidades técnicas y capacidad para trabajar en equipo.

Desde una perspectiva económica, Alarcón y Romero (2020) plantean que la manera en que se comprende el mantenimiento ha evolucionado, tomando en cuenta no solo la funcionalidad de los equipos, sino también el beneficio económico que se obtiene al evitar fallas frecuentes. En este contexto, mencionan que "la perspectiva es distinta pues se procuran beneficios en todas las actividades de un negocio, por lo cual se demanda que el equipo siempre esté disponible en todo momento". Los autores también añaden que incluso fallas menores, si se acumulan, pueden superar incluso a los beneficios obtenidos en una jornada laboral. Por esto, resaltan que actualmente el mantenimiento no solo busca mantener operativos los equipos, sino también generar ahorros significativos al minimizar los tiempos de parada.

Finalmente, Alvarado (2022) ofrece una definición más actualizada del mantenimiento, destacando su función principal es "sostener la funcionalidad y el cuerpo de un objeto o aparato

productivo para que cumpla su función de producir bienes o servicios". Con esto, nuevamente se resalta el papel clave que cumple el mantenimiento a la hora de buscar garantizar la disponibilidad y eficiencia de los equipos.

3.2.2 Importancia del mantenimiento

La importancia del mantenimiento dentro de una empresa está directamente relacionada con los beneficios que aporta a la misma, especialmente en aspectos de calidad, la eficiencia operativa y la rentabilidad. Alarcón y Romero (2020) mencionan que el mantenimiento se entiende como “una inversión que ayuda a mejorar y mantener la calidad en la producción”, denotando un rol estratégico en los procesos productivos.

Sin embargo, históricamente las empresas han considerado el mantenimiento como un "mal necesario", subvalorando su verdadera importancia y relegándolo únicamente para situaciones estrictamente inevitables (Villegas, 2016). Esta visión limitada tiende a ignorar el beneficio que una buena gestión del mantenimiento puede aportar en términos operativos y económicos.

En contraste, Piscocya (2024) hace énfasis en que un mantenimiento bien gestionado no solo garantiza la disponibilidad constante de los equipos, sino que también permite optimizar su funcionamiento y prolongar significativamente su vida útil. Este enfoque, además, genera mejoras tangibles en la eficiencia operativa general de la planta.

Por su parte, Herrera et al. (2022) señala que una gestión adecuada del mantenimiento contribuye notablemente a la reducción de costos, no solo de mantenimiento directo sino también aquellos costos asociados al tiempo de parada y a la producción perdida. En este sentido, una administración efectiva implica controlar adecuadamente los gastos, gestionar eficientemente los

recursos humanos y financieros disponibles, y llevar un control estricto del tiempo invertido en cada actividad de mantenimiento (Villegas, 2016).

Finalmente, dado que muchas empresas operan bajo presupuestos anuales definidos, resulta crucial el correcto control y gestión del mantenimiento para garantizar el éxito financiero y operativo a largo plazo (Herrera et al., 2022). En definitiva, el mantenimiento bien gestionado deja de ser visto como un gasto y se convierte en una herramienta estratégica indispensable que influye directamente en el desempeño de la empresa.

3.3 Tipos de mantenimiento

Como se mencionó anteriormente, a lo largo del tiempo han surgido diversas clases, tipos y métodos orientados hacia la gestión del mantenimiento. Si bien cada uno de estos métodos tiene sus propias fortalezas y debilidades, la combinación o integración de varios permite crear una estrategia de mantenimiento más robusta y que permita adaptarse, capaz de responder eficazmente a las exigencias de las industrias de producción intensivas, tales como la arrocera, que requieren maximizar su producción, asegurar una alta confiabilidad de la operación y, en caso de que las medidas preventivas no sean suficientes, lograr tiempos mínimos de respuesta ante paradas o fallos en equipos. A continuación, se presentan algunos de los tipos de mantenimiento más utilizados y desarrollados en la industria.

3.3.1 Mantenimiento rutinario

Se entiende como el conjunto de acciones que deben realizarse de forma repetitiva y periódica, conformado por pequeñas tareas diarias que, en conjunto, contribuyen al buen estado y funcionamiento de un equipo y que es normalmente ejecutado por el operario del equipo. Estas labores pueden incluir desde la limpieza exterior del equipo hasta la verificación de su calibración

y la revisión de variables que puedan influir en su desempeño adecuado. Mena (2018) menciona que son todas aquellas actividades que se ejecutan de forma semanal por los operarios del sistema productiva con el fin de alargar y mantener la vida útil de los equipos.

3.3.2 Mantenimiento por avería

Es toda aquella labor o actividad llevada a cabo cuando se presenta una falla o un paro inesperado en un equipo, siendo el objetivo principal, solucionar dicha falla de manera eficiente, minimizando el impacto generado por la falla del equipo y reduciendo así el tiempo de parada. Esta intervención es realizada por el departamento de mantenimiento (Cortés, 2016).

3.3.3 Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento se enfoca en la reparación o sustitución de componentes una vez que estos presentan daños. Puede llevarse a cabo de forma planificada, cuando se anticipa el fallo, o de manera no planificada, ya sea por desconocimiento del estado del equipo o por la acción de factores externos que desencadenan la avería. Entre sus ventajas, Rubio (2011) menciona que “no necesita un monitoreo ni un control constante, pues la señal de mantenimiento se da cuando ocurre el fallo del equipo”.

3.3.4 Mantenimiento preventivo

Su enfoque está basado en la prevención de fallos y en garantizar la disponibilidad operativa del equipo. Esto se puede realizar por medio del establecimiento de un cronograma de actividades periódicas que permite conservar el equipo en condiciones óptimas de funcionamiento. Herrera et al. (2022) señalan que “es el mantenimiento que se realiza con el fin de prevenir la ocurrencia de fallas y mantener un cierto nivel de equipo”.

3.3.5 Mantenimiento predictivo

Es todo el conjunto de estudios y análisis del comportamiento de un equipo y sus variables, con el objetivo de anticipar fallas y determinar el momento óptimo para realizar una intervención. Este enfoque permite tomar decisiones basadas en información concreta, interviniendo solo cuando se detectan desviaciones significativas en el funcionamiento, con el fin de evitar fallos mayores. Alvarado (2022) indica que “el mantenimiento estudia la evolución temporal de ciertos parámetros para asociarlos a ocurrencias de fallas, con el fin de determinar en qué periodo de tiempo esa situación va a generar escenarios fuera de los estándares”.

3.4 Definiciones de mantenimiento

3.4.1 Modelo de gestión de mantenimiento

Un modelo de gestión de mantenimiento es una estrategia diseñada para optimizar la administración y agilizar los procesos del departamento de mantenimiento. Su objetivo principal es mejorar la rentabilidad de una empresa mediante la adopción de buenas prácticas y herramientas efectivas para gestionar el mantenimiento de manera más eficiente (Villegas, 2016).

Chacón (2020) destaca que el objetivo central de este modelo es “asegurar el nivel de producción y maximizar los trabajos programados”. Por su parte, Calderón (2020) amplía esta idea señalando que el modelo implica gestionar todos los procesos involucrados, ya sea directa o indirectamente, dentro de las actividades relacionadas con el mantenimiento.

Finalmente, Correa y Seminario (2023) complementan estas definiciones al mencionar que un modelo de gestión de mantenimiento consiste en “una serie de actividades operativas y administrativas con el objetivo de prevenir fallos y averías en la maquinaria y activos propios”.

Esta perspectiva enfatiza la importancia preventiva del mantenimiento dentro de una estrategia integral.

3.4.2 Disponibilidad

Es la capacidad que tiene un equipo para permanecer operativo y funcionando correctamente durante un período determinado. Este término también es utilizado como indicador, ya que según Godínez (2015), "permite conocer el tiempo que el equipo puede funcionar de manera satisfactoria en el momento que este es requerido".

3.4.3 Confiabilidad

Es el nivel de confianza que se tiene en un equipo para que opere adecuadamente durante un periodo de tiempo en condiciones óptimas para su funcionamiento. Según Villegas (2016), también se puede definir como "el nivel de certeza que se tiene sobre la posible incidencia de falla que presente determinado recurso físico".

3.4.4 Mantenibilidad

Se puede definir como la capacidad que tiene un equipo para ser reparado cuando presenta una falla. Alarcón y Romero (2020) la describen como "la probabilidad de que un equipo en estado de fallo pueda ser reparado a una condición especificada en un periodo de tiempo dado y usando unos recursos determinados".

3.4.5 Fallo

El fallo se considera como cualquier condición en un equipo que impida su funcionamiento adecuado u óptimo debido a una desviación, que puede ser interna o externa, según los parámetros

previamente establecidos y/o definidos. Medina (2021) lo define como una "desviación de una especificación [...] que implica un cambio en el rendimiento especificado".

3.4.6 Eficiencia

Es la capacidad de realizar las actividades o tareas con la menor cantidad de recursos posible cumpliendo el objetivo. Como menciona Piscoya (2024), la eficiencia “se trata del uso prudente de los medios utilizados para lograr un objetivo preestablecido; es el requisito para evitar o cancelar errores”.

3.4.7 Orden de trabajo

La orden de trabajo (OT) es el documento mediante el cual se administran todas las actividades del departamento. En él se especifican desde las labores que deben ejecutarse, el personal responsable, los recursos necesarios, los tiempos estimados, hasta la persona encargada de verificar y aprobar el trabajo realizado. Como indica Chacón (2020), la OT es el “documento que respalda el trabajo, es la gestión más importante en el proceso de mantenimiento y el registro que soporta la historia del mantenimiento”.

3.4.8 Tiempo estándar

Es el tiempo promedio que se toma para la ejecución de una tarea o actividad, desde su asignación, tomando el tiempo necesario para la recolección de las herramientas, repuestos y/o consumibles necesarios, hasta terminar la actividad. Piscoya (2024) menciona que “son los intervalos de tiempo suficiente para ejecutar una actividad”.

3.5 Mejora continua

La mejora continua se refiere a la capacidad de adaptar y perfeccionar constantemente las estrategias utilizadas, en respuesta a los cambios del entorno donde fueron implementadas. Fernández (2017) destaca que la mejora continua busca "mejorar de manera constante y permanente el sistema de producción y servicio, con el fin de alcanzar la calidad y productividad". Por su parte, Mena (2018) señala que este proceso se consigue mediante la incorporación constante de conocimiento, análisis e inteligencia, permitiendo así una mejor toma de decisiones en las áreas involucradas.

3.6 Cuadro de Mando Integral

El Cuadro de Mando Integral (CMI) fue creado en 1992 por Kaplan y Norton como una herramienta de gestión empresarial que permite, de forma estructurada, establecer un marco de referencia que incluye objetivos estratégicos, indicadores y metas, con el fin de definir claramente un enfoque a nivel organizacional. Según Mena (2018), el CMI se convierte en una herramienta administrativa clave porque "muestra cuándo una compañía y sus colaboradores alcanzan los resultados definidos [...] y también permite detectar las desviaciones del plan estratégico", lo cual lo convierte en un elemento fundamental para cualquier empresa o departamento que busque mejorar continuamente su estrategia.

Solano (2020) indica que el CMI "permite a una organización traducir su visión y estrategias a través de objetivos e indicadores seleccionados", facilitando así la transformación del enfoque departamental en acciones y actividades específicas que se pueden monitorear. Adicionalmente, Solano (2020) menciona que el CMI es "una herramienta de comunicación que traduce la estrategia organizacional [...] en un conjunto de acciones más simples de comprender".

Esta herramienta se estructura en torno a cuatro perspectivas que permiten al departamento no solamente enfocarse en sus procesos internos, sino también buscar un equilibrio con otras dimensiones relevantes que deben considerarse en la gestión del mantenimiento. Fernández (2017) afirma que estas cuatro perspectivas "permiten un equilibrio entre los objetivos a corto y largo plazo, así como entre los resultados deseados y los inductores de actuación para alcanzarlos". De esta manera, el CMI actúa como un mecanismo de control del estado actual de la organización, facilitando la alineación de iniciativas individuales, organizacionales e interdepartamentales para alcanzar un objetivo común (Mena, 2018).

3.6.1 Perspectivas de un Cuadro de Mando Integral

3.6.1.1 Perspectiva financiera

Esta perspectiva se centra en generar valor para los accionistas, buscando traducir las estrategias y acciones de la organización en resultados económicos concretos. A través de ella se evalúa en qué medida la compañía puede generar riqueza o rentabilidad, permitiendo garantizar la continuidad del negocio. Por tanto, este tiene el fin de satisfacer las expectativas de los accionistas y de los clientes, y asegurar la sostenibilidad de la empresa desde el punto de reflejar un mejor desempeño financiero (Mena, 2018).

3.6.1.2 Perspectiva del cliente

La perspectiva del cliente se enfoca en satisfacer las necesidades y expectativas de quienes adquieren ya sea los productos o servicios de la organización, así como de los clientes internos de la empresa para la realización de ciertos procesos. Basando su valor en la calidad, precio, tiempo de entrega, la imagen, además de la relación que proyecta la empresa a sus clientes y usuarios (Fernández, 2017).

3.6.1.3 Perspectiva de los procesos internos

Esta perspectiva se centra en aquellos procesos clave que la organización debe optimizar para alcanzar la excelencia y así cumplir con los requerimientos de los clientes y los accionistas. Su objetivo es asegurar la calidad y eficiencia de los procedimientos internos para contribuir en alcanzar la calidad operativa que requiere o la propuesta por la estrategia de la empresa en el área o proceso que desea destacar (Solano, 2020).

3.6.1.4 Perspectiva de la formación y el aprendizaje

Esta perspectiva se basa en aquellos objetivos e indicadores que impulsan el rendimiento a futuro de la organización. Se relaciona con la capacidad de los colaboradores y de la empresa para aprender, adaptarse y mejorar junto con su personal de forma continua. Por tanto, busca fortalecer las habilidades del personal y fomentar la innovación, permitiendo que el negocio pueda responder a las necesidades o cambios del entorno (Torres, 2018).

3.6.2 Componentes de un Cuadro de Mando Integral

3.6.2.1 Misión y visión

La misión es el propósito fundamental de una organización y a su vez, de un departamento, aquello que define su razón de ser y las actividades que realiza para generar valor. Es el compromiso que el departamento o la empresa asume con sus clientes, colaboradores y la sociedad en general, marcando el camino diario de su trabajo.

La visión representa a qué aspira a futuro el departamento, el punto al que quiere llegar y cómo quiere ser reconocida en el mercado. Es una guía que orienta el crecimiento, el desarrollo y las decisiones estratégicas para alcanzar ese ideal.

Por lo tanto, la misión y visión trabajan juntas para dar dirección y sentido ya sea a un departamento o una organización. Mientras la misión define el presente y lo que la empresa hace en su día a día, la visión impulsa el futuro y establece las metas a largo plazo. Ambas son importantes para alinear los esfuerzos y garantizar que cada acción realizada contribuya a un propósito mayor.

3.6.2.2 Objetivos estratégicos

Los objetivos planteados tienen como propósito definir un plan estratégico que permita alinear las estrategias del departamento con la misión y visión de la empresa. A través de su establecimiento, se busca generar una conexión lógica y estructurada entre ellos, asegurando que cada acción contribuya a los objetivos generales de la organización. Sin esta alineación, tanto el cuadro de mando, los indicadores y los propios objetivos perderían su propósito, convirtiéndose en una medición sin valor real para la empresa.

3.6.2.3 Indicadores

Los indicadores son herramientas clave que permiten medir aspectos específicos de la gestión, como el desempeño alcanzado, el impacto de los esfuerzos realizados y el nivel de rendimiento obtenido de las estrategias utilizadas. Estos no indican cómo debe realizarse el trabajo, sino que proporcionan una referencia sobre los resultados obtenidos, permitiendo evaluar si se está avanzando en la dirección correcta.

A partir de los valores reflejados en los indicadores, es posible tomar decisiones estratégicas para ajustar procesos, corregir desviaciones y asegurar el cumplimiento de las metas establecidas. Como menciona Mena (2018), una mala selección de los indicadores puede llevar a la empresa por

un camino equivocado, generando desviaciones que dificulten el cumplimiento de su estrategia empresarial.

3.6.2.4 Frecuencias de medición

El establecimiento de una frecuencia de medición permite realizar evaluaciones periódicas que faciliten un mayor control sobre los indicadores. Esta frecuencia debe definirse de acuerdo con el tipo de objetivo estratégico planteado y la velocidad con la que se genera la información relacionada dentro del departamento. De esta manera, se pueden identificar patrones consistentes que posibiliten mediciones precisas, proporcionando información confiable que facilite la toma de decisiones y el seguimiento del cumplimiento de los objetivos.

3.6.2.5 Metas

Las metas representan los hitos o logros definidos para garantizar el cumplimiento de las necesidades y acciones que contribuyen a alcanzar los objetivos. Funcionan como un mecanismo de medición que permite establecer un punto de referencia para evaluar el progreso. A partir de ellas, es posible identificar desviaciones, detectar oportunidades de mejora y ajustar estrategias en caso de ser necesario, asegurando una gestión más enfocada en lograr los resultados definidos.

3.7 Norma COVENIN 2500-93

La norma COVENIN 2500-93 fue desarrollada por la Comisión Venezolana de Normas Industriales con el objetivo de proporcionar una herramienta que permita evaluar de manera cuantitativa el grado de madurez de los departamentos de mantenimiento en empresas industriales.

3.7.1 Definiciones de la norma

3.7.1.1 Principio básico

Según la norma, un principio básico es un concepto que establece los criterios fundamentales relacionados con la organización, funcionamiento, sistemas y equipos que deben existir y aplicarse, en mayor o menor grado, para alcanzar los objetivos del mantenimiento.

3.7.1.2 Demérito

La norma define como demérito a cualquier aspecto parcial relacionado con un principio básico que, debido a su omisión o incidencia negativa, impide que dicho principio sea completamente efectivo, reduciendo así la puntuación total asignada al mismo.

3.7.2 Áreas evaluadas

La aplicación de la norma COVENIN 2500-93 considera cuatro aspectos clave dentro de una organización: la organización general de la empresa, la organización de las funciones de mantenimiento, la planificación, programación y control de actividades, y finalmente, la competencia del personal, recursos y la logística asociada. Cada uno de estos aspectos principales se subdivide en doce áreas que contienen diversos principios básicos. La norma establece la evaluación del cumplimiento o incumplimiento de estos principios básicos y, cuando se cumplen parcialmente, permite identificar específicamente cuáles aspectos se cumplen y cuáles no mediante la asignación de deméritos.

FACTOR	ÁREA	PRINCIPIO BÁSICO
Organización de la Empresa	Organización de la Empresa	Funciones y Responsabilidades Autoridad y Autonomía Sistema de Información
Organización de las Funciones de Mantenimiento	Organización de Mantenimiento	Funciones y Responsabilidades Autoridad y Autonomía Sistema de Información
Planificación, Programación y Control de Actividades de Mantenimiento	Planificación de Mantenimiento	Objetivos y Metas Políticas para la planificación Control y Evaluación
	Mantenimiento Rutinario	Planificación Programación e Implantación Control y Evaluación
	Mantenimiento Programado	Planificación Programación e Implantación Control y Evaluación
	Mantenimiento Circunstancial	Planificación Programación e Implantación Control y Evaluación
	Mantenimiento Correctivo	Planificación Programación e Implantación Control y Evaluación
	Mantenimiento Preventivo	Determinación de Parámetros Planificación Programación e Implantación Control y Evaluación
	Mantenimiento por Avería	Atención a las Fallas Supervisión y Ejecución Información sobre las averías
	Personal de Mantenimiento	Cuantificación de las necesidades del personal

Competencia del Personal, Recursos y Logística		Selección y Formación
		Motivación e Incentivos
Apoyo Logístico		Apoyo Administrativo
		Apoyo Gerencial
		Apoyo General
Recursos		Equipos
		Herramientas
		Instrumentos
		Materiales
		Repuestos

Tabla 1. Áreas y principios básicos evaluados por la norma COVENIN 2500-93

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

3.7.3 Escala de evaluación

A continuación, se presenta la escala de evaluación propuesta por la norma COVENIN 2500-93, la cual permite categorizar el nivel de madurez del departamento de mantenimiento dentro de una organización. Esta escala utiliza porcentajes para definir cinco niveles distintos, desde la excelencia hasta la inocencia, estableciendo las características que describen cada una de ellas. De esta forma, es posible determinar las fortalezas del departamento, así como las áreas donde se requiere implementar mejoras.

- Excelencia (91% - 100%): Existe una gestión de mantenimiento de clase mundial que cuenta con las mejores prácticas operacionales.
- Competencia (81% - 90%): Hay una gestión de mantenimiento con tendencia a clase mundial, pero existen brechas por cerrar. Es un sistema muy bueno con niveles de operación efectivos.

- Entendimiento (71% - 80%): Se da una gestión de mantenimiento básica, por encima del promedio. Se aplican algunas de las mejores prácticas de mantenimiento de clase mundial.
- Conciencia (51% - 70%): existe una gestión de mantenimiento básica, pero se desconocen las mejores prácticas de mantenimiento clase mundial o de las filosofías de mantenimiento existente.
- Inocencia (0% - 50%): No existe una gestión de mantenimiento básica, está por debajo del promedio y con muchas oportunidades de mejora.

3.8 Criticidad

3.8.1 Análisis de Criticidad

En ocasiones los recursos del departamento de mantenimiento son limitados, tanto el recurso humano como económico, por lo que se debe priorizar todos aquellos equipos que permitan asegurar el correcto funcionamiento de la planta.

En este sentido, el análisis de criticidad es una metodología eficaz que permite la evaluación los equipos presentes en la compañía. Como explica Solano (2017), “un análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones”.

Este tipo de análisis no solo permite establecer una lista ordenada de activos críticos, sino que también contribuye a una mejor asignación y gestión de los recursos disponibles. Además, permite mantener un control continuo sobre el nivel de criticidad de los equipos, considerando que este puede variar por factores externos como el aumento en los volúmenes de producción, modificaciones en los procesos o la incorporación de equipos redundantes, lo que podría modificar su posición dentro de la jerarquía de criticidad (Fernández, 2017).

3.8.2 Criterios de evaluación

En empresas o departamentos con un alto nivel organizacional, la documentación recolectada sobre los equipos en los que se encuentran los tipos de falla de cada equipo, la frecuencia de ocurrencia, los costos de las reparaciones y los repuestos, la flexibilidad operacional que posee el equipo y de la máquina, y el nivel de impacto que tiene la falla del equipo tanto a nivel de producción como de seguridad, permiten determinar de forma cuantitativa el nivel de criticidad de estos equipos mediante la siguiente ecuación:

$$\textit{Criticidad} = \textit{Frecuencia} \times \textit{Consecuencia}$$

Ecuación 1. Formula de criticidad

Sin embargo, en muchas ocasiones, los departamentos de mantenimiento en el país no poseen un nivel de documentación suficiente para realizar este tipo de análisis, por lo que se opta por una adaptación realizada por el Ing. Carlos Piedra Santamaría, profesor del Instituto Tecnológico de Costa Rica, que permite realizar este estudio de forma tal, que se involucre al personal del departamento que más conozca de los equipos de la planta o con quién tenga un mayor contacto con estos, de forma que para determinar de forma cuantitativa cuáles equipos deben considerarse críticos, se emplea un conjunto de criterios de evaluación que analizan diversos aspectos clave. Este sistema permite asignar puntajes según el grado de afectación o impacto que cada equipo tiene sobre áreas específicas como la seguridad del personal, el medio ambiente, la producción, la calidad y los costos asociados, lo que a su vez facilita identificar claramente cuáles requieren mayor atención y prioridad por parte del departamento de mantenimiento.

Criterios de evaluación		Definición
A	Impacto en la seguridad	Medida en que una falla provoca la exposición a riesgos en salud e higiene ocupacional, tanto a los colaboradores como a la comunidad.
B	Impacto en el medio ambiente	Medida en que una falla produce emanaciones de gases, partículas en suspensión, derrames químicos, contaminación de todo tipo de aguas y a la tierra.
C	Impacto en la producción total	Medida en que su falla provoca el riesgo de un paro TOTAL de la planta de producción.
D	Impacto en la producción de línea	Medida en que su falla provoca el riesgo de un paro total a la línea específica de producción donde se encuentra este equipo o instalación.
E	Impacto en la integridad de otros equipos	Medida en que, por su inadecuada operación repercute en daños a otros equipos.
F	Impacto en la calidad	Provoca una alteración directa en la calidad de los procesos productivos, no cumpliéndose los parámetros de calidad establecidos.
G	Valor económico	Precio de la máquina.
H	Dificultad de adquisición	Su disponibilidad de repuestos no es inmediata y la importación del equipo o instalación requiere de un tiempo prolongado.

Fig. 3. Criterios de evaluación de la criticidad de los equipos

Fuente: Presentación *Historia del Mantenimiento* (Piedra, 2022)

Se asignará un puntaje que va desde 0 (nada importante) hasta 3 (muy importante), dependiendo del nivel de afectación o impacto en cada una de las áreas evaluadas. Esta metodología se fundamenta en la propuesta de Mena (2018), quien utiliza como referencia los rangos definidos previamente por el Ing. Piedra. De esta manera, las puntuaciones se establecen mediante un método cuantitativo, tal como se detalla a continuación:

Puntaje	Descripción
0	No representa riesgo alguno para el personal
1	Lesiones leves sin requerir incapacidad; fácilmente atendibles
2	Lesiones moderadas o que conllevan incapacidad temporal significativa
3	Lesión grave, incapacidad permanente o incluso fatalidad

Tabla 2. Criterios de evaluación del impacto en la seguridad del personal

Fuente: Elaboración propia. Adaptación (Mena, 2018)

Puntaje	Descripción
0	No afecta al medio ambiente
1	Daños ambientales mínimos, no viola ninguna norma o regulación
2	Daños leves y reversibles, no viola ninguna norma o regulación
3	Daños irreversibles, viola alguna regulación o ley ambiental

Tabla 3. Criterios de evaluación del impacto en el medio ambiente

Fuente: Elaboración propia. Adaptación (Mena, 2018)

Puntaje	Descripción
0	No afecta la producción (equipo secundario, actividad no se detiene)
1	Afecta una parte menor del proceso o reduce la capacidad de producción de la planta levemente
2	Parada parcial de la planta o genera retrasos importantes
3	Genera un paro total de la planta

Tabla 4. Criterios de evaluación del impacto en la producción total

Fuente: Elaboración propia. Adaptación (Mena, 2018)

Puntaje	Descripción
0	No afecta la producción (equipo secundario, actividad no se detiene)
1	Afecta una parte menor del proceso o reduce la capacidad de producción de la línea levemente
2	Parada parcial de la línea o genera retrasos importantes
3	Genera un paro total de la línea

Tabla 5. Criterios de evaluación del impacto en la producción de la línea

Fuente: Elaboración propia. Adaptación (Mena, 2018)

Puntaje	Descripción
0	No afecta a otros equipos
1	Afecta levemente a otro equipo, no provoca un paro
2	Afecta levemente a otro equipo, provoca paro menor
3	Afecta a los demás equipos, provoca un paro total

Tabla 6. Criterios de evaluación del impacto en integridad de otros equipos

Fuente: Elaboración propia. Adaptación (Mena, 2018)

Puntaje	Descripción
0	No altera la calidad del producto
1	Afecta ligeramente la calidad; no se desecha, pero se necesita un proceso extra
2	El producto se vuelve no conforme; se desecha el producto
3	Compromete de manera crítica la calidad; lote debe desecharse o incumple normas reglamentarias

Tabla 7. Criterios de evaluación del impacto en la calidad del producto

Fuente: Elaboración propia. Adaptación (Mena, 2018)

Puntaje	Descripción
0	Bajo costo, menor a \$10.000
1	Costo menor, entre \$11.000 a \$30.000
2	Costo importante, entre \$30.000 a \$70.000
3	Alto costo, mayor a \$70.000

Tabla 8. Criterios de evaluación del valor económico del equipo

Fuente: Elaboración propia. Adaptación (Mena, 2018)

Puntaje	Descripción
0	No hay dificultad; mismo día
1	Tiene un costo bajo, es fácil adquirirlos
2	Alto costo, fácil de adquirirlos
3	Alto costo, existe dificultad de adquirirlos de necesitarlos por emergencia

Tabla 9. Criterios de evaluación de la dificultad de adquisición de repuestos

Fuente: Elaboración propia. Adaptación (Mena, 2018)

De esta manera, una vez obtenidos los resultados para cada una de las áreas correspondientes a los equipos existentes en la planta, se procede a realizar un análisis basado en la puntuación obtenida. Si la sumatoria de las puntuaciones es igual o superior a 12, el equipo será clasificado como crítico. Además, aquellos equipos que cumplan con los siguientes criterios serán clasificados como importantes o de no críticos:

Sumatoria	Criticidad
≥ 12	Críticos
6 - 11	Importante o moderado
< 6	No Crítico

Tabla 10. Rangos de criticidad

Fuente: Adaptación de presentación *Historia del Mantenimiento* (Piedra, 2022)

3.9 Análisis financiero

3.9.1 VAN

El Valor Actual Neto o VAN es un indicador o herramienta que nos permite determinar la rentabilidad de un proyecto, como menciona Simisterra, Rosa y Suárez (2018), si tras el análisis, el resultado es positivo esto indica que pese a las circunstancias como puede ser la demanda, el riesgo del proyecto, la inflación entre otros factores, el proyecto sigue siendo atractivo ya que se obtiene rentabilidad de él. Sin embargo, también menciona que en caso de que el VAN sea negativo se debe considerar la inversión ya que no se considera como válida o prudente.

3.9.2 TIR

Simisterra et al. (2018) define a la Tasa Interna de Retorno (TIR) como “la rentabilidad promedio que nos genera el capital que permanece invertido en el proyecto”. De esta manera, se busca obtener una TIR positiva que demuestre la capacidad del proyecto para permitirse financiar tanto su inversión inicial, como mantenerse rentable durante su desarrollo.

3.9.3 Tasa de descuento

La tasa de descuento en proyectos de inversión se define como el costo de oportunidad de los fondos y recursos utilizados, reflejando la rentabilidad esperada por los inversionistas. Esta tasa sirve como un criterio clave para evaluar la viabilidad de un proyecto, ya que representa el costo del capital invertido y se emplea para calcular indicadores financieros como el VAN (Herrera, 2014).

3.10 Prototipo de monitoreo

Para comprender adecuadamente el diseño del prototipo desarrollado, es esencial definir los conceptos más importantes relacionados con los componentes utilizados en su diseño.

El prototipo emplea la plataforma Arduino, definida según su sitio oficial como una plataforma basada en microcontroladores que permite procesar y gestionar múltiples tareas simultáneamente. Además, Arduino facilita la integración con diversos módulos externos, brindándole una mayor robustez y versatilidad, lo que lo convierte en una de las opciones más populares para la construcción de prototipos y modelos piloto.

Esta plataforma cuenta con diferentes tipos de entradas y salidas (pines digitales y analógicos) que permiten gestionar diversas señales, así como un puerto de comunicación serial, que facilita la transferencia de datos a dispositivos externos, como a computadoras o estaciones de trabajo.

En situaciones en las que las funcionalidades nativas del Arduino sean insuficientes, esta plataforma permite ampliar sus capacidades mediante librerías adicionales, facilitando su adaptación a múltiples aplicaciones.

3.10.1 Sensor

Un sensor puede definirse como un componente electrónico que capta datos provenientes del entorno físico y los transmite hacia un sistema encargado de procesarlos para su posterior análisis (Bravo y Gómez, 2010).

Tipos de sensores utilizados

Aunque existen múltiples tipos de sensores con diferentes aplicaciones, específicamente para la medición de temperatura, los más comúnmente empleados son los sensores digitales y los termistores.

Según Termometrics (2019), estos sensores se clasifican en:

- **Digitales:** Proporcionan directamente una salida digital de datos mediante comunicación directa con microcontroladores o procesadores, facilitando su integración sin necesitar una conversión analógica.
- **Termistores (NTC - Negative Temperature Coefficient):** Son sensores a los cuales su resistencia disminuye al aumentar la temperatura. Esta variación de la resistencia genera un cambio en la señal analógica, que posteriormente puede ser interpretada por el Arduino como una variación de voltaje proporcional a la temperatura.

3.10.2 Módulos externos

Se define como módulo a cualquier componente externo que permite agregar funcionalidades adicionales a una plataforma principal, compensando así posibles limitaciones propias del dispositivo original. A continuación, se describen los módulos específicos utilizados en el proyecto.

3.10.2.1 Módulo I2C

El módulo I2C (Inter-Integrated Circuit) facilita una comunicación simplificada entre diversos componentes electrónicos. Este a su vez es un protocolo de comunicación que permite la transmisión eficiente de datos empleando solo dos líneas principales (SDA y SCL), además de

alimentación y tierra. Su uso simplifica las conexiones necesarias para el intercambio de datos entre el Arduino y dispositivos externos.

- **Pin SDA (Serial Data):** Encargado de la transmisión en ambos sentidos de los datos entre dispositivos conectados en la red I2C.
- **Pin SCL (Serial Clock):** Proporciona la señal de reloj que sincroniza la transferencia de datos, garantizando así la correcta transmisión y evitando desfases o pérdidas de información.

3.10.2.2 Reloj en tiempo real (Real-Time Clock)

El módulo RTC permite registrar y mantener un control exacto de fecha y hora. Es fundamental en aplicaciones independientes (embebidas) que requieren almacenar información sobre el momento preciso en que se realizan mediciones, facilitando así el análisis y seguimiento temporal de los datos recopilados.

3.10.2.3 Módulo de almacenamiento

Los módulos de almacenamiento (como módulos tipo OpenLog) amplían la memoria disponible del Arduino, brindando un espacio adicional y seguro para almacenar información generada durante el monitoreo. De esta forma se previene la pérdida de datos debido a saturaciones en la memoria interna del Arduino, la cual se limita principalmente al almacenamiento del código ejecutable.

3.10.3 Señales de alerta

Las señales de alerta son elementos importantes que permiten advertir visual o auditivamente situaciones críticas, especialmente en sistemas embebidos donde la interacción humana directa puede ser limitada.

En este contexto específico, y debido a la naturaleza autónoma del prototipo, las señales más eficaces son aquellas que pueden detectarse fácilmente desde cierta distancia o en condiciones desfavorables. Por ello, se elige integrar principalmente señales:

- **Sonoras:** Empleando dispositivos como zumbadores o sirenas que generan alertas audibles efectivas ante condiciones críticas.
- **Visuales:** Utilizando LEDs o indicadores luminosos para proporcionar alertas claras e inmediatas sobre el estado del sistema o ante la presencia de alguna anomalía.

CAPITULO 4. METODOLOGÍA

4.1 Método de evaluación del departamento

Para la evaluación del departamento de mantenimiento se utilizó la norma COVENIN 2500-93, la cual permite determinar el grado de madurez en la gestión del mantenimiento. La auditoría se realizó el 17 de febrero del 2025 mediante entrevistas aplicadas a tres personas que desempeñan distintos roles dentro de la organización: el ingeniero de proyectos, el jefe del departamento de mantenimiento y uno de los técnicos con mayor antigüedad en la empresa.

El objetivo de entrevistar a varios participantes de distintos niveles jerárquicos fue evitar sesgos y asegurar que la puntuación obtenida reflejara de forma representativa la realidad del área. En todos los casos, se siguió el mismo procedimiento, asignando una puntuación conforme a los principios y deméritos establecidos por la norma, en función de las respuestas proporcionadas durante la entrevista.

Una vez recopilados los datos, estos fueron tabulados y analizados mediante una hoja de cálculo en Microsoft Excel. Se calcularon promedios por cada área evaluada y, posteriormente, se compararon los resultados con los valores ideales definidos por la norma. Esto permitió realizar una evaluación más objetiva del desempeño del departamento y establecer una puntuación global del nivel de gestión alcanzado.

4.2 Método de recolección de información

La información administrativa, relacionada con la organización del departamento, los costos operativos, y los repuestos utilizados, se obtiene con la colaboración directa del encargado del proyecto, quien coordina la comunicación con el departamento financiero y administrativo para

facilitar estos datos. Además, el encargado coordinó con el departamento de producción para proporcionar los datos referentes a la producción total anual y otros datos relevantes para el desarrollo del proyecto.

Por otra parte, la información específica del departamento de mantenimiento, que incluye fichas técnicas, datos históricos, órdenes de compra, órdenes de trabajo, reportes de inspecciones y el plan actual de mantenimiento, se recolecta mediante coordinación con el jefe del departamento. Con su apoyo también se organizaron entrevistas y recorridos dentro por la planta, los cuales permitieron acceder a información práctica y a dar un contexto de todo aquello que no se encuentra documentado de manera formal.

4.3 Método de codificación de equipos

Actualmente, la empresa no cuenta con un sistema estandarizado de codificación que permita identificar claramente la ubicación y las características específicas de cada equipo dentro de la planta. El departamento financiero utiliza un sistema propio basado en placas metálicas numeradas, asignadas únicamente a algunos activos. Sin embargo, estas placas ofrecen información muy básica, siendo útiles solamente para llevar un conteo general, pero sin aportar mayores detalles técnicos o funcionales.

Por otro lado, el departamento de mantenimiento maneja un sistema de codificación proporcionado originalmente por la empresa encargada de instalar el molino Bühler. Sin embargo, esta codificación presenta importantes limitaciones, ya que está desactualizada debido a la incorporación de nuevos equipos que no fueron añadidos al sistema original. Además, estos códigos no están físicamente presentes en los equipos y únicamente contemplan los componentes del molino, dejando sin identificación formal al resto de los equipos críticos de la planta.

Con el fin de solucionar estas deficiencias, se realiza un levantamiento exhaustivo de los equipos de la planta, contando con la colaboración tanto de pasantes que cumplen horas de asistente como del personal propio de CACSA. Este trabajo permite identificar los equipos no registrados y actualizar las fichas técnicas de aquellos que han sufrido modificaciones a lo largo del tiempo.

Por lo anterior, se propone implementar un nuevo sistema de codificación. Este sistema busca proporcionar una identificación clara y consistente para cada equipo, facilitando su ubicación y seguimiento, y brindando además una alternativa efectiva para estandarizar los procesos de codificación en otras plantas de la empresa en el futuro.

4.4 Método de análisis de criticidad

La producción está basada en un sistema lineal de producción, haciendo que toda la planta trabaje de forma conectada, siendo una única línea de producción, desde su entrada hasta su empaque y posterior almacenaje en bodega, por lo que el departamento de mantenimiento a lo largo de los años ha optado por la aplicación de baipases o la duplicidad de ciertos equipos, siendo algunos por la necesidad de continuar la producción al presentarse una falla o inhabilitar un equipo que no sea de gran importancia para la línea o la producción como medidas para minimizar los tiempos de parada de la planta.

Por esto, para realizar una evaluación de cuán crítico es un equipo, se realiza una entrevista con el jefe de mantenimiento, buscando información histórica o registros de fallas, costos de mantenimiento o documentación que pueda aportar para su clasificación cuantitativa de los equipos, sin embargo, no hay ningún control o información relevante que pueda facilitar este análisis, por lo que se procede a aplicar un método de evaluar la criticidad basado en la adaptación del método cuantitativo propuesto por el Ing. Carlos Piedra, por medio de una entrevista al mismo

jefe de mantenimiento para valorar los 8 aspectos importantes que se deben de tener en cuenta con cada equipo.

4.5 Método de creación de los cronogramas del MGM

Para la elaboración de los cronogramas del MGM, se utilizó como base el levantamiento más reciente de fichas técnicas de los equipos, junto con el cronograma de mantenimiento actual y la colaboración directa del jefe del departamento de mantenimiento. A partir de esto, se realizó una evaluación detallada para depurar todas aquellas actividades incluidas en el cronograma general que no son aplicables a todos los equipos, con el objetivo de evitar la saturación de tareas innecesarias o irrelevantes.

Una vez identificadas las actividades realmente pertinentes para cada equipo, se definió su periodicidad considerando, inicialmente, la frecuencia aplicada actualmente según el criterio del jefe de mantenimiento. Posteriormente, estas frecuencias fueron optimizadas mediante la revisión de manuales de usuario y mantenimiento de equipos similares o equivalentes, así como mediante el análisis de informes técnicos de equipos similares y trabajos finales de graduación relacionados, lo que permitió una mejor aproximación y ajuste de las frecuencias recomendadas.

CAPITULO 5. DIAGNOSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

5.1 Resultados de la aplicación de la Auditoría según la norma COVENIN

Área I: Organización de la Empresa

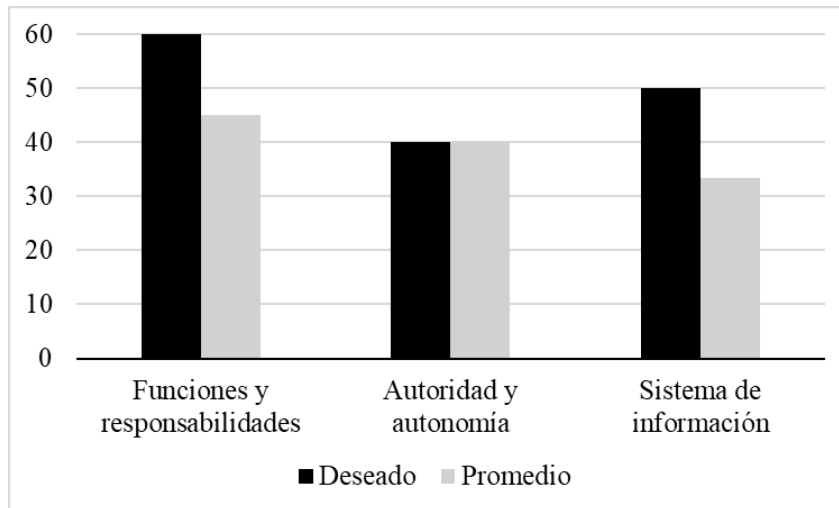


Fig. 4. Resultados de la Organización de la Empresa

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

En la figura 4 se analiza el desempeño de la empresa en relación con cada uno de estos principios, identificándose algunas debilidades importantes. Se observó que ciertos departamentos carecen de una definición clara de funciones y responsabilidades. La asignación de responsabilidades no está documentada adecuadamente o presenta una delimitación poco precisa. A su vez, se detectó que los organigramas o estructuras organizacionales se encuentran desactualizados.

Por otra parte, se identificó la ausencia o falta de uso actual de diagramas de flujo en los sistemas de información. Los mecanismos para la recolección e ingreso de datos presentan deficiencias significativas, lo que incrementa el riesgo de introducir información incorrecta y en algunas áreas, estos mecanismos ni siquiera existen. Además, mientras ciertos departamentos

manejan un alto volumen de información, otros carecen por completo de procedimientos adecuados para su recopilación y análisis.

A pesar de estas debilidades, uno de los puntos fuertes identificados en la empresa es la autonomía de los departamentos, así como la claridad en la línea de autoridad. En general, cada colaborador entiende claramente sus funciones y dispone de la autonomía necesaria para tomar decisiones, lo cual contribuye al correcto funcionamiento de la organización.

Área II: Organización de Mantenimiento

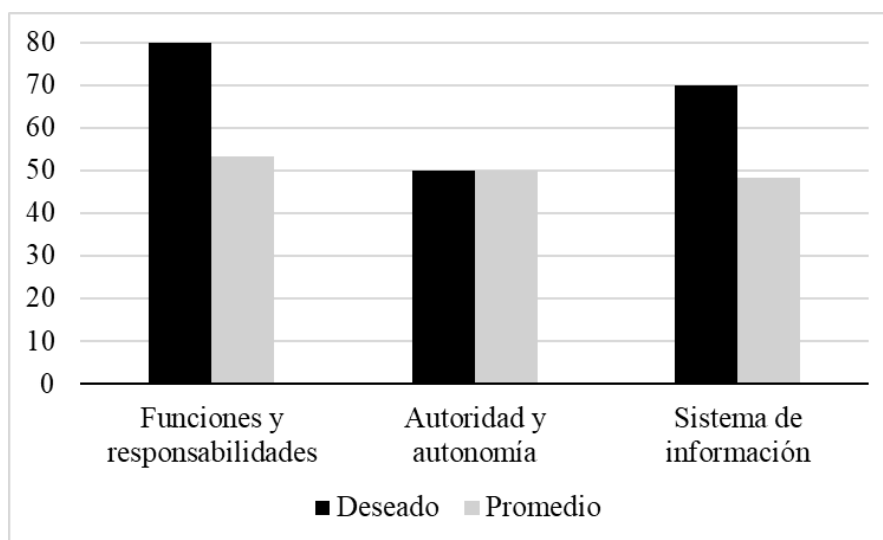


Fig. 5. Resultados de la Organización del Mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

En la figura anterior se observa cómo el patrón general de comportamiento de la empresa también se refleja en el departamento de mantenimiento, mostrando similitudes en cuanto a su capacidad organizacional. Este departamento se ve afectado especialmente por la ausencia de organigramas actualizados y alineados con la estructura organizativa real. Además, al carecer de una estructura independiente, ya que el departamento de mantenimiento forma parte del área de producción.

Otro aspecto crítico es la falta de personal suficiente, lo que dificulta cubrir adecuadamente las necesidades reales de la planta. Asimismo, el departamento no cuenta con un sistema eficiente de recolección de información que permita un análisis adecuado de las actividades realizadas. Esta situación genera una desconexión con otros departamentos, ya que no existe una plataforma común para compartir los datos obtenidos tras cada trabajo de mantenimiento. Como consecuencia, el resto de la organización no tiene acceso a la información generada por el departamento.

A pesar de estas deficiencias, las funciones y responsabilidades de cada integrante del departamento están claramente definidas. Además, como se mencionó anteriormente, el personal cuenta con suficiente autoridad y autonomía para tomar decisiones y llevar a cabo las acciones necesarias para cumplir adecuadamente con sus labores.

Área III: Planificación del Mantenimiento

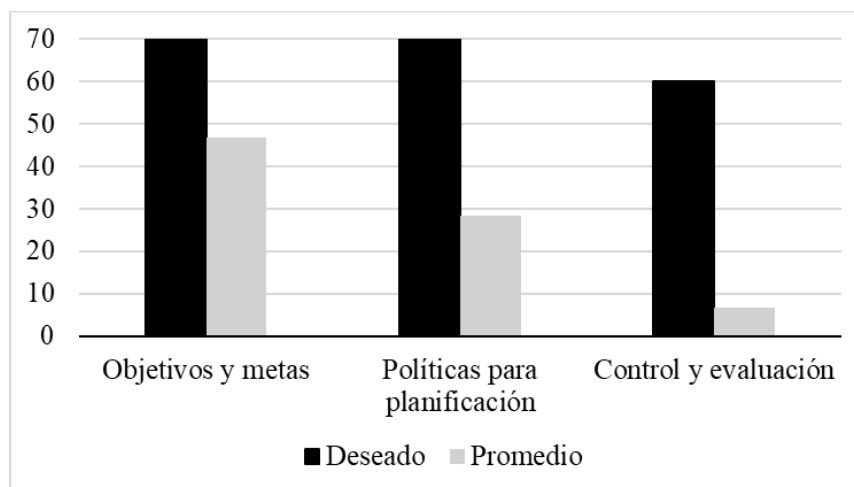


Fig. 6. Resultados de la Planificación del Mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

En la figura 6 se evidencia claramente la desconexión entre departamentos, lo que genera la impresión de que el área de mantenimiento carece de objetivos y metas formalmente documentadas. Aunque existen definiciones internas sobre las necesidades, no se cuenta con un plan detallado ni políticas claras de planificación que reflejen con precisión las demandas reales de

la planta. Esta falta de integración, combinada con una limitada comunicación con la gerencia, dificulta la implementación efectiva de alguna política de mantenimiento.

Otro problema identificado es la ausencia de mecanismos adecuados para la recopilación de información y la falta de un sistema de codificación que permita una ubicación ágil y precisa de los equipos. Aunque actualmente se manejan inventarios con manuales y catálogos de piezas, estos pierden precisión debido a modificaciones realizadas en los equipos, ya que las fichas técnicas correspondientes no se actualizan tras dichos cambios.

Finalmente, la cultura organizacional también afecta negativamente la recopilación y registro de datos, dificultando la documentación precisa de fallas y sus causas. La carencia de análisis estadísticos adecuados, tales como registros de tiempos de parada o reparación, impide obtener información clave para elaborar o actualizar planes de mantenimiento efectivos. Esto, a su vez, afecta la operatividad general y limita la capacidad de respuesta del departamento ante eventuales problemas.

Área IV: Mantenimiento Rutinario

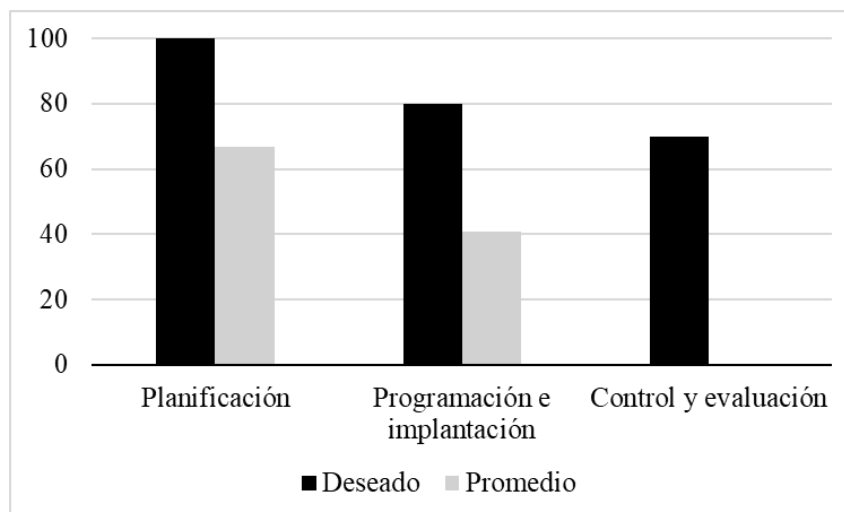


Fig. 7. Resultados del Mantenimiento Rutinario

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

Cómo se observa en la figura anterior, el mantenimiento rutinario que debería realizar el operario no se encuentra claramente definido ni especificado. Aunque los operarios conocen las tareas básicas que deben ejecutar en algunos equipos, estas actividades no se llevan a cabo de manera regular o carecen de un plan estructurado que indique instrucciones precisas, frecuencias definidas o intervalos de tiempo determinados. Por lo tanto, cuando es necesario realizar alguna intervención, la carga de trabajo termina recayendo en el personal del área de mantenimiento.

Además, se identificó que el stock disponible de herramientas es limitado, dificultando así la correcta ejecución de las actividades de mantenimiento.

Otro problema detectado es la ausencia de formatos, manuales o cualquier otro tipo de documentación que facilite a los operarios realizar correctamente sus tareas. Tampoco se lleva a cabo un seguimiento adecuado de las labores previstas, ni existe un mecanismo para recopilar información sobre los insumos y herramientas necesarias para cada actividad específica.

Área V: Mantenimiento Programado

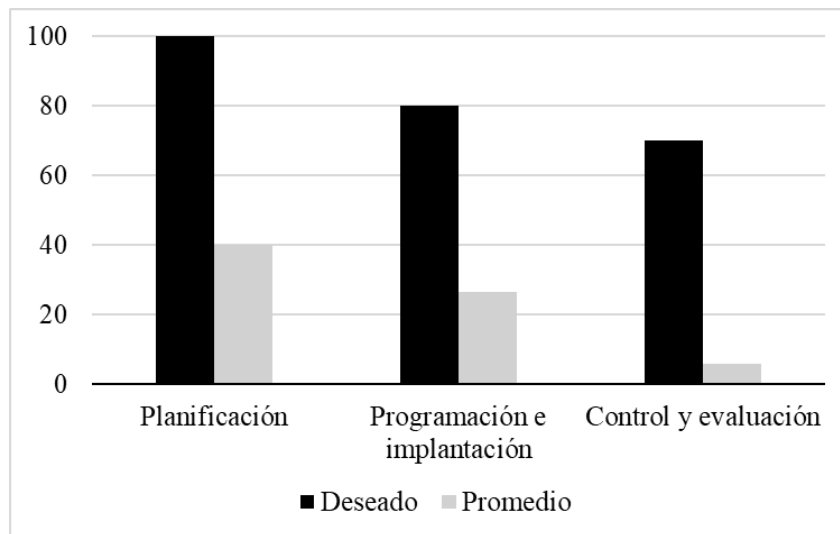


Fig. 8. Resultados del Mantenimiento Programado

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

El mantenimiento programado presenta importantes deficiencias debido a la falta de conocimiento sobre las cargas de trabajo reales y a la ausencia de un estudio previo que permita identificar con precisión las necesidades específicas de la planta. Además, la capacidad del personal resulta insuficiente para ejecutar adecuadamente las actividades necesarias, situación que se agrava al no haber realizado previamente un análisis detallado.

Actualmente, no existe un estudio formal sobre las necesidades reales de mantenimiento en la planta, lo que impide planificar y asignar correctamente las tareas. Tampoco se cuenta con un sistema eficiente que analice las condiciones operativas reales y las necesidades específicas del equipo. Por esta razón, las frecuencias establecidas no siempre se cumplen, ya que las reparaciones tienden a prolongarse debido a la escasez de personal, limitando así la ejecución oportuna del mantenimiento requerido.

Aunque se generan órdenes de trabajo, la mayoría no se ejecutan adecuadamente. Además, aunque existen estos documentos, suelen quedar incompletos o carecen de información precisa debido a la falta de personal suficiente. Esto limita significativamente la capacidad para cumplir de manera efectiva con el mantenimiento programado.

Por último, otro problema identificado es la falta de un mecanismo estructurado para recopilar y organizar información, como se ha mencionado anteriormente. Las órdenes de trabajo, aunque existen, no están debidamente organizadas, dificultando así el análisis sistemático, la toma de decisiones y la evaluación de la gestión del departamento.

Área VI: Mantenimiento Circunstancial

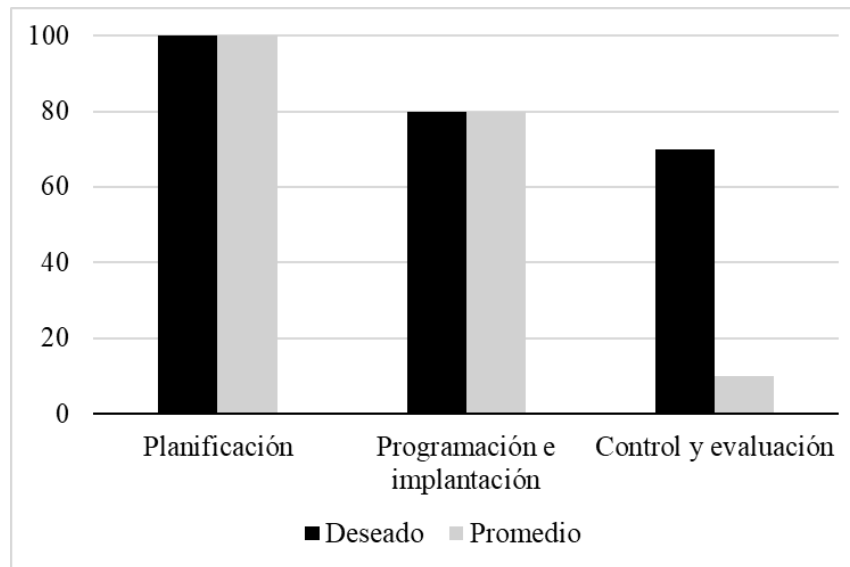


Fig. 9. Resultados del Mantenimiento Circunstancial

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

El mantenimiento circunstancial, al ser una combinación de varios tipos de mantenimiento, como el correctivo por avería y el programado, no permite establecer un horario fijo ni tiempos específicos para su ejecución. A pesar de esto, el personal del área ha demostrado tener la capacidad para implementarlo y realizar las labores requeridas cuando es necesario, sin estar programado de ninguna forma.

Sin embargo, la falta de mecanismos adecuados para la recopilación, control y evaluación de información limita considerablemente la posibilidad de analizar la efectividad de estas actividades, lo que representa una clara oportunidad de mejora para la gestión general del mantenimiento.

Área VII: Mantenimiento Correctivo

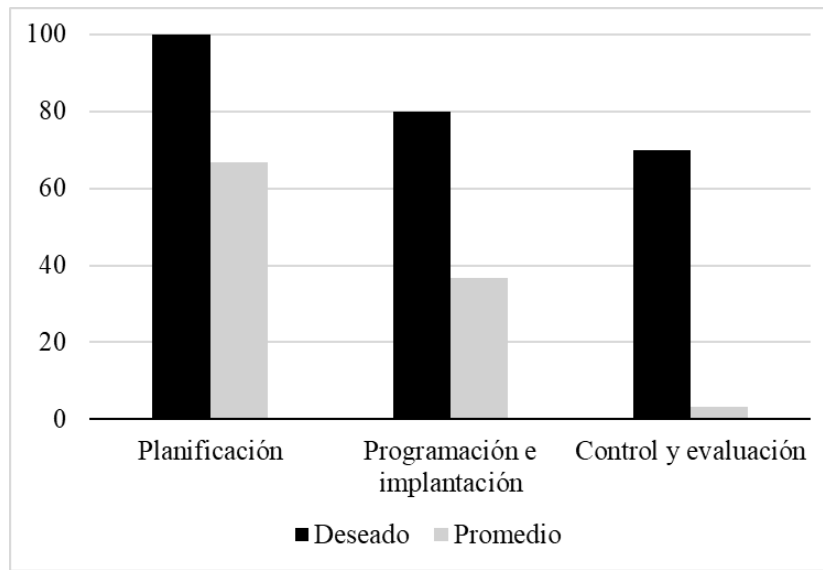


Fig. 10. Resultados del Mantenimiento Correctivo

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

El mantenimiento correctivo no cuenta con un seguimiento ni registro sistemático de las fallas, lo que limita significativamente la posibilidad de realizar análisis posteriores o actualizar el plan de mantenimiento para prevenir que estas se repitan. Además, no existe una clasificación formal de las fallas ni se maneja un orden estandarizado de prioridades para atenderlas. En su lugar, las intervenciones correctivas suelen efectuarse de manera reactiva, con el objetivo principal de reducir al mínimo el impacto en la producción.

Aunque el departamento de mantenimiento conoce cuáles son las labores correctivas que deben realizarse, estas no se encuentran documentadas, tampoco se han establecido frecuencias claras ni están integradas dentro de un plan específico para cada equipo. Sin embargo, pese a las limitaciones de tiempo disponibles para atender los diversos tipos de mantenimiento, el personal posee los conocimientos técnicos necesarios para resolver adecuadamente las fallas y minimizar su efecto en la producción.

Finalmente, la ausencia de mecanismos efectivos de control y evaluación impide registrar, analizar y aprovechar la información obtenida durante cada intervención. Esta situación representa una oportunidad clara para mejorar y optimizar tanto el plan como la gestión integral del mantenimiento.

Área VIII: Mantenimiento Preventivo

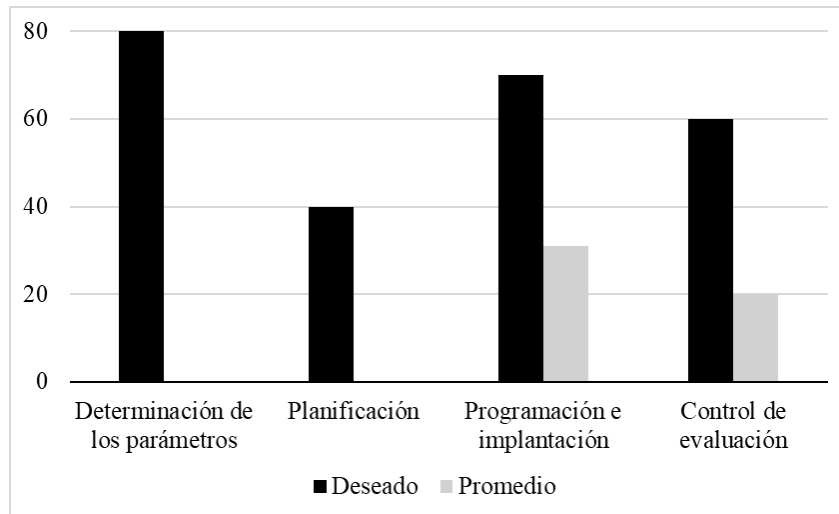


Fig. 11. Resultados del Mantenimiento Preventivo

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

En la figura 11 se observa claramente una gran diferencia entre el nivel deseado y el nivel actual en varios aspectos del mantenimiento preventivo. Uno de los principales problemas es la falta de parámetros definidos, lo que ocurre porque no se han realizado estudios previos para conocer cuáles son las necesidades reales de la planta, sumado a que la inversión destinada a estos estudios ha sido insuficiente.

Por otro lado, aunque existe cierta planificación, esta es muy general y no especifica claramente las tareas preventivas que se deben realizar en cada equipo. El personal de mantenimiento conoce las actividades necesarias, pero al no estar formalmente documentadas ni estructuradas, es difícil establecer criterios claros sobre cómo y cuándo deben llevarse a cabo.

Además, aunque existen órdenes de trabajo, estas casi no se utilizan porque la responsabilidad completa de gestionarlas recae sobre el jefe del departamento de mantenimiento. Este no cuenta con suficiente tiempo ni recursos para recopilar y gestionar la información generada por los técnicos, provocando que muchas tareas se realicen sin un registro o una orden formal previa.

Por último, debido a que no existen mecanismos efectivos para recopilar información de las actividades realizadas, el control y evaluación del mantenimiento preventivo es limitado. Actualmente, la supervisión depende principalmente de la confianza que el jefe del área tiene en la capacidad y responsabilidad de su equipo técnico.

Área IX: Mantenimiento por Avería

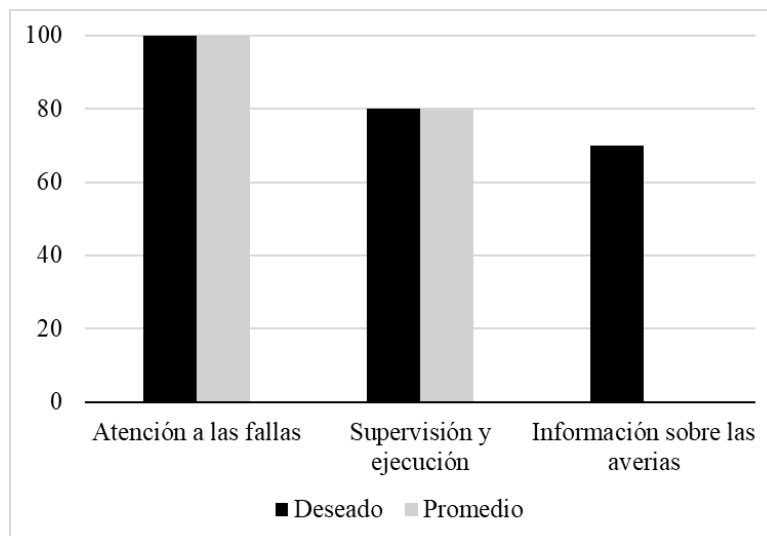


Fig. 12. Resultados del Mantenimiento por Avería

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

El mantenimiento por avería es uno de los aspectos más fuertes del departamento de mantenimiento, especialmente por su enfoque orientado a reducir al máximo los tiempos de parada y minimizar el impacto de las fallas en la producción. Cuando ocurre una avería, la respuesta es

inmediata, y tanto el jefe de mantenimiento como los técnicos más capacitados se involucran directamente para resolver el problema de manera rápida y eficiente.

No obstante, a pesar de esta eficacia en la atención inmediata, el departamento no cuenta con mecanismos claros para registrar y analizar la información sobre las fallas ocurridas. Esto provoca que no exista un historial o documentación que permita analizar posteriormente las causas y frecuencias de los problemas. Como resultado, se pierde la oportunidad de mejorar el plan de mantenimiento, lo que podría ayudar a prevenir fallas similares en el futuro.

Área X: Personal de Mantenimiento

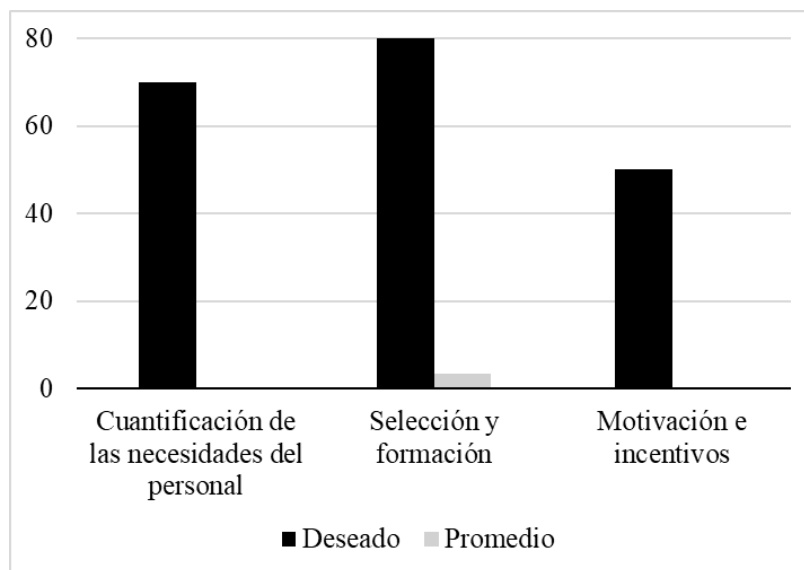


Fig. 13. Resultados del Personal de Mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

Como ya se ha mencionado, la organización no cuenta actualmente con un estudio ni con indicadores claros que definan cuántas personas son necesarias para realizar adecuadamente las tareas de mantenimiento. Además, el personal no posee formación técnica formal, ya sea el jefe del área ni los técnicos cuentan con estudios académicos especializados en mantenimiento para este tipo de equipos, y su conocimiento se basa únicamente en la experiencia práctica adquirida a lo largo del tiempo.

Esta situación ha generado un proceso de selección poco estructurado, en el que se solicitan únicamente conocimientos básicos que, en muchas ocasiones, no cubren las necesidades específicas y reales de la empresa. La capacitación del personal es limitada y suele depender únicamente del aprendizaje adquirido mediante la asistencia a técnicos más experimentados. Como consecuencia, cuando se acumulan tareas más complejas y el personal calificado no logra cubrirlas, la empresa debe recurrir a servicios externos o tercerizar ciertos trabajos especializados.

Adicionalmente, existe una falta significativa de motivación e incentivos para el equipo, así como una carencia de apoyo real por parte de la organización. Todo esto ha llevado a que los colaboradores no muestren un compromiso fuerte o sostenido hacia el cumplimiento de las metas establecidas por el departamento de mantenimiento.

Área XI: Apoyo logístico

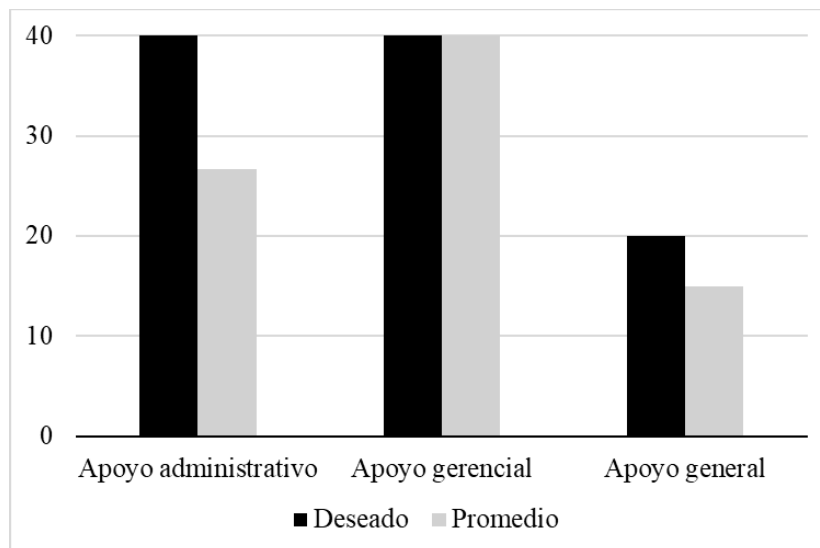


Fig. 14. Resultados del Apoyo Logístico

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

En el área administrativa, aunque existe cierto apoyo y entendimiento sobre las necesidades del área de mantenimiento, este respaldo generalmente se limita a facilitar la compra rápida de repuestos y materiales cuando ocurre alguna falla imprevista. Sin embargo, este apoyo no es

constante ni planificado, lo que provoca una escasez recurrente de recursos asignados al departamento.

Aunque la gerencia muestra disposición para colaborar, no existe una apertura real hacia las sugerencias o solicitudes provenientes del departamento de mantenimiento si estas no vienen directamente de una necesidad derivada de una falla en el momento. Esta situación dificulta la implementación efectiva de mejoras y limita considerablemente la eficiencia en el desempeño de las tareas diarias del departamento.

Área XII: Recursos

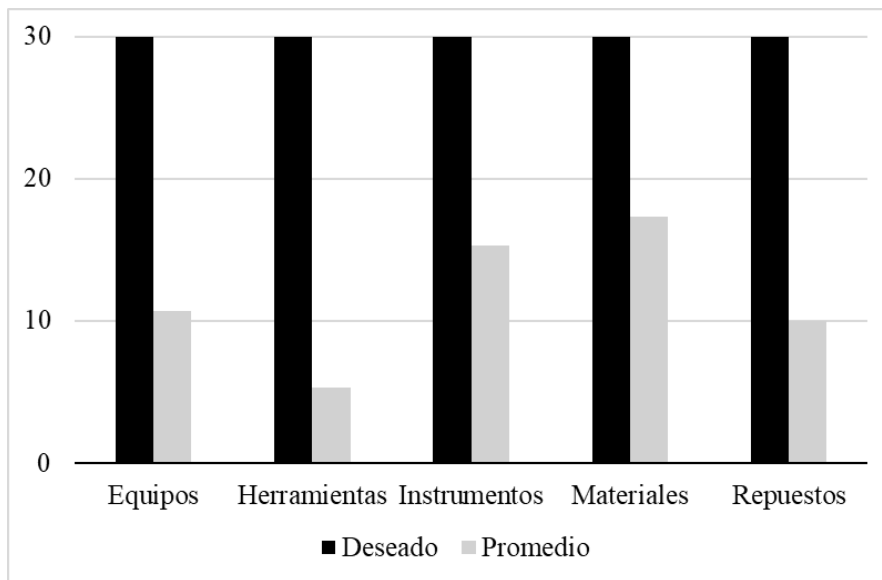


Fig. 15. Resultados de Recursos

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

El aspecto más crítico en esta área es la falta de control sobre los equipos, herramientas e instrumentos. Actualmente, no se lleva un registro del estado en que se encuentran, ni existe un sistema que permita supervisar o monitorear su entrada y salida. De igual manera, el inventario de repuestos y materiales no está actualizado ni organizado, dificultando considerablemente la planificación eficiente de las tareas de mantenimiento.

A pesar de estas deficiencias, el departamento cuenta con herramientas e instrumentos adecuados para realizar sus labores, aunque en cantidades limitadas. Además, los materiales adquiridos suelen ser de buena calidad. Sin embargo, la ausencia de un sistema claro de clasificación y etiquetado genera problemas en su administración. Tampoco se ha realizado un estudio que permita determinar el impacto económico derivado de la falta de materiales o repuestos, ni se han establecido las cantidades ideales que deberían mantenerse en bodega para evitar interrupciones en el mantenimiento.

5.2 Análisis de los resultados

Tras promediar los resultados de cada una de las auditorías se obtienen los siguientes resultados:

Área	Encargado de proyectos	Jefe de Mant.	Técnico A	Prom.	Definición
Área I: Organización de la Empresa	37	100	100	79	Entendimiento
Área II: Organización de Mantenimiento	60	68	100	76	Entendimiento
Área III: Planificación de Mantenimiento	0	48	75	41	Inocencia
Área IV: Mantenimiento Rutinario	8	49	72	43	Inocencia
Área V: Mantenimiento Programado (Planificación)	0	13	74	29	Inocencia
Área VI: Mantenimiento Circunstancial	72	78	78	76	Entendimiento
Área VII: Mantenimiento Correctivo	36	46	46	43	Inocencia
Área VIII: Mantenimiento Preventivo	0	9	52	20	Inocencia
Área IX: Mantenimiento por Avería	72	72	72	72	Entendimiento
Área X: Personal de Mantenimiento	0	3	3	2	Inocencia
Área XI: Apoyo Logístico	45	100	100	82	Competencia
Área XII: Recursos	64	27	27	39	Inocencia
TOTAL	394	611	798	601	
Aprobación (%)		24%			

Tabla 11. Resultados de la auditoría por áreas.

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

Permitiendo dibujar el siguiente gráfico radar, que nos permite ver de forma clara las áreas con mayor posibilidad de mejora.

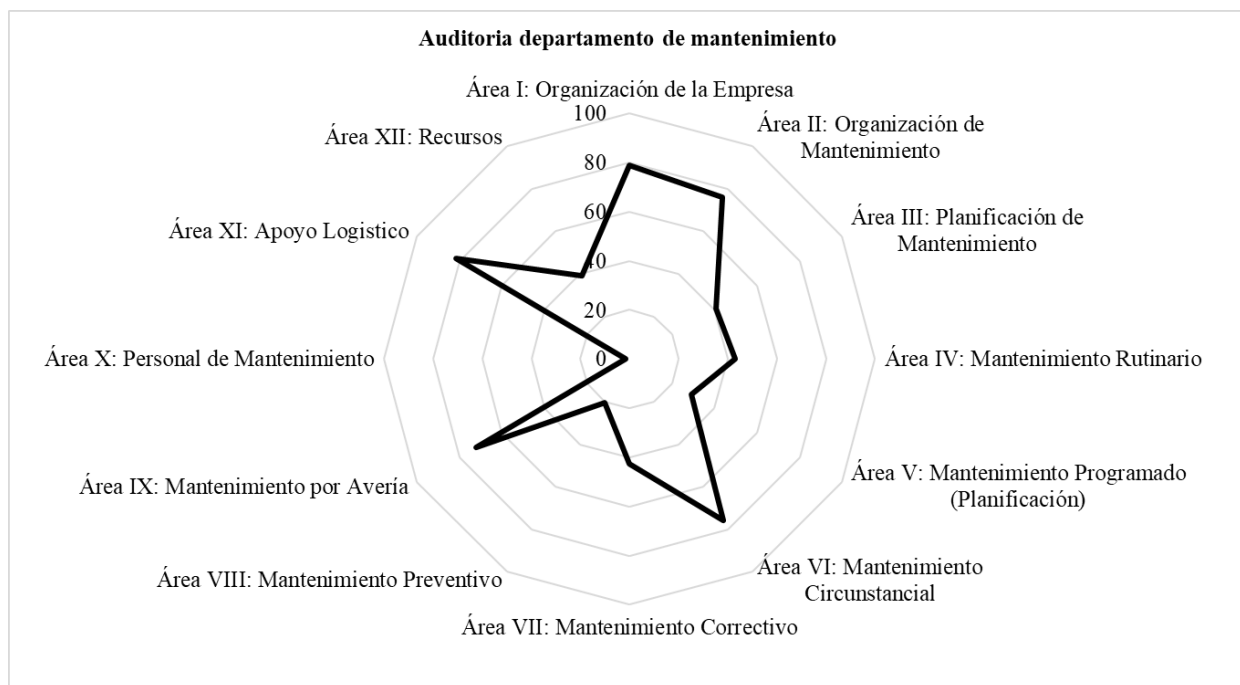


Fig. 16. Gráfico radar de resultado de la auditoría COVENIN

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

Los resultados muestran que áreas como Organización de la Empresa, Apoyo Logístico y Organización de Mantenimiento destacan por su alto nivel de madurez sin ser este suficiente para considerarse como de Excelencia, mientras que la Planificación de Mantenimiento, los Recursos y las estrategias de Mantenimiento Correctivo o cualquier tipo de mantenimiento que deba ser planificado, presentan deficiencias marcadas. Además, de presentar una clara falta de gestión y recolección de la información generada por el departamento.

Lo anterior se ve reflejado en un porcentaje de aprobación global del 24%, denotando la necesidad de replantear la planificación y asignar los recursos adecuados. Solo de esta forma será posible fortalecer la gestión de mantenimiento, reducir la frecuencia de las intervenciones correctivas y también alcanzar un equilibrio sostenible en todas las áreas evaluadas.

CAPITULO 6. ESTIMACIÓN DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS

6.1 Propuesta de un sistema de clasificación por código

Previo a la determinación de los equipos críticos, se solicitó la información sobre el levantamiento de equipos realizado. En esta revisión se evidencia una falta de organización en la forma de ubicar y nombrar los equipos, lo que complica su gestión no solo a nivel de fichas técnicas, sino también al momento de consultar reportes de averías o compras. Actualmente, cada técnico identifica los equipos a su manera, lo que genera confusión y retrasa la interpretación de los documentos, ya que es necesario preguntar o confirmar a qué equipos específico se hace referencia en cada registro. Esta situación limita la capacidad de análisis y seguimiento eficiente. Por ello, como primer paso, se propone la implementación de un sistema de codificación que permita una gestión estructurada y estandarizada de todos los equipos evaluados.

A continuación, se presenta una propuesta del sistema de codificación para los equipos. El propósito principal de este sistema es proporcionar una identificación clara, organizada y estándar de los equipos en las diferentes plantas, áreas y procesos productivos. Esta metodología permitirá mejorar significativamente el seguimiento, ubicación y gestión de los equipos presentes en toda la empresa.

Inicialmente, para diferenciar cada una de las plantas activas de CACSA, se establecen los siguientes códigos específicos por ubicación:

Ubicación	Código
Planta Alajuela	PAL
Planta Semillas Alajuela	PSA
Planta Liberia	PLI

Tabla 12. Ejemplo codificación por ubicación

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word

En el caso específico de la planta de Alajuela, se establece una subdivisión en áreas de producción claramente definidas. A cada área se le asigna también un código identificador, con la intención de facilitar aún más la ubicación de cada equipo dentro de la planta:

Áreas	Código
Empaque	EM
Secado	SE
Silos	SI
Molino	MO
Exterior	EX

Tabla 13. Ejemplo codificación por áreas

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word

Asimismo, para la identificación específica de cada tipo de equipo, se propone un conjunto de códigos basados en las iniciales de sus nombres técnicos. Esto simplifica significativamente la identificación rápida y precisa de los equipos dentro de cada área:

Finalmente, combinando los códigos de planta, área y tipo de equipo, se propone un sistema integral de codificación. Cuando existan equipos duplicados, se añade al final un número consecutivo que permita su diferenciación:

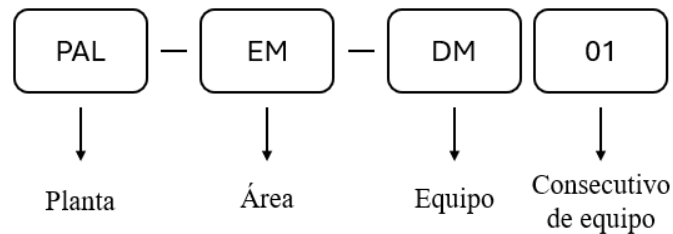


Fig. 17. Ejemplo para Codificación de los Equipos

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft PowerPoint

En el Anexo 2 se adjunta una lista detallada con todos los códigos propuestos para los equipos de la planta Alajuela. La intención final es contar con un sistema claro, eficiente y que sea fácil de replicar en todas las demás plantas, permitiendo así la estandarización de la codificación en la empresa.

6.2 Determinación de equipos críticos

Para determinar la criticidad de cada equipo, se evaluaron las diferentes categorías permitiendo obtener un puntaje específico para cada uno. La metodología utilizada y los puntajes detallados por categoría evaluada pueden observarse con claridad en el Anexo 3.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras dicho análisis, identificando los equipos considerados críticos dentro de la planta. La tabla 15 detalla cada uno de estos equipos, indicando el área específica donde se ubican, el código asignado según la propuesta de codificación establecida anteriormente y la calificación obtenida en la evaluación de criticidad.

Área	Equipo	Código	Calificación
Empaque	Detector de Metales PCC 1	PAL-EM-DM01	12
	Detector de Metales PCC 2	PAL-EM-DM02	12
	Detector de Metales PCC 3	PAL-EM-DM03	12
	Enfardadora	PAL-EM-EF	13
Molino	Blanqueador Segundo Paso	PAL-MO-BL02	14
	Blanqueador Tercer Paso Papuo2A	PAL-MO-BL03	15
	Clasificador Entero / Quebrado Treabejón	PAL-MO-CEQ	15
	Clasificador Puntilla MRC 100-200	PAL-MO-CLP	14
	Clasificadora Óptica BUHLER	PAL-MO-CO01	14
	Clasificadora Óptica SATAKE	PAL-MO-CO02	13
	Clasificadora por Tamaño 99%	PAL-MO-CT	15
	Esclusa Cascarilla	PAL-MO-EC	13
	Mesa Paddy BUHLER	PAL-MO-MP01	12
	Pre-limpiadora en Seco	PAL-MO-PS	12
Pulidora Paso 3 PAPU04A	PAL-MO-PU	13	
Exterior	Compresor BLOWER	PAL-EX-CB	17
	Compresor 2004 KEISER	PAL-EX-COM01	12
	Compresor 2022 KEISER	PAL-EX-COM02	12

Tabla 15. Resultados del análisis de criticidad

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

6.3 Análisis de resultados de criticidad

A partir del proceso de evaluación y clasificación llevado a cabo, se identificó que el área con mayor cantidad de equipos críticos es el molino. Esto se explica debido a que dicha área cuenta con una sola línea de producción, lo que incrementa considerablemente la criticidad de cada máquina involucrada. Asimismo, destacan los compresores ubicados en el área exterior, los cuales son esenciales debido a que suministran el aire comprimido requerido por la mayoría de los equipos

de la planta y en especial al compresor soplador (Blower) que se determina como el equipo más crítico dentro de la planta, debido a su alta incidencia durante todos los procesos del molino y es quien se encarga de mantener el ambiente libre de la mayor parte de polvo, cascarillas y semolina.

Estos resultados confirman la necesidad de establecer estrategias específicas de mantenimiento para cada uno de los equipos clasificados como críticos. Con esto, se busca reducir significativamente los paros no programados y garantizar así la seguridad operativa del molino, la calidad constante del producto y la estabilidad general de la producción.

Finalmente, contar con un criterio cuantitativo claro facilita a la empresa a tener una base sólida y objetiva para la toma de decisiones en la gestión de estos activos. Esto permite priorizar de manera eficiente tanto los recursos económicos y humanos como las actividades específicas de mantenimiento, logrando así que la compañía pueda enfocar sus esfuerzos de manera más efectiva.

CAPITULO 7. PROPUESTA DEL MODELO DE GESTIÓN

El enfoque propuesto para definir las actividades necesarias parte de la idea de que toda acción, por más pequeña que parezca, puede contribuir a una correcta aplicación del mantenimiento preventivo. Se busca dar prioridad especialmente a aquellos equipos que, según el análisis realizado, son considerados críticos o de alta importancia para la operación de la planta. Por eso, es fundamental adoptar una perspectiva de trabajo conjunto, donde tanto operarios como técnicos participen activamente y de forma coordinada en el cuidado y mantenimiento de estos equipos.

Con base en un análisis de la documentación actual sobre cómo se realizan las labores de mantenimiento, y apoyándose en las fichas técnicas elaboradas, así como en los registros de compra de repuestos, manuales de usuario, de mantenimiento, proyectos similares y las estimaciones de vida útil de los componentes de desgaste, se propone un cronograma anual de mantenimiento. Este se divide por semanas y permite detallar cada una de las actividades necesarias para asegurar un mantenimiento adecuado, especialmente en los equipos críticos.

Dentro de las acciones programadas se incluyen tareas como limpieza, lubricación, ajuste, calibración e incluso el reemplazo de componentes, todo definido con plazos establecidos. La idea es que, con apoyo de las herramientas de planificación disponibles en la empresa, se puedan coordinar estos trabajos con antelación, encontrando el momento adecuado para llevarlos a cabo sin afectar la operación dado que se cuenta con espacios cortos durante la semana donde se podrían realizar todos aquellos trabajos cortos y una brecha los domingos por la tarde, donde hay un paro total del molino que permite una intervención para todos aquellos trabajos más tardados.

7.1 Misión y visión propuesta para el departamento

Actualmente, el departamento de mantenimiento no cuenta con una misión ni una visión definidas, lo que dificulta establecer un enfoque claro y orientar de manera estratégica sus esfuerzos. Esta ausencia limita la alineación de sus actividades con objetivos a largo plazo. Por ello, se plantea una misión y una visión específicas para el departamento, que permitan guiar sus acciones y facilitar el cumplimiento de metas definidas, contribuyendo así al fortalecimiento de su gestión y desempeño.

7.1.1 Misión propuesta

El Departamento de Mantenimiento se compromete a garantizar la mayor disponibilidad y confiabilidad de los equipos presentes en planta, gestionando de forma eficiente los recursos humanos y económicos disponibles, asegurando la calidad en cada una de las labores realizadas, para así apoyar directamente el cumplimiento de las metas de producción y contribuir al buen desempeño de la operación.

7.1.2 Visión propuesta

Ser un departamento estratégico capaz de identificar y responder a las necesidades reales de la planta de forma oportuna, utilizando el mantenimiento como una herramienta clave para mejorar la competitividad y la capacidad productiva de la organización en el largo plazo.

7.2 Características del modelo

Si bien el departamento de mantenimiento cuenta con una lista de actividades por realizar, este documento es de carácter general y no contempla tareas específicas para cada equipo de la planta. Se trata más bien de una lista de trabajos que el jefe de mantenimiento asigna de forma puntual en una hoja de trabajo, según lo considere necesario para cada equipo y depende

enteramente de su conocimiento. Además, no se manejan frecuencias establecidas con base técnica, sino que estas se definen de manera empírica según el criterio del jefe en el momento de la intervención.

Aunque esta herramienta ha sido construida a lo largo de los años dentro del departamento y se ha ido optimizando a lo largo de los años, carece de un enfoque técnico o ingenieril que permita establecer con claridad las tareas requeridas por cada equipo, así como las frecuencias adecuadas de mantenimiento. Esta situación representa una limitante, ya que no existe un sistema estandarizado ni documentado que respalde la operación. Por lo tanto, como se comentó anteriormente, las labores dependen directamente del conocimiento y la experiencia del jefe del departamento, y ante su ausencia no existe una guía que asegure la continuidad del trabajo.

Al detectar esta necesidad, el modelo propuesto busca brindar una herramienta que permita documentar, estandarizar y organizar todas las actividades de mantenimiento, especificando las tareas y frecuencias de manera individual para cada equipo. A diferencia del enfoque anterior, el nuevo modelo se presenta en forma de planificación anual dividida por semanas, lo que facilita la comprensión, el seguimiento y la correcta ejecución de las labores. Esta estructura busca mejorar la organización interna y también el garantizar la continuidad operativa del departamento independientemente de cambios que puedan existir en el personal.

7.3 Consideraciones del diseño del manual

Para el diseño del manual de mantenimiento de cada equipo, se trabajó en conjunto con el jefe de mantenimiento, utilizando toda la documentación disponible, así como los registros de compra y las estimaciones de vida útil basadas en su experiencia, también se utilizaron manuales de usuario de equipos similares o equivalentes, así como estudios o trabajos previos relacionados

con el contexto de la industria arrocera. El objetivo de esta investigación y análisis fue identificar todas las actividades necesarias para cada equipo y asegurar que esta herramienta resultara útil, práctica y accesible para el personal técnico encargado de su ejecución.

Una vez definidas las actividades, se procedió a establecer la frecuencia con la que deberían llevarse a cabo. Aunque inicialmente se tomó como base el criterio del jefe de mantenimiento, este fue complementado con información técnica contenida en los manuales, fichas técnicas de los equipos y documentación de modelos similares. También se consideraron las especificaciones técnicas de aceites, grasas y otros consumibles utilizados, con el fin de construir un criterio más técnico y objetivo que respalde las decisiones tomadas.

Actualmente, no existe una herramienta que permita evaluar el nivel técnico del personal, lo que dificulta la asignación formal de tareas según competencias. Debido a esto, la distribución de las labores entre los técnicos queda a criterio del jefe de mantenimiento, basándose en su conocimiento del equipo humano. Cabe señalar que el personal operativo cuenta principalmente con formación empírica, adquirida a través de la experiencia y del acompañamiento de técnicos de mayor antigüedad, lo que representa una limitación a la hora de distribuir equitativamente la carga de trabajo.

Adicionalmente, se estimaron los tiempos promedio requeridos para la ejecución de cada actividad. Estos tiempos fueron definidos con base en la experiencia del jefe de mantenimiento, entendiendo que son aproximados y sujetos a revisión. En este sentido, se reconoce la necesidad de implementar un sistema de recolección de datos en campo que permita, con el tiempo, establecer una base más precisa para la estandarización y ajuste de los tiempos de ejecución.

De esta forma, se construye una propuesta más estructurada para la programación del mantenimiento preventivo de los equipos identificados como críticos, contemplando tanto aquellas actividades identificadas como las frecuencias. Esta planificación busca establecer una base técnica mientras que permite, a su vez, ser una herramienta que pueda ser ajustada conforme se obtenga más información en campo.

7.3.1 Cronograma de mantenimiento propuesto

A continuación, se presenta un ejemplo del cronograma propuesto para el mantenimiento de los equipos, así como la plantilla diseñada específicamente para llevar un control adecuado de las actividades a realizar. Esta plantilla busca facilitar la programación, el seguimiento y la ejecución efectiva del mantenimiento preventivo en la planta sin depender estrictamente del jefe de mantenimiento, disminuyendo así su carga de trabajo. La totalidad de los planes de mantenimiento propuestos están presentes en el Anexo 5.

Para facilitar la comprensión y el uso práctico de este cronograma, se incluye la siguiente tabla que describe claramente el significado de cada código utilizado para identificar las actividades de mantenimiento:

Actividad	Código
Mant. Tercerizado	M
Limpieza	C
Lubricación	L
Inspección	I
Reemplazo	R
Verificación	V

Tabla 16. Descripción de códigos de actividades de mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

7.3.2 Tiempo real de las actividades de mantenimiento

Ante la ausencia de datos medidos sobre los tiempos requeridos para ejecutar las actividades de mantenimiento propuestas, se plantea la implementación de un sistema de recolección de esta información en campo. El objetivo es establecer promedios basados en datos confiables que permitan una futura estandarización. Se parte del criterio estadístico que indica que, para obtener un promedio representativo, es necesario contar con al menos 20 muestras por actividad.

Para lograrlo, se propone aprovechar herramientas tecnológicas disponibles, como aplicaciones móviles gratuitas que permitan el uso de cronómetros. La idea es que los técnicos, al iniciar una tarea, activen un cronómetro desde el momento en que reciben la orden de trabajo, incluyan el tiempo dedicado a retirar herramientas y materiales de bodega, y lo detengan al finalizar la labor. De esta manera, se podrá obtener un estimado realista del tiempo total invertido en cada actividad.

Cada viernes, el personal deberá subir los registros recolectados a través de un enlace compartido previamente, con el fin de centralizar la información, tabular los datos y comenzar a generar promedios de tiempo reales por tarea.

Este esfuerzo también forma parte de una iniciativa más amplia para promover un cambio de mentalidad dentro del departamento, impulsado por medio de capacitaciones al personal técnico y operarios. Se busca que el equipo comprenda el propósito de esta medición, sus beneficios y cómo puede ayudar a mejorar la eficiencia general, así como a tener un mayor control sobre los recursos del área.

El uso de estas herramientas gratuitas permitirá facilitar la captura de datos que se consideran clave, permitiendo avanzar hacia una gestión más precisa y que esté basada en

evidencia. Esta información será esencial para conocer los costos reales asociados a cada actividad de mantenimiento preventivo propuesto, a su vez, facilitando la programación de las actividades y las cargas de trabajo.

7.4 Propuesta de plantillas para el departamento

El departamento de mantenimiento no cuenta con un programa o sistema que le permita gestionar de manera ordenada todos aquellos aspectos que requieren seguimiento, además de utilizar métodos de recolección de información obsoletos. Con el fin de facilitar y estructurar esos procesos de recopilación, se propone una herramienta que abarque los principales aspectos que el departamento necesita controlar. En la actualidad, se identificaron tres áreas para las cuales no existe un método de recolección eficiente y que son muy importantes para un mayor control y además, que dificulta la obtención de datos útiles para llevar a cabo análisis posteriores.

7.4.1 Ordenes de trabajo

Con respecto a las órdenes de trabajo, el proceso de solicitud de actividades o reportes de fallas se realiza mayoritariamente de forma verbal, ya sea por parte del mismo departamento o de otras áreas, como producción. Aunque se creó una plantilla en Microsoft Excel con la intención de formalizar la comunicación, la falta de una cultura organizacional orientada al uso de estas herramientas ha impedido su adopción. A esto se suma que el formato actual no genera información útil para el análisis posterior, lo que lo convierte en una tarea adicional sin un beneficio real.

A pesar de los esfuerzos del jefe de mantenimiento, tanto la asignación diaria de tareas a los técnicos como las propias órdenes de trabajo se siguen gestionando mayormente de verbal y en ocasiones sí realiza algunas tareas utilizando la plantilla. Esto no solo limita la posibilidad de

recopilar información para futuros análisis, sino que también reduce la trazabilidad de las acciones ejecutadas.

Como solución inicial, se propone el uso obligatorio de una plantilla mejorada para las órdenes de trabajo, diseñada para facilitar la recolección estructurada de datos relevantes. Esta incluiría información clave como el equipo afectado, tipo de falla, actividad a realizar, responsable de la ejecución, y resultado final del trabajo. Asimismo, se designa un responsable para verificar la correcta ejecución de la tarea, fortaleciendo así el control sobre las acciones realizadas y los resultados obtenidos.

A mediano plazo, se puede migrar estos formularios a un entorno digital, como formularios y que se integren con los calendarios de los técnicos, agilizando la asignación de tareas y la documentación de los trabajos concluidos, además de permitir adjuntar evidencias, como fotos o videos. De esta forma, se busca no solo modernizar el proceso, sino también generar una base de datos valiosa que contribuya a una gestión del mantenimiento más informada y eficaz por medio de la creación de datos históricos.

7.4.2 Reportes de averías

Actualmente, el reporte de averías se realiza de forma verbal, ya sea directamente a uno de los técnicos o al jefe de mantenimiento. Esto genera que, en la mayoría de los casos, los reportes no queden registrados formalmente, lo cual dificulta la trazabilidad, registro y gestión eficiente de las fallas.

Como solución, se diseña un formulario digital que permite reportar averías tanto electromecánicas como de la infraestructura de la planta. Este formulario podrá ser distribuido de forma sencilla mediante códigos QR o enlaces compartidos, facilitando el acceso tanto al personal técnico, operarios, bodegueros, así como al personal administrativo y misceláneo. El objetivo es agilizar el proceso de reporte, mejorar la visibilidad del estado de cada solicitud y centralizar la información para su posterior gestión.

El formulario no solo recolecta el tipo de avería, sino también quién realiza el reporte, la fecha y hora de este, y permite diferenciar si se trata de una falla electromecánica o de una avería estructural (civil). Asimismo, facilita la localización del problema dentro de las áreas de la planta y, en caso de tratarse de un equipo, permite registrar su código de identificación. Adicionalmente, el formulario ofrece la opción de adjuntar imágenes de la avería, lo que permite mapear visualmente el problema y tomar decisiones más acertadas sobre la acción correctiva a implementar.

Toda esta información es organizada en una tabla dinámica de manera automática según las respuestas, que clasifica los reportes según el tipo de avería. Se realizaron una serie de pruebas funcionales para validar su correcto desempeño y su utilidad como herramienta de apoyo en la gestión del mantenimiento.

Estado	Marca temporal	Correo electrónico	Tipo de Reporte	Código de Equipo	Tipo de fallo (E)	Ubicación	Tipo de fallo (C)	Descripción	Imagen
			Tipo de Reporte: Civil						
			Recuento: 2						
Sin revisión	16/4/2025 13:02:25	Elvis.CACSA@gmail.com	Civil			Secadores	Paredes, Pintura	Falta pared sin pintar	
Asignado	15/4/2025 7:10:53	Manuel.CACSA@gmail.com	Civil			Molino	Agua Potable, Paredes	Fuga de agua, daño a paredes	
			Tipo de Reporte: Electromecánico						
			Recuento: 2						
Sin revisión	18/4/2025 14:42:12	Hector.CACSA@gmail.com	Electromecánico	PAL-MO-CLP	Eléctrico			Equipo no enciende	
Asignado	14/4/2025 16:17:35	Jose.CACSA@gmail.com	Electromecánico	PAL-MO-CT	Electrónico, Neumático			Equipo atascado	

Fig. 20. Ejemplo de gestión de reportes de averías

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

7.4.3 Resultados de inspecciones

Actualmente, los resultados de las inspecciones a los equipos, especialmente a los compresores, se registran utilizando formatos en papel. Estos documentos son entregados al jefe de mantenimiento, quien posteriormente se encarga de su digitalización manual conforme a un formato predeterminado. Sin embargo, este proceso resulta redundante y consume tiempo innecesario, además de que no contempla si durante la inspección se realizaron intervenciones correctivas o preventivas, como ocurre con frecuencia.

Ante esto, se diseña un formulario digital que permite registrar directamente los resultados de las inspecciones, enfocado inicialmente en los compresores, aunque se puede de escalar su uso a otros equipos en el futuro. Dado que estas inspecciones se realizan de forma bisemanal, y que comúnmente se aprovechan para intervenir los equipos en caso de encontrar alguna anomalía, el formulario contempla si se llevó a cabo o no una intervención durante la inspección.

En caso de que se intervenga el equipo, el sistema permite seleccionar las intervenciones realizadas a partir de una lista de acciones comunes aplicadas a los compresores, lo que permite agilizar el registro, mejora la estandarización de los datos y permite llevar un seguimiento más eficiente del estado operativo y de las acciones correctivas realizadas.

CAPITULO 8. DISEÑO DEL CUADRO DE MANDO INTEGRAL

8.1 Definición de objetivos por perspectiva

Como se mencionó anteriormente, establecer objetivos para cada una de las perspectivas resulta fundamental para una organización, ya que permite alinear los esfuerzos del departamento con metas concretas, orientando sus acciones hacia el cumplimiento de los resultados esperados en cada área estratégica.

8.1.1 Perspectiva financiera

Perspectiva	Objetivos
Financiera	<ul style="list-style-type: none">• Cuantificar el costo anual del mantenimiento por tonelada producida en la planta Alajuela para optimizar la toma de decisiones estratégicas.• Desarrollar proyectos de inversión para el departamento de mantenimiento que generen valor agregado y contribuyan al crecimiento de la empresa.

Tabla 17. Propuesta de objetivos para la perspectiva financiera

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

Objetivo 1: Cuantificar el costo anual del mantenimiento por tonelada producida en la planta Alajuela para optimizar la toma de decisiones estratégicas.

Conocer los costos de mantenimiento es fundamental, ya que permite identificar cuánto cuesta mantener en funcionamiento la planta según su producción y cuánto del ingreso total se destina a este departamento. Esta información es clave para evaluar si es necesario aumentar la

inversión o, por el contrario, optimizar los procesos para reducir los costos. Hasta ahora, la empresa no contaba con indicadores de este tipo, por lo que la implementación de estos permitirá cuantificar y gestionar de manera más eficiente los recursos destinados al mantenimiento. Estos costos contemplan diversos aspectos, como gastos de planilla, repuestos, servicios profesionales, servicios tercerizados, consumibles y cualquier otra inversión relacionada con el departamento. Siendo esta la primera vez que cuenta con este indicador, permitiendo establecer un punto de referencia que podrá ser usado en posteriores análisis.

Indicador 1: Costo Anual de Mantenimiento por tonelada producida

$$\text{CAMT} = \frac{\text{CAM}}{\text{Producción total anual}}$$

Ecuación 2. Costo anual de mantenimiento por tonelada producida

CAMT: Costo anual del mantenimiento por tonelada producida.

CAM: Costos anuales del mantenimiento.

Objetivo 2: Desarrollar proyectos de inversión para el departamento de mantenimiento que generen valor agregado y contribuyan al crecimiento de la empresa.

Para impulsar proyectos que contribuyan al crecimiento de la empresa, es esencial evaluar qué tan beneficiosos han sido para la organización. Como menciona Mena (2018), todo proyecto de inversión se justifica en la medida en que genere beneficios superiores a sus costos. Por ello, se busca promover iniciativas que sean interés para el departamento, enfocadas en buscar el desarrollo de mejoras en las diferentes áreas presentes. Esto puede incluir ya sea la optimización en la organización y recolección de la información, la adquisición de software especializado para la gestión del mantenimiento, o la compra de equipos y herramientas que faciliten la ejecución eficiente de las labores. Además, se pueden considerar proyectos destinados a la mejora de la

infraestructura, entre otros, todo esto con el objetivo de que el porcentaje de retorno esté cercano o supere el 5%.

Indicador 2: Retorno sobre la inversión

$$\% \text{ ROI} = \frac{\text{Inversión en proyecto}}{\text{Beneficio obtenido}}$$

Ecuación 3. Retorno sobre la inversión

%ROI: Porcentaje de retorno sobre la inversión.

8.1.2 Perspectiva del cliente

Perspectiva	Objetivos
Cliente	<ul style="list-style-type: none"> Garantizar la máxima disponibilidad de los equipos definidos como críticos para la producción. Reducir el tiempo promedio de paro por averías en los equipos críticos.

Tabla 18. Propuesta de objetivos para la perspectiva cliente

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

Objetivo 1: Garantizar la máxima disponibilidad de los equipos definidos como críticos para la producción.

Este objetivo busca definir la cantidad de horas disponibles de los equipos críticos a lo largo de un tiempo definido, tomando en cuenta la cantidad de horas que debería estar en funcionamiento y comparándolo a las horas que ha estado en fallo, por lo que se busca que con este indicador llevar un método cuantitativo que permita medir la disponibilidad y, en caso de ser necesario, buscar alternativas que permitan mejorar el porcentaje de disponibilidad de los equipos.

Indicador 1: Disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \cdot 100$$

Ecuación 4. Disponibilidad

MTBF: Tiempo medio entre fallas

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Horas Totales en Funcionamiento}}{\text{Cantidad de fallos}}$$

Ecuación 5. Tiempo medio entre fallas

MTBF: Tiempo medio entre fallas

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Horas de paradas por fallos}}{\text{Cantidad de fallos}}$$

Ecuación 6. Tiempo medio de reparación

MTTR: Tiempo medio de reparación

Objetivo 2: Reducir el tiempo promedio de paro por averías en los equipos críticos.

Este objetivo busca minimizar el impacto de las averías en la continuidad de la producción. Para ello, se establecerá un indicador que permita medir, de forma cuantitativa, el tiempo promedio en el que los equipos críticos permanecen inactivos debido a este tipo de fallas. Este indicador servirá para evaluar la capacidad de respuesta y de reparación del equipo técnico ante una avería. Además, en caso de que los tiempos de reparación se incrementen, permitirá identificar las causas y planificar acciones correctivas que optimicen los procesos y resuelvan las falencias detectadas.

Indicador 2: Disponibilidad por avería

$$DPA = \frac{\text{Horas Totales en funcionamiento} - \text{Horas de Parada por Avería}}{\text{Horas Totales en funcionamiento}}$$

Ecuación 7. Disponibilidad por avería

DPA: Disponibilidad por avería.

8.1.3 Perspectiva de los procesos internos

Perspectiva	Objetivos
Procesos internos	<ul style="list-style-type: none">• Destinar al menos el 70% de las actividades del departamento a labores de mantenimiento preventivo.• Garantizar la ejecución del 95% de las órdenes de mantenimiento preventivo programadas para los equipos críticos dentro de los plazos establecidos.

Tabla 19. Propuesta de objetivos para la perspectiva de los procesos internos

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

Objetivo 1: Destinar al menos el 70% de las actividades del departamento a labores de mantenimiento preventivo.

Según Duffuaa et al. (2002), la proporción ideal de actividades de mantenimiento y la inversión económica debería ser de un 70% en mantenimiento preventivo y un 30% en correctivo. Por esto, este indicador tiene como objetivo establecer un método cuantitativo de seguimiento que permita monitorear y ajustar estos porcentajes, buscando alcanzar los niveles recomendados y optimizar la gestión de mantenimiento.

Indicador 1: Tiempo dedicado al mantenimiento preventivo

$$\% \text{ TDMP} = \frac{\text{Horas dedicadas al mnto. preventivo}}{\text{Horas totales dedicadas al mnto.}} \cdot 100$$

Ecuación 8. Tiempo dedicado al mantenimiento preventivo

%TDMP: Porcentaje de tiempo dedicado al mantenimiento preventivo.

Objetivo 2: Garantizar la ejecución del 95% de las órdenes de mantenimiento preventivo programadas para los equipos críticos dentro de los plazos establecidos.

Llevar un control de las actividades realizadas y recopilar información de manera adecuada es fundamental para garantizar la efectividad del mantenimiento preventivo. Por ello, se propone establecer un objetivo con un indicador que permita medir las labores previamente planificadas y ejecutadas. Esto facilitará un control más riguroso, permitiendo identificar cambios, evaluar el cumplimiento de las actividades y planificar acciones correctivas en caso de desviaciones. De esta manera, se busca optimizar la gestión y asegurar que los procesos de mantenimiento se desarrollen de forma eficiente.

Indicador 2: Porcentaje de actividades preventivas realizadas

$$\% \text{ TPE} = \frac{\text{OT de tarea preventivas completadas}}{\text{OT de tareas preventivas generadas}} \cdot 100$$

Ecuación 9. Porcentaje de tareas preventivas realizadas

% TPE: Porcentaje tareas preventivas ejecutadas.

OT: Ordenes de trabajo.

8.1.4 Perspectiva de la formación y el aprendizaje

Perspectiva	Objetivos
Formación y aprendizaje	<ul style="list-style-type: none">• Capacitar activamente al personal de mantenimiento, fortaleciendo sus habilidades y conocimientos para expandir las competencias del equipo.• Crear incentivos para incrementar la motivación y satisfacción laboral del personal del departamento de mantenimiento.

Tabla 20. Propuesta de objetivos para la perspectiva de la formación y el aprendizaje

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

Objetivo 1: Capacitar activamente al personal de mantenimiento, fortaleciendo sus habilidades y conocimientos para expandir las competencias del equipo.

Las capacitaciones son una de las herramientas más efectivas para el desarrollo profesional de un equipo técnico, ya que promueven la adquisición de nuevos conocimientos y fomentan la independencia tanto entre los colaboradores como de los servicios externos o tercerizados. Esta inversión ayuda a fortalecer las capacidades individuales y colectivas del equipo, mejorando la capacidad de reacción ante un incidente y mejorando la calidad de la ejecución de las actividades de mantenimiento. Además, invertir en la formación de los colaboradores representa un incentivo significativo para ellos, ya que les hace sentir valorados por la empresa. Esto no solo incrementaría la calidad del trabajo realizado, sino que también promueve un mayor compromiso con sus responsabilidades y el desarrollo de sus labores.

Indicador 1: Horas promedio anuales de capacitación por colaborador

$$\text{Horas promedio de capacitación} = \frac{\text{Total de horas de capacitación}}{\text{Total de colaboradores del departamento}}$$

Ecuación 10. Horas promedio de capacitación

Objetivo 2: Crear incentivos para incrementar la motivación y satisfacción laboral del personal del departamento de mantenimiento.

Generar incentivos dentro del departamento ayuda a aumentar la motivación de los colaboradores. Mejoras en el taller o la compra de equipos modernos y variados no solo facilitan el trabajo, sino que también mejoran la percepción que el personal tiene de sus labores y del entorno en el que las realizan. Además, brindarles la oportunidad de proponer ideas para mejorar el departamento les hace sentir escuchados y valorados. Implementar encuestas anónimas para medir su nivel de satisfacción y recoger nuevas ideas de mejora refuerza ese sentido de pertenencia y apoyo por parte de la organización, fortaleciendo su compromiso y bienestar en el trabajo.

Indicador 2: Satisfacción del personal de mantenimiento

Se medirá el nivel de satisfacción por medio de encuestas anónimas. Además, se recogerán sugerencias de mejora para el departamento.

8.2 Cuadro de mando integral

A continuación, se presenta un cuadro resumen con los objetivos por cada perspectiva, su indicador de medición, la fórmula utilizada, la frecuencia de medición y la meta establecida para cada uno de ellos, con tal de tener esta información de forma ordenada y clara.

Perspectiva	Objetivo	Indicador	Fórmula	Frecuencia	Meta		
					Alto	Medio	Bajo
Financiera	Cuantificar el costo anual del mantenimiento de la planta Alajuela para optimizar la toma de decisiones estratégicas.	Costos anuales del mantenimiento por tonelada producida	$CAMT = \frac{CAM}{\text{Producción total anual}}$	Anual	<C4500	>C4500 - <C5000	>C5000
	Desarrollar proyectos de inversión para el departamento de mantenimiento que generen valor agregado y contribuyan al crecimiento de la empresa.	Retorno sobre la inversión	$\% ROI = \frac{\text{Inversión en proyecto}}{\text{Beneficio obtenido}}$	Anual	>5%	<4% - >2%	<1%
Cliente	Garantizar la máxima disponibilidad de los equipos definidos como críticos para la producción.	Disponibilidad	$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \cdot 100$	Mensual	>95%	<95% - >85%	<85%
	Reducir el tiempo promedio de paro por averías en los equipos críticos.	Disponibilidad por avería	$DPA = \frac{\text{Horas Totales Func.} - \text{Horas Parada Avería}}{\text{Horas Totales Func.}}$	Mensual	<1 día	>1 - <3 días	>3 días
Procesos internos	Destinar al menos el 70% de las actividades del departamento a labores de mantenimiento preventivo.	Porcentaje de tiempo dedicado al mantenimiento preventivo	$\% TDMP = \frac{\text{Horas dedicadas mnto. preventivo}}{\text{Horas totales dedicadas al mnto.}} \cdot 100$	Mensual	>70%	<69% - >60%	<60%
	Garantizar la ejecución del 95% de las órdenes de mantenimiento preventivo programadas para los equipos críticos dentro de los plazos establecidos.	Porcentaje tareas preventivas ejecutadas	$\% TPE = \frac{\text{OT tarea preventivas completadas}}{\text{OT tareas preventivas generadas}} \cdot 100$	Semanal	>95%	<95% - >85%	<85%
Formación y aprendizaje	Capacitar activamente al personal de mantenimiento, fortaleciendo sus habilidades y conocimientos para expandir las competencias del equipo.	Horas promedio de capacitación	$\text{Hrs prom. capacitación} = \frac{\text{Total Horas Capacitación}}{\text{Total Colaboradores}}$	Anual	>30 horas	<29 - >20 horas	<20 horas
	Crear incentivos para incrementar la motivación y satisfacción laboral del personal del departamento de mantenimiento.	Encuestas		Anual	>95% aprobación	<95% - >85% aprobación	<85% aprobación

Tabla 21. Propuesta de cuadro de mando integral

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

CAPITULO 9. ANÁLISIS FINANCIERO

Aunque la viabilidad técnica es uno de los pilares más importantes para la ejecución de un proyecto, esta no es suficiente por sí sola. La viabilidad financiera también debe ser considerada, ya que sin ella no es posible estimar si existe rentabilidad o beneficios económicos que el proyecto pueda aportar.

Si bien existen casos en los que los proyectos se ejecutan por la necesidad de cumplir alguna normativa o ley, siempre se debe realizar una evaluación financiera. Este análisis permite comprender el costo real del proyecto, independientemente de si se trata de una inversión única o de proyecto que necesite de reinversiones a lo largo de su existencia.

En el caso de este proyecto, el análisis financiero es fundamental para determinar la viabilidad de implementar el modelo de gestión del mantenimiento preventivo. Para esto, se consideran los principales costos operativos asociados: la inversión anual en repuestos, la mano de obra interna, los servicios tercerizados y los consumibles requeridos para garantizar el funcionamiento continuo del modelo.

El propósito de este capítulo es presentar un análisis financiero que permita evaluar la implementación del modelo a lo largo del tiempo, con el fin de verificar con este proyecto no solo su viabilidad técnica, sino también su sostenibilidad económica.

9.1 Determinación de costos del modelo

Para estimar el costo real de implementación del modelo, se analizan cuatro componentes clave. Estos elementos permiten construir visualizar un panorama más completo de los recursos necesarios y del esfuerzo económico que implicaría su puesta en marcha.

9.1.1 Repuestos

Con el fin de determinar este costo, se realiza un listado general de cada uno de los repuestos por equipo evaluado de forma anual, con tal de determinar la necesidad de stock en bodega para este modelo. Los costos de cada uno de estos repuestos fueron determinados ya sea por medio de cotizaciones a los proveedores mencionados por el jefe de mantenimiento y de una lista de control de compras generado por el departamento financiero con ayuda del jefe de mantenimiento.

Para determinar este costo, se elabora un listado anual de los repuestos requeridos por cada equipo contemplado en el modelo. Esto permite establecer la cantidad del stock adecuado a mantener en la bodega que asegure la continuidad del mantenimiento. Los costos fueron definidos ya sea a partir de cotizaciones obtenidas de proveedores utilizados por el jefe de mantenimiento y de una lista de compras proporcionada por el departamento financiero, en colaboración con el jefe de mantenimiento.

Equipo	Repuesto	Cant.	Costo x Unid.	Total
Detector de Metales	Rodamiento JFK	2	₡ 8 080	₡ 16 160
	Resorte paso largo	2	₡ 6 351	₡ 12 702
Enfardadora	Correa de arrastre	4	₡ 16 143	₡ 64 572
	Cuchilla 400mm (Paq. 30und)	2	₡ 18 247	₡ 36 494
	Cordoalla para metal	2	₡ 12 500	₡ 25 000
	Faja 5VX 1060	3	₡ 46 952	₡ 140 856
	Faja 5VX 930	3	₡ 29 855	₡ 89 565
Blanqueador (Paso 2)	Freno de barra vertical	18	₡ 10 000	₡ 180 000
	Piedra C30	6	₡ 175 000	₡ 1 050 000
	Chapa perforada	3	₡ 72 450	₡ 217 350

	Faja 5VX 1060	3	₡	46 952	₡	140 856
	FAJA 5VX 930	3	₡	29 855	₡	89 565
Blanqueador (Paso 3)	Freno de barra vertical	18	₡	10 000	₡	180 000
	Piedra C30	6	₡	175 000	₡	1 050 000
	Chapa perforada	3	₡	75 000	₡	225 000
Clasificadora por Tamaño 99%	Empaque de hule	2	₡	25 000	₡	50 000
Mesa Paddy	Faja 3VX 600 USA	2	₡	6 200	₡	12 400
BUHLER	Faja Z 48 USA	2	₡	7 500	₡	15 000
	Cuchillas	1	₡	34 500	₡	34 500
Pulidora PAPU	Chapa perforada	16	₡	75 000	₡	1 200 000
Compresor Blower	Faja 3VX630	1	₡	17 122	₡	17 122
	Filtro de aire	4	₡	20 000	₡	80 000
	Válvulas mínimo	1	₡	200 100	₡	200 100
Compresor 2004	Filtro de aceite	4	₡	74 980	₡	299 920
KEISER	Filtro de aire	4	₡	158 300	₡	633 200
	Filtro separador	2	₡	437 662	₡	875 324
	Válvulas mínimo	1	₡	200 100	₡	200 100
Compresor 2022	Filtro de aceite	4	₡	74 980	₡	299 920
KEISER	Filtro de aire	4	₡	158 300	₡	633 200
	Filtro separador	2	₡	437 662	₡	875 324

Tabla 22. Costo de repuestos del modelo

Fuente: Elaboración Propia.

9.1.2 Mano de obra

A partir del cronograma de mantenimiento diseñado para cada equipo, y utilizando los tiempos estimados por cada actividad, se calcula el costo anual de la mano de obra involucrada en la ejecución del modelo.

El costo por hora-hombre corresponde a un promedio que se considera tanto de los operarios encargados de las labores rutinarias como de los técnicos responsables de las tareas más complejas.

La tabla detallada con la estimación completa de este costo se encuentra en el Anexo 6

9.1.3 Servicios tercerizados

Como se explicó anteriormente, el personal técnico interno no cuenta con el conocimiento necesario para intervenir todos los equipos, en especial aquellos de mayor complejidad como las clasificadoras. Por ello, se contempla en el modelo la contratación de servicios especializados por parte de empresas externas, lo que representa un costo adicional.

Los costos presentes en la tabla provienen de cotizaciones realizadas por el jefe de mantenimiento con la empresa responsable de estos trabajos, y se basan en servicios prestados en marzo de 2025, cotizados durante el mes de febrero.

Equipo	Servicio	Cantidad	Coste x Und	Coste Total
Clasificadora Óptica BUHLER	Mantenimiento General y Calibración	4	₡ 450 000	₡ 1 800 000
Clasificadora Óptica SATAKE	Mantenimiento General y Calibración	4	₡ 555 500	₡ 2 222 000

Tabla 23. Costo de los servicios tercerizados

Fuente: Elaboración Propia.

9.1.4 Consumibles

Se entiende por consumibles todos aquellos recursos de alta rotación o uso frecuente, ya que su trazabilidad puede ser compleja o poco práctica para controlar de forma detallada.

En el contexto del modelo de gestión propuesto, los consumibles se basan principalmente lubricantes como aceites para reductores, motorreductores y compresores, así como grasas utilizadas para la lubricación de rodamientos, cuchillas y otras partes móviles de los equipos.

Equipo	Tipo de Aceite	Cant. (L)	Cant. Reductores	Cant. Cambios	Total (L)
Detector de Metales 1	Mobil 600 XP 220	0,2	1	2	0,4
Detector de Metales 2	Mobil 600 XP 220	0,2	1	2	0,4
Detector de Metales 3	Mobil 600 XP 220	0,3	1	2	0,6
Enfardadora	Mobil 600 XP 220	0,3	1	2	0,6
Clasificador Entero / Quebrado	Mobil 600 XP 220	1,5	2	2	6
Clasificador por Tamaño	Mobil 600 XP 220	1,5	1	2	3
Exclusa Cascarilla	Mobil 600 XP 220	0,4	1	2	0,8
Compresor Blower	Campbell Housfeld (ISO 100)	1,75	N/A	2	3,5
Compresor Kaiser 2004	Kaeser Sigma S-680	38	N/A	2	76
Compresor Kaiser 2022	Mobil 600 XP 220	0,95	N/A	2	1,9

Tabla 24. Determinación de cantidades de aceite necesario de forma anual

Fuente: Elaboración Propia.

La cantidad de aceite necesaria para los cambios anuales se estimó a partir de la información de las técnicas disponibles para cada equipo. Esto permitió calcular con precisión las cantidades necesarias por equipo.

Los precios de los aceites fueron obtenidos mediante cotizaciones realizadas en tiendas del mercado nacional. Esta información también se comparó con datos del documento de costos, con el fin de establecer el costo anual total requerido para el modelo propuesto.

Tipo de Aceite	Unidad	Precio	Uso	Cant (Gal)	Cant. (L)
Kaesar Sigma S-680	Cubeta	₡ 196 058	Compresores	5	19
Campbell Housfeld (ISO 100)	Galón	₡ 34 000	Compresores	1	3,8
Mobil 600 XP 220	Cubeta	₡ 256 500	Red. y Comp.	5	19

Tabla 25. Precio de aceites según presentación

Fuente: Elaboración Propia.

De esta forma, se obtiene el costo total de los aceites necesarios de forma anual para el modelo propuesto.

Tipo de Aceite	Cant. Necesaria	Cant. Cubetas	Costo Total
Kaesar Sigma S-680	76	4	₡ 784 232
Campbell Housfeld (ISO 100)	3,5	1	₡ 34 000
Mobil 600 XP 220	13,7	1	₡ 256 500

Tabla 26. Costo del aceite necesario para el modelo propuesto

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de las grasas empleadas para la lubricación de rodamientos, cuchillas y otras partes móviles, la estimación del consumo se realizó con la ayuda del jefe de mantenimiento basado en la experiencia de las necesidades de los equipos.

Consumibles	Cantidad	Unidad	Costo	Unidad	Total
Grasa para rodamiento	10	Cubeta	₡ 4 300	0,5 kg	₡ 86 000

Tabla 27. Costo de la grasa necesaria para el modelo propuesto

Fuente: Elaboración Propia.

9.1.5 Resumen de costos del modelo

Con el fin de presentar un resumen de los costos de los diferentes componentes necesarios para la implementación del modelo de gestión propuesto, se elaboró una tabla resumen de costos.

Categoría	Costos
Repuestos	₡ 8 944 230
Mano de Obra	₡ 2 665 887
Consumibles	₡ 1 160 732
Servicios Tercerizados	₡ 4 022 000
Total	₡ 16 792 849

Tabla 28. Resumen de costos del modelo

Fuente: Elaboración Propia.

De esta forma, se puede obtener los costos de modelo propuesto, este siendo enfocado en el mantenimiento preventivo. Sin embargo, se debe considerar lo mencionado por que menciona que al menos el 30% de los recursos del mantenimiento son de mantenimiento correctivo, entendiéndose como todo aquel mantenimiento o toda aquella falla que no pudo preverse dentro de lo planificado en el cronograma, una falla inesperada, por tanto, se debe considerar también este monto dentro del costo total del modelo propuesto.

Esta tabla refleja los costos estimados asociados al enfoque preventivo del modelo. Sin embargo, es importante considerar lo indicado por Duffuaa et al. (2002), quienes señalan que al menos un 30 % de los recursos destinados al mantenimiento se emplean en actividades correctivas. Este tipo de mantenimiento incluye todas aquellas fallas no previstas en el cronograma o planificación, siendo eventos inesperados que escapan al alcance del cronograma establecido.

Por esta razón, se incorpora también este componente dentro costo global, con el fin de reflejar de manera más realista el costo total del modelo.

Categoría		Costo Total
Mant. Preventivo (70%)	₡	16 792 849
Mant. Correctivo (30%)	₡	7 196 935
Total (100%)	₡	23 989 784

Tabla 29. Resumen de costos totales del modelo

Fuente: Elaboración Propia.

9.2 Análisis financiero

Para evaluar la viabilidad económica del modelo de gestión propuesto, se emplean herramientas financieras como el VAN y la TIR, previamente explicadas.

Sin embargo, antes de aplicar estas herramientas, es necesario definir ciertos aspectos importantes, como la tasa de descuento, los ingresos estimados y la proyección de costos a lo largo del tiempo. Estos aspectos permiten estructurar de mejor manera el flujo de caja y garantizar que los resultados reflejen de forma más real el comportamiento económico del proyecto.

9.2.1 Tasa de descuento

La tasa de descuento es un componente fundamental en la evaluación financiera, ya que permite calcular el valor presente de los flujos de dinero que el proyecto generará en el futuro. Esta tasa refleja el costo de oportunidad del capital, es decir, el rendimiento que se dejaría de obtener al invertir en este proyecto en lugar de en otra alternativa.

Para su cálculo, se consideran dos elementos: una tasa libre de riesgo, que representa el retorno mínimo esperado sin asumir incertidumbre, y una prima por riesgo, que compensa las posibles variaciones o imprevistos asociados al proyecto en particular.

En lugar de utilizar tasas pasivas de entidades financieras, como lo puede ser un depósito a plazo, los cuales pueden estar sujetas a factores de la misma institución o riesgos propios del sistema bancario, se toma como referencia el rendimiento de los bonos soberanos del Gobierno de Costa Rica, por ser considerados como uno de los instrumentos más representativos para estimar una tasa libre de riesgo en el contexto nacional.

Para este análisis, se selecciona el rendimiento de los bonos soberanos en colones a 5 años, siendo este un indicador ampliamente utilizado para estimar tasas mínimas de retorno sin riesgo. Según datos del Banco Central de Costa Rica (BCCR), en abril de 2025 este rendimiento se ubica alrededor del 5,9% anual (Banco Central de Costa Rica, 2025). Esta tasa refleja, además, las expectativas de inflación de mediano plazo dentro de la economía costarricense, lo cual la convierte en una base sólida para la evaluación.

A partir de esta base, se incorpora una prima de riesgo del 4 % anual, con el fin de reflejar las particularidades propias que pueden existir en el proyecto. Aunque se trata de una iniciativa dentro de una empresa ya establecida, y por tanto es de riesgo moderado, no se pueden descartar factores como fluctuaciones en el costo de los insumos agrícolas, condiciones climáticas o incluso retrasos operativos.

En este análisis se considera una prima de riesgo del 4% anual, siendo esta coherente con la naturaleza relativamente estable del sector agroindustrial. Al sumar esta prima a la tasa libre de

riesgo, se obtiene una tasa de descuento nominal aproximada de 9,9% anual, que será la utilizada para descontar los flujos de caja del proyecto.

De la suma de la tasa libre de riesgo (5,9 %) y la prima de riesgo (4 %) da como resultado una tasa de descuento del 9,9 %, la cual se utilizará para los flujos de caja.

Esta metodología garantiza una tasa de descuento que tenga sustento técnico y se ajuste a las condiciones financieras actuales del país, brindando así una base realista para valorar la rentabilidad del proyecto.

9.2.2 Estimación de ahorro

En proyectos enfocados en la gestión del mantenimiento preventivo, a menudo no existe un ingreso directo que se pueda atribuir a su implementación. En estos proyectos, el beneficio financiero viene del reducir los costos de operación y las fallas de los equipos.

Por esto, existe la duda de si el uso de ahorros producidos como ingresos es correcto en el contexto de un flujo de caja en un análisis financiero para este proyecto, del cual se busca calcular los indicadores como el la TIR y el VAN.

Desde un punto financiero, el reducir un gasto equivale a mejorar un flujo de caja de un proyecto, ya que, aunque no entre dinero, el reducir los gastos tiene el mismo efecto que un ingreso en términos de medir la utilidad. Por esto, para evaluar un proyecto, se puede utilizar un “ingreso por ahorro” o por “costos evitados” como parte del beneficio generado o bien, en otras palabras, si la empresa logra hacer lo mismo gastando menos, la diferencia de esa reducción actúa como un ingreso adicional.

Sin embargo, se debe de considerar que, para que esta interpretación sea metodológicamente correcta para su uso en un flujo de caja se debe cumplir con que, el ahorro se

debe presentar por parte de la implementación del proyecto, significando que el gasto reducido no se pudo haber ocurrido sin su ejecución y que este ahorro debe ser cuantificable a lo largo de todo el proyecto, idealmente esto se realizaría por medio de un mayor control organizacional como las fallas, costos y gastos presentes luego de su aplicación para así su comparación con el año anterior.

El uso de los ahorros o la reducción de costos es mayormente utilizado en aquellos proyectos que no generan ingresos de forma directa. Por ejemplo, un estudio de la implementación de semáforos inteligentes en Bogotá utilizó el cálculo de los ahorros como beneficios del proyecto, viniendo estos ahorros del cambio de la tecnología usada a led dado su consumo eléctrico (Herrera, 2020). También, en estudios como el realizado en Chile, que evaluó la viabilidad de paneles fotovoltaicos, donde estimaron los ingresos del proyecto como el ahorro de energía eléctrica no consumida (Lillo, Miranda, Rodríguez & Valdés, 2020).

Desde este enfoque, para un flujo de caja solo importan las diferencias de costos e ingresos entre el realizar o no el proyecto. En este caso, si el proyecto reduce el costo anual del mantenimiento, esta reducción es un beneficio económico. Lo importante es que el flujo de caja refleje correctamente el impacto de la inversión en la rentabilidad, dado que, si no se incorporan estos ahorros, se estaría subestimando el impacto real de su ejecución y el beneficio real del mantenimiento preventivo.

El beneficio por la implementación de una correcta gestión del mantenimiento preventivo depende de múltiples factores que se han documentado en distintos contextos. Por ejemplo, Arroyo y Obando (2022) mencionan cómo en Ecuador, el enfoque en una estrategia preventiva permitió una reducción de hasta un 30% de los costos de mantenimiento. Por su parte, Pinedo (2018) mediante la implementación de un mantenimiento preventivo en una empresa pesquera en Perú, logró disminuir los costos de mantenimiento de S/.12,930.00 a S/. 6,192.50, una reducción de al

menos 52%. Asimismo, Ayulo y Cubas (2022) al aplicar un plan de mantenimiento para una empresa con fuerte dependencia al mantenimiento correctivo, como es el caso de CACSA, observaron una disminución de hasta un 55,9% de los costos tras 28 semanas. Finalmente, Keller y Owen (2025) en un estudio comparativo entre mantenimiento correctivo y preventivo, concluyen que este último puede reducir los costos entre un 20 % y un 30 %.

Estos antecedentes permiten justificar el uso de un porcentaje de reducción de costos dentro de un rango conservador, pero realista, para este proyecto, considerando que se trata de un modelo de gestión con un enfoque preventivo en una empresa con condiciones similares a las mencionadas.

9.2.3 Flujo de caja

Para construir un flujo de caja que represente de la mejor manera el comportamiento financiero del proyecto, es necesario considerar una serie de elementos clave.

En primer lugar, la proyección económica se realizará a un horizonte de 5 años. Durante este periodo se incorporarán ajustes por inflación a los rubros de los costos, utilizando como referencia el Índice de Precios al Consumidor (IPC) reportado por el BCCR, que para marzo de 2025 se ubicó en un 1,21 %. Además, se incluye el ajuste anual de salarios del sector privado, según datos del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS), correspondiente al año 2024, el cual fue de un 2,37 %. Sabiendo que estos valores no presentan un comportamiento lineal en el tiempo, su uso permite estimar de manera razonable el incremento gradual en los costos del plan de mantenimiento.

Como se explicó previamente, la tasa de descuento utilizada en este análisis corresponde al rendimiento de los bonos soberanos en colones a 5 años plazo, con una prima de riesgo adicional que ajusta el valor a las características del proyecto. Esta tasa de descuento final es del 9,9 %.

9.2.4 Resultados

Una vez definidas las condiciones bajo las cuales se construyó el flujo de caja, se procede a evaluar los resultados desde tres escenarios distintos. Cada uno de ellos considera un porcentaje diferente de ahorro, con el fin de analizar el rendimiento del modelo bajo distintas perspectivas, siendo conservador en cada una de las expectativas de reducción.

En una perspectiva realista, se plantea el ahorro del 30% como anteriormente se consideró, obteniendo la siguiente tabla de flujo de caja, VAN y TIR.

En el escenario realista, se contempla una reducción del 30 % en los costos de mantenimiento, de acuerdo con el análisis anterior. Bajo esta condición, se presenta el flujo de caja correspondiente, junto con los resultados del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Tasa de descuento (TD)	9,9%					
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	
Ingresos (Reducción del 30%)		C 37 546 436	C 37 996 993	C 38 452 957	C 38 914 393	
Costos Modelo (70%)	-C	16 963 785	-C 17 199 971	-C 17 439 748	-C 17 683 176	
Mano de Obra	-C	2 665 887	-C 2 729 068	-C 2 793 747	-C 2 859 959	
Repuestos	-C	9 052 455	-C 9 161 990	-C 9 272 850	-C 9 385 051	
Consumibles	-C	1 174 777	-C 1 188 992	-C 1 203 378	-C 1 217 939	
Servicios Tercerizados	-C	4 070 666	-C 4 119 921	-C 4 169 772	-C 4 220 227	
Costos Correctivo (30%)	-C	7 196 935	-C 7 270 194	-C 7 358 163	-C 7 447 197	
Inversión	-C	16 792 849				
Mano de Obra	-C	2 665 887				
Repuestos	-C	8 944 230				
Consumibles	-C	1 160 732				
Servicios Tercerizados	-C	4 022 000				
Flujo Neto	-C	23 989 784	C 13 312 458	C 13 438 860	C 13 566 013	C 13 693 909
FNE	C	42 847 370				
VAN	C	18 857 586				
TIR		42%				

Tabla 31. Flujo de caja con perspectiva realista

Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, en el escenario optimista, que proyecta una reducción del 35 % en los costos de mantenimiento, el análisis arroja un VAN de ¢39 069 080 y una TIR del 73 %, lo cual posiciona al proyecto como altamente rentable. El ahorro acumulado al final del quinto año alcanzaría un 6,2 % del presupuesto asignado al departamento a lo largo del mismo periodo.

Es importante señalar que estos resultados reflejan únicamente los beneficios económicos directos de la reducción de costos. Sin embargo, existen otros impactos positivos que no están incluidos en el flujo de caja, como el aumento en la disponibilidad operativa de la planta y sus equipos, lo que se traduce en menores tiempos de inactividad y, potencialmente, en un incremento de la producción. Si estos beneficios indirectos pudieran cuantificarse y añadirse al análisis financiero, la rentabilidad del proyecto sería aún mayor.

CAPITULO 10. DISEÑO DE PROTOTIPO DE MEDICIÓN EN TIEMPO REAL

Para el desarrollo del prototipo, es fundamental considerar una serie de puntos clave que aseguren tanto su funcionalidad como su utilidad práctica. Entre los aspectos a tomar en cuenta se incluyen: el alcance y las limitaciones del dispositivo, las condiciones ambientales en las que operará, la selección del equipo al cual se aplicará, la variable específica que será medida, y la justificación para su monitoreo.

En cuanto a la selección del equipo a monitorear, se opta por aquel que presenta mayor nivel de criticidad dentro de la organización. Esta elección tiene como finalidad evaluar la viabilidad del prototipo para medir variables relevantes como la temperatura, el consumo eléctrico, las vibraciones, la humedad, entre otras, en condiciones reales de operación.

10.1 Elección del equipo y variable de interés

Con base en el análisis de criticidad desarrollado en el Capítulo 6, se identificó al compresor Blower como el equipo más crítico dentro de la planta. Este compresor resulta fundamental, ya que alimenta a toda la planta, facilitando tanto en el trasiego del arroz como en el funcionamiento de varios equipos del molino. Además, cumple un rol crucial en el manejo de residuos como la cascarilla y la semolina presentes en elevadores y esclusas.

Durante la visita al área donde se ubica este compresor, se observó que, debido a su antigüedad (fabricado en 2009), no cuenta con sensores ni instrumentos de medición integrados y/o adaptados, lo que impide el obtener información precisa para su monitoreo y control adecuado.

Comparado con otros compresores dentro de la empresa, los cuales sí disponen de pantallas que permiten recopilar información básica, como la cantidad de horas de operación y la temperatura

del compresor, el compresor Blower queda excluido de las inspecciones rutinarias por carecer de estos instrumentos.

Tras conversar con el jefe de mantenimiento, se destacó la necesidad de contar con herramientas adecuadas para registrar datos precisos, especialmente la temperatura, considerada crítica para evaluar el estado operativo del compresor y reaccionar oportunamente ante posibles anomalías. Si bien variables como el consumo eléctrico o los tiempos de funcionamiento también aportan valor, la temperatura se prioriza por su incidencia directa en la detección temprana de fallas y en la prevención de daños mayores.

Por tanto, se establece que el compresor Blower será el equipo seleccionado para la implementación del prototipo, enfocando la medición principalmente en la variable de temperatura.

10.2 Selección de plataforma a utilizar

Las alternativas comerciales van desde sensores con pantalla LCD integrada, hasta soluciones robustas como Raspberry Pi o sistemas industriales específicos (por ejemplo, SIEMENS), cuyo costo resulta elevado y prohibitivo para un prototipo. Aunque los sensores básicos son fáciles de usar, no permiten registrar ni almacenar datos históricos, lo que limita su utilidad para el análisis posterior de las condiciones de operación. Si bien la Raspberry Pi ofrece funcionalidades avanzadas y mayor capacidad de procesamiento, su precio también resulta prohibitivo para los objetivos de este proyecto, al igual que los sistemas industriales diseñados específicamente para monitoreo continuo.

Por esta razón, se optó por utilizar una plataforma Arduino, debido a su facilidad de integración con diferentes sensores y módulos, su costo accesible y su capacidad para cumplir con

los requerimientos técnicos del proyecto. Además, Arduino proporciona la flexibilidad necesaria para adaptar el prototipo a futuras mejoras o ampliaciones, en caso de requerirse.

10.3 Selección de dispositivos

10.3.1 Sensores

Si bien existe una gran cantidad de opciones en el mercado nacional de sensores térmicos, se optó por los sensores resistivos en lugar de digitales. Esto debido a que, las temperaturas de un compresor no varían rápidamente ni de forma abrupta durante condiciones normales de trabajo según su carga. Pese a que un sensor digital posee una alta capacidad de respuesta al cambio de temperatura repentina, el contexto de implementación haría que este fuera desaprovechado, volviéndolos innecesarios en su implementación.

Con base en el rango operativo del compresor, según su ficha técnica y lo conversado con el jefe del departamento de mantenimiento, entre los 80°C y 95°C, se buscó un sensor capaz de soportar temperaturas superiores a 95°C para medir posibles situaciones críticas sin sufrir daños. Se evaluaron dos sensores:

- **Sensor Dallas Semiconductor DS18B20:** Permite medir temperaturas desde -55°C hasta 125°C con una precisión de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ entre -10°C y 85°C. Posee tres pines (VCC, GND, DQ), es resistente al agua y admite alimentación entre 3V y 5V. Sin embargo, su uso en entornos superiores a 100°C no es recomendable, además de presentar un costo relativamente elevado.

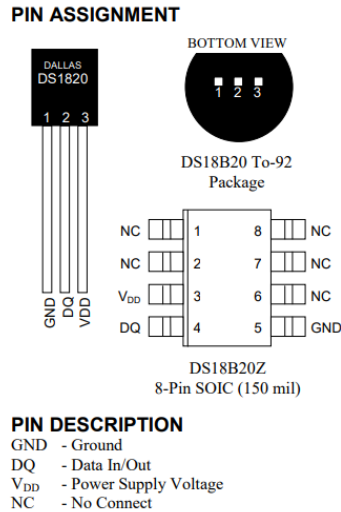


Fig. 21. Pines de conexión del sensor DS18B20

Fuente: Dallas Semiconductor

- **Sensor WISHAY NTC-3435:** Es una alternativa más económica, con rango de medición entre -40°C y 120°C y una precisión de $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (0°C a 80°C) y $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (80°C a 105°C). Cuenta con solo dos conexiones (GND y VCC) y utiliza un divisor de tensión para medir la temperatura. Es resistente al agua y soporta hasta 105°C en ambientes operativos, permitiendo lecturas aún en rangos ligeramente superiores sacrificando algo de precisión.



Fig. 22. Sensor NTC-3435

Fuente: VISHAY BCcomponents

10.3.2 Módulo de almacenamiento

Dado que el Arduino tiene una capacidad limitada para almacenar información, se decidió incorporar un módulo de almacenamiento mediante una tarjeta microSD, específicamente el módulo SparkFun OpenLog. Este módulo fue seleccionado debido a que utiliza comunicación por medio de un integrado I2C, lo cual permite reducir significativamente la cantidad de pines necesarios para conectarlo al Arduino, simplificando así la implementación y el cableado. Además, su capacidad de almacenamiento mediante microSD facilita enormemente la gestión de información histórica generada por el sensor de hasta 32 GB por medio de protocolos de comunicación SPI, permitiendo llevar un seguimiento detallado y continuo de las temperaturas registradas a lo largo del tiempo.

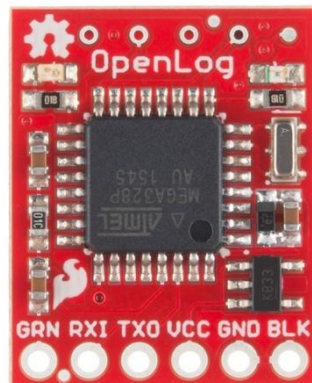


Fig. 23. Módulo de almacenamiento MicroSD SparkFun OpenLog

Fuente: MicroJPM

10.3.3 Reloj en tiempo real (RTC)

Para complementar adecuadamente estos datos, también se integró un módulo de reloj en tiempo real DS3231. Este módulo fue elegido porque mantiene la fecha y hora precisas, incluso si el Arduino pierde temporalmente la alimentación principal, gracias a su batería de respaldo

CR2032. La incorporación del módulo DS3231 permite registrar con exactitud el momento exacto de cada medición, esto no siendo posible de forma nativa al estar desconectado de una laptop, aportando así información adicional que es crucial para realizar análisis posteriores sobre patrones de operación del compresor, también la posibilidad de identificar posibles fallas o correlacionar eventos específicos en la planta con las lecturas de temperatura.



Fig. 24. Módulo DS3231

Fuente: MicroJPM

10.3.4 Interfaz de pantalla LCD

Con la infraestructura para almacenar información lista, se procede a implementar un entorno para monitorear las temperaturas en tiempo real y mostrar alarmas. Se seleccionó una pantalla LCD con un módulo I2C integrado para minimizar los pines utilizados para la transmisión de las señales. Esta LCD permite visualizar la temperatura ambiente y del compresor en tiempo real, facilitando la toma de datos en las inspecciones.



Fig. 25. Módulo de Interfaz LCD

Fuente: MicroJPM

10.3.5 Sistema de alertas y alarmas

Como sistema de alerta visual, se utilizará un módulo de luces LED tipo semáforo. Este cuenta con una luz color verde que indicará que las temperaturas del compresor se encuentran en un rango normal, una amarilla para alertas moderadas cuando la temperatura exceda ligeramente el rango habitual de funcionamiento y una roja para emergencias, este indicará que las temperaturas del compresor son críticas y se debe realizar una acción correctiva urgente o una desconexión inmediata para evitar daños al equipo.



Fig. 26. Módulo de luces LED

Fuente: MicroJPM

Se descartan las alertas sonoras debido al elevado nivel de ruido ambiental en la planta, que hace indispensable el uso de protectores auditivos por parte del personal, dificultando el uso de alarmas auditivas.

10.4 Montaje y programación del prototipo

Para poner en funcionamiento el prototipo, se inicia montando el sistema sobre una protoboard, lo que permite realizar pruebas, ajustes y correcciones hasta alcanzar el funcionamiento deseado, conforme a los requerimientos establecidos.

10.4.1 Sensores de temperatura

Dado que uno de los aspectos más relevantes del prototipo es la obtención precisa de datos de temperatura, el montaje comienza con la instalación y prueba de los sensores de temperatura. El sistema incorpora dos sensores resistivos, uno destinado a medir la temperatura del compresor, ubicado directamente sobre la tapa del cárter donde se encuentra el aceite, y otro que medirá la temperatura ambiente, aprovechando la longitud de los cables para posicionarlo a una distancia prudente del compresor. Esta disposición permite detectar posibles perturbaciones térmicas externas que puedan afectar el comportamiento del sistema.

Los sensores seleccionados operan con una alimentación de 5V y requieren conexión a tierra (GND). Para ello, se conecta el pin de 5V del Arduino a una de las filas de alimentación de la protoboard, lo que a su vez permitirá alimentar otros módulos en etapas posteriores del montaje.

Es importante destacar que, al tratarse de sensores resistivos, se requiere una resistencia de referencia conectada en serie desde la fuente de alimentación. En este caso, se emplea una resistencia de 10k Ω , correspondiente al valor nominal del sensor.

La lectura de los valores se realiza mediante los pines analógicos del Arduino. En esta etapa inicial, no es relevante cuál sensor se conecta a cuál pin, ya que esto se definirá posteriormente en el código. El circuito se completa con la conexión al GND del Arduino.

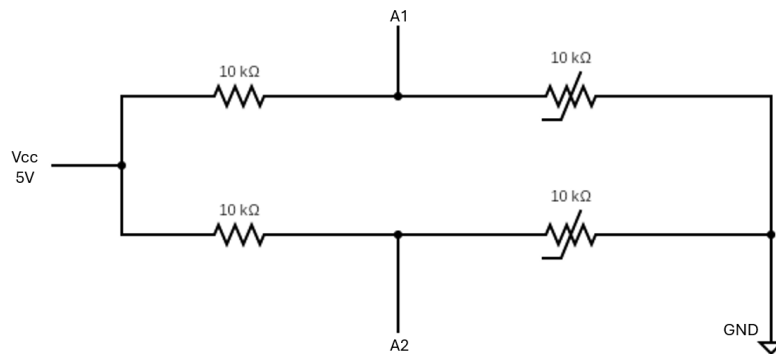


Fig. 27. Diagrama de conexión de los sensores

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizadas las conexiones físicas en la protoboard, el montaje del sistema de sensores queda dispuesto de la siguiente forma:

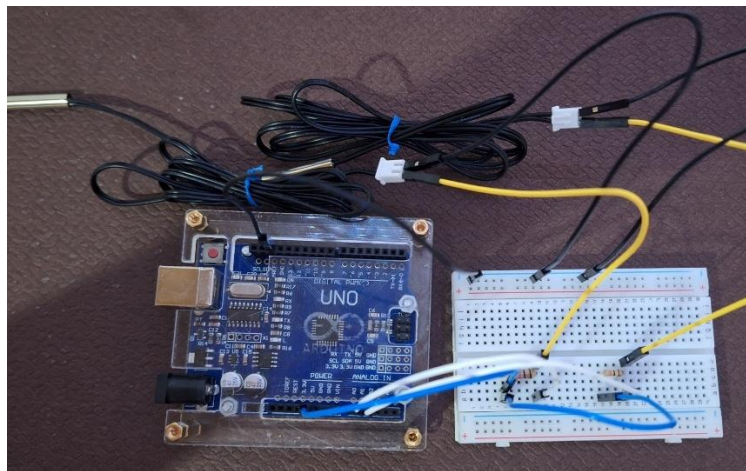


Fig. 28. Conexión de los sensores de temperatura

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se desarrolla la interfaz de programación para el procesamiento de datos recolectados por los sensores. Para calcular las temperaturas a partir de los valores analógicos, se recurre al teorema del Puente de Wheatstone, implementado a través de la librería ACI_10K_an, la cual contiene las fórmulas necesarias para convertir las señales eléctricas en valores de temperatura.

El primer paso consiste en incluir la librería y declarar el objeto correspondiente dentro del código. Luego, se asignan los pines analógicos: el pin A1 se destina a la medición de la temperatura ambiente y el pin A2 a la temperatura del compresor.

```
#include <ACI_10K_an.h>
Aci_10K an10k;

// Pines de los sensores
const int TAmbiente = A1;
const int TCompresor = A2;
```

Fig. 29. Inclusión de librería para sensores y definición de pines

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se desarrolla el bucle de medición (loop). Este bloque de código lee los valores de los sensores, realiza la conversión a temperatura mediante la librería y envía los resultados al puerto serial. Se define un intervalo de medición de 5 segundos, útil durante la etapa de pruebas. Este intervalo podrá ajustarse en función de las necesidades reales de monitoreo continuo.

```

void loop() {

  // Lecturas crudas
  int LectAmbiente    = analogRead(TAmbiente);
  int LectCompresor   = analogRead(TCompresor);

  // Conversión a °C
  float TempAmbiente  = an10k.getTemp(LectAmbiente);
  float TempCompresor = an10k.getTemp(LectCompresor);

  // Impresión en Serial
  Serial.print("T Ambiente: ");
  Serial.print(TempAmbiente, 0); // Temp. sin decimales
  Serial.print(" °C | T Compresor: ");
  Serial.print(TempCompresor, 0); // Temp. sin decimales
  Serial.println(" °C "); // Println da los resultados por renglón

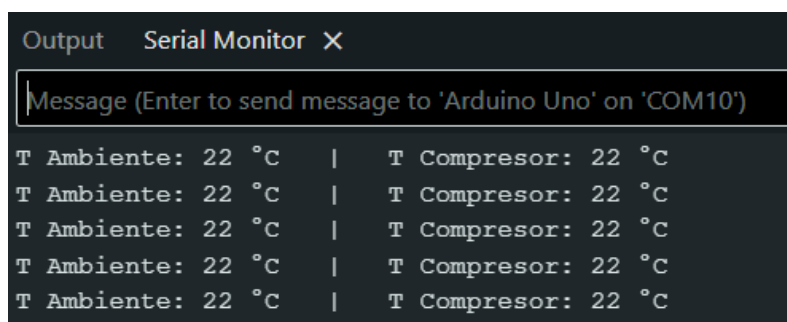
  delay(5000);
}

```

Fig. 30. Lectura de temperaturas e impresiones al puerto serial

Fuente: Elaboración propia.

Una vez cargado el código al Arduino, se ejecutan las pruebas iniciales. Los resultados obtenidos confirman el correcto funcionamiento de los sensores, y se visualizan a través del monitor serial de la plataforma del Arduino.



```

Output  Serial Monitor  X
Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM10')
T Ambiente: 22 °C | T Compresor: 22 °C
T Ambiente: 22 °C | T Compresor: 22 °C
T Ambiente: 22 °C | T Compresor: 22 °C
T Ambiente: 22 °C | T Compresor: 22 °C
T Ambiente: 22 °C | T Compresor: 22 °C

```

Fig. 31. Resultado de las lecturas de sensores en puerto serial

Fuente: Elaboración propia.

10.4.2 Interfaz LCD

La integración de una interfaz LCD permite la visualización en tiempo real de las temperaturas registradas, sin necesidad de contar con una computadora o laptop conectada al Arduino. Esto facilita tanto el monitoreo continuo como la recolección de datos durante las inspecciones del compresor.

La pantalla LCD utilizada incorpora un módulo I2C, lo que simplifica su conexión al requerir únicamente dos líneas de comunicación, además de la alimentación eléctrica. Este módulo opera con 5V y requiere conexión a tierra (GND). Los pines de comunicación corresponden a SDA, conectado al pin A4, y SCL, conectado al pin A5 del Arduino.



Fig. 32. Diagrama de conexión de la pantalla LCD

Fuente: Elaboración propia.

La conexión física sobre la protoboard queda dispuesta de la siguiente forma:

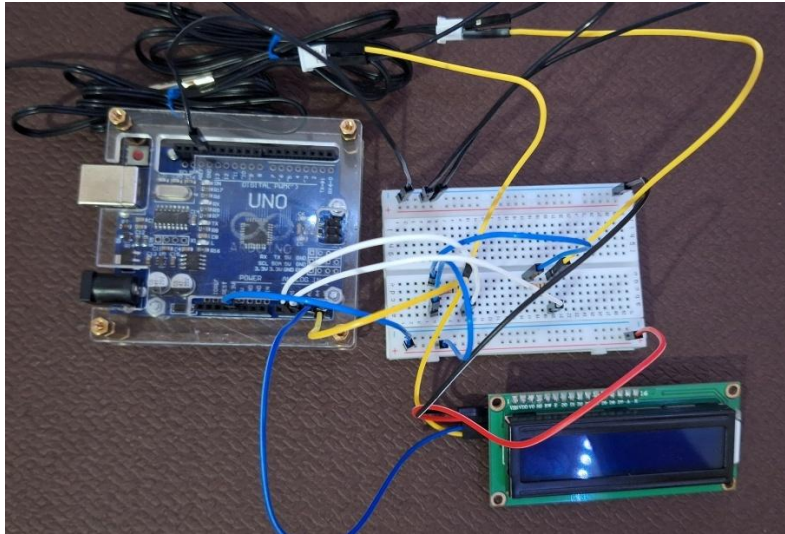


Fig. 33. Conexión de la pantalla LCD

Fuente: Elaboración propia.

Para habilitar la interfaz LCD en el entorno de desarrollo de Arduino, es necesario incluir las librerías `LiquidCrystal_I2C` y `Wire.h`. La primera permite el control de la pantalla a través del protocolo I2C, mientras que la segunda gestiona la comunicación a nivel de bus. En este caso, la pantalla LCD utilizada tiene una configuración de dos líneas de 16 caracteres y una dirección de conexión establecida en `0x27`.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

ig. 34. Inclusión de librerías para interfaz LCD

Fuente: Elaboración propia.

Una vez incluidas las librerías, se procede con la inicialización de la pantalla dentro del bloque `void setup`. En esta etapa se activa tanto el módulo I2C como la retroiluminación, lo que habilita el envío y despliegue de información.

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  // Enciende la LCD y el I2C
  Wire.begin();      // Inicia bus I2C
  lcd.init();        // Inicializa LCD
  lcd.backlight();   // Enciende la luz trasera
}

```

Fig. 35. Activación de la pantalla LCD

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la visualización, se decide mostrar en la primera línea de la pantalla la temperatura del compresor, y en la segunda línea, la temperatura ambiente. Para ello se utilizan los comandos de la librería LiquidCrystal_I2C, definidos previamente mediante el objeto lcd. Estos comandos envían los datos a través de los canales SDA y SCL, que son interpretados por el módulo I2C y convertidos en caracteres visibles en la pantalla.

```

// Impresión en la LCD
lcd.clear(); //Limpia la información de la LCD

// Información en la Primer línea
lcd.setCursor(0, 0); //Selecciona la posición de inicio
lcd.print("T. Comp.: ");
lcd.print(TempCompresor, 0);
lcd.write(byte(223));
lcd.print("C");

// Información en la Segunda línea
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("T. Ambi.: ");
lcd.print(TempAmbiente, 0);
lcd.write(byte(223)); lcd.print("C");

```

Fig. 36. Impresión de temperaturas en la pantalla LCD

Fuente: Elaboración propia.

Tras cargar nuevamente el código con las modificaciones correspondientes, se verifica que los valores medidos por los sensores sean correctamente reflejados en la pantalla LCD, validando así la funcionalidad de la pantalla.



Fig. 37. Resultados de las temperaturas mostradas en la pantalla LCD

Fuente: Elaboración propia.

10.4.3 Módulo RTC (Real-Time Clock)

Dado que se trata de un prototipo embebido e independiente de otros sistemas, resulta necesario incorporar un módulo RTC (Real-Time Clock). Este componente permite realizar una toma de datos más completa, añadiendo fecha y hora al registro de temperatura, lo cual es esencial para el análisis temporal y la trazabilidad de las mediciones.

El módulo utilizado es el DS3231, el cual, al igual que la pantalla LCD, se comunica mediante el protocolo I²C, por lo que comparte los mismos pines de conexión: SDA (A4) y SCL (A5), además de requerir una alimentación de 5V y conexión a tierra. Este tipo de bus permite la conexión en paralelo de múltiples dispositivos I²C, por lo que no representa una limitación para su integración en el sistema.

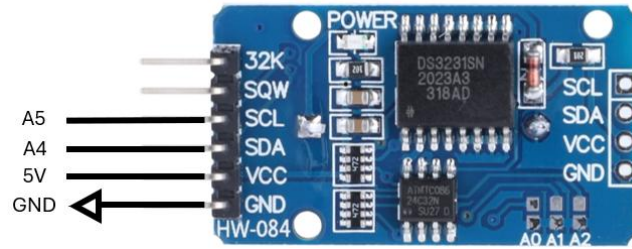


Fig. 38. Diagrama de conexión del RTC

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la distribución previa de conexiones, se adapta el sistema para conectar el módulo RTC en paralelo con los pines I²C ya utilizados, resultando en el siguiente montaje:

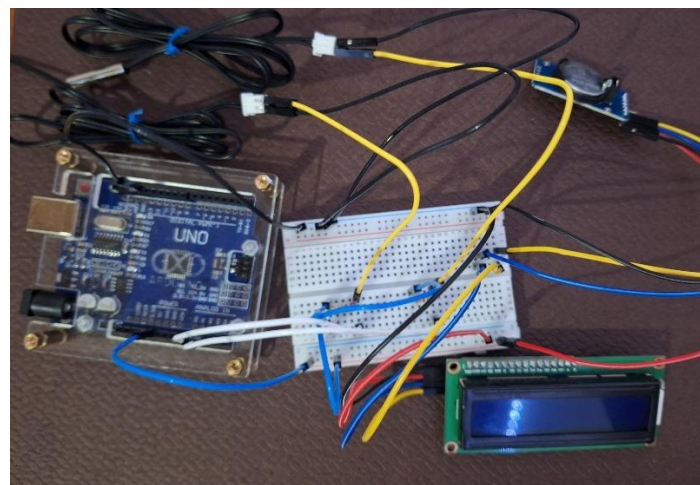


Fig. 39. Conexión del módulo RTC

Fuente: Elaboración propia.

Una vez conectado, el módulo RTC no posee una configuración inicial de fecha y hora. Por esta razón, es necesario programarlo a través de la conexión serial con la computadora o laptop, estableciendo la hora del sistema como referencia. Esta configuración se mantendrá siempre que la batería del RTC esté conectada y en buen estado.

Para llevar a cabo esta inicialización, se incluye y declara la librería RTCLib, diseñada específicamente para trabajar con el módulo DS3231:

```
#include <RTCLib.h>
RTC_DS3231 rtc;
```

Fig. 40. Inclusión de librería para módulo RTC

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, dentro del bloque void setup, se realiza la inicialización del módulo y la configuración de fecha y hora. Esta operación toma los valores directamente del sistema al que se encuentra conectado mediante el puerto serial. Dado que esta acción solo debe ejecutarse una vez, se comenta la línea de configuración del código luego de su primer uso, evitando así que el módulo se reconfigure cada vez que se cargue el código.

```
// Inicia el módulo RTC
if (!rtc.begin()) {
  Serial.println("No se encontró el módulo RTC");
  while (1);
}

// Configura el RTC
//rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
```

Fig. 41. Inicialización y configuración de reloj del RTC

Fuente: Elaboración propia.

Además, se establece una condición para verificar la correcta conexión con el módulo RTC. En caso de no detectarse comunicación, el sistema emite un mensaje de advertencia por el puerto serial, lo que permite identificar posibles fallas en el cableado, en el módulo o en el estado de la batería.

Para validar su funcionamiento, se incorpora la impresión de fecha y hora junto con los datos de temperatura, directamente en el monitor serial. Esto se realiza mediante una solicitud de información al módulo en el instante de la medición, gracias a los métodos disponibles en la librería RTCLib.

Con el fin de asegurar un formato uniforme de salida, se implementa una estandarización del formato de fecha y hora, utilizando estructuras condicionales (if) que agregan un cero inicial a los valores menores a 10 en días, meses, horas, minutos y segundos.

```
//Lectura de fecha y hora
DateTime now = rtc.now();

// Muestra la fecha por el puerto Serial
if (now.day() < 10) Serial.print('0');
Serial.print(now.day());
Serial.print('/');
if (now.month() < 10) Serial.print('0');
Serial.print(now.month());
Serial.print('/');
Serial.print(now.year());
Serial.print(" ");

// Muestra la hora por el puerto Serial
if (now.hour() < 10) Serial.print('0');
Serial.print(now.hour());
Serial.print(':');
if (now.minute() < 10) Serial.print('0');
Serial.print(now.minute());
Serial.print(':');
if (now.second() < 10) Serial.print('0');
Serial.print(now.second());
Serial.print(" -> ");
```

Fig. 42. Impresión de fecha y hora directos del RTC

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente resultado, mostrado en el monitor serial, evidencia que el módulo RTC, una vez configurado, permite mantener y proporcionar información precisa de tiempo en cada medición:

```
Output Serial Monitor X
Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM10')
01/05/2025 23:22:13 -> T Ambiente: 21 °C | T Compresor: 21 °C
01/05/2025 23:22:18 -> T Ambiente: 21 °C | T Compresor: 21 °C
01/05/2025 23:22:23 -> T Ambiente: 21 °C | T Compresor: 21 °C
01/05/2025 23:22:28 -> T Ambiente: 21 °C | T Compresor: 21 °C
```

Fig. 43. Resultados en el monitor serial tras la instalación del módulo RTC

Fuente: Elaboración propia.

10.4.4 Módulo de almacenamiento

Aunque el prototipo ya cuenta con la medición y visualización de las temperaturas en tiempo real, estas dependen de la intervención de una persona para ser registradas. Por esta razón, se implementa un sistema de almacenamiento local que permita generar registros históricos, útiles para análisis posteriores y para facilitar la trazabilidad del comportamiento de las temperaturas del compresor.

Para ello se utiliza el módulo OpenLog de SparkFun Electronics, que permite el uso de tarjetas microSD como medio de almacenamiento. Esta opción resulta ideal para el prototipo, ya que combina bajo costo, facilidad de conexión y la capacidad de almacenar grandes volúmenes de datos en un formato accesible.

La conexión básica del módulo requiere alimentación mediante su pin **Vcc**, pero a diferencia de otros componentes, este debe recibir 3.3V para operar correctamente. Además, se conecta a tierra (GND) y utiliza un pin RXI para la transmisión de datos desde el Arduino hacia la tarjeta SD, a través de un canal de comunicación digital.

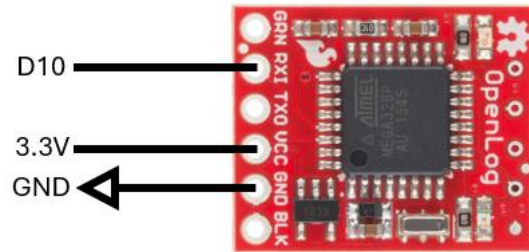


Fig. 44. Diagrama de conexión del OpenLog

Fuente: Elaboración propia.

Una vez integradas las conexiones físicas al prototipo, el montaje del módulo de almacenamiento queda de la siguiente manera:

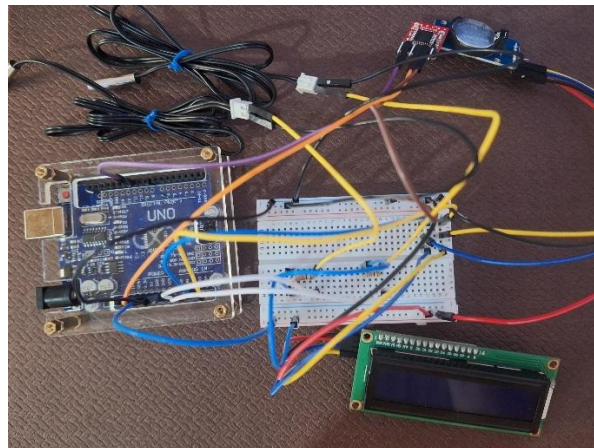


Fig. 45. Diagrama de conexión del OpenLog

Fuente: Elaboración propia.

Para su funcionamiento se emplea la librería SoftwareSerial, que permite definir un canal de comunicación serial alternativo al puerto principal del Arduino. Esta librería resulta especialmente útil para establecer una salida de datos dedicada al módulo OpenLog.

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

Fig. 46. Inclusión de librería para módulo de almacenamiento

Fuente: Elaboración propia.

Luego de incluir la librería, se define el canal de comunicación especificando el pin digital que será utilizado para la transmisión de datos. En este caso, dado que el Arduino no recibirá información del módulo, solo se utilizará la conexión RXI para enviar datos hacia la tarjeta SD.

```
// Pin del OpenLog  
const int openlogTX = 10; //Hace referencia al D10  
  
// Canal de comunicación  
SoftwareSerial openlog(255, openlogTX); //No hay lectura, solo escritura
```

Fig. 47. Definición de canal de comunicación del OpenLog

Fuente: Elaboración propia.

Para la transmisión de datos a la tarjeta microSD se debe definir tanto el formato como la forma en que esta información será almacenada, por tanto, se definen que todas las señales de los sensores serán tomadas en formato plano o String, y a su vez, tanto fecha como las temperaturas estarán divididas entre sí por medio de comas. Por último, obtener toda la información necesaria, se procede por medio de un “print” enviar la información al módulo gracias a la función que ofrece la librería para el control del OpenLog, además se agrega que cada una de estas impresiones de información se realicen una por renglón, para que facilite su comprensión. Todo esto dentro del void loop para que se realice en cada medición.

En cuanto a la estructura de almacenamiento, se define un formato de datos en texto plano (String). La información generada en cada medición (fecha, hora, temperatura del compresor y

temperatura ambiente) se separa mediante comas para facilitar su lectura posterior o su importación a programas como Excel o Python. Cada registro se imprime en una línea nueva, utilizando la función println proporcionada por la librería de comunicación, todo dentro del bloque void loop, asegurando así la repetición periódica del guardado con cada medición.

Al igual que en el caso del formato de salida por pantalla o puerto serial, se aplican las mismas condiciones de estandarización para fechas y horas, de manera que los datos almacenados mantengan una estructura clara y uniforme.

```
// Arma la línea de datos para el OpenLog
String dataLine = "";
dataLine += String(TempAmbiente, 0);
dataLine += ",";
dataLine += String(TempCompresor, 0);
dataLine += ",";
if (now.day() < 10) dataLine += "0";
dataLine += String(now.day());
dataLine += "/";
if (now.month() < 10) dataLine += "0";
dataLine += String(now.month());
dataLine += "/";
dataLine += String(now.year());
dataLine += ",";
if (now.hour() < 10) dataLine += "0";
dataLine += String(now.hour());
dataLine += ":";
if (now.minute() < 10) dataLine += "0";
dataLine += String(now.minute());
dataLine += ":";
if (now.second() < 10) dataLine += "0";
dataLine += String(now.second());

// Envía los datos al OpenLog ---
openlog.println(dataLine);
```

Fig. 48. Definición de canal de comunicación del OpenLog

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se ejecuta el código y se deja funcionar el prototipo por un periodo de prueba. El módulo OpenLog genera automáticamente un archivo en formato .txt, en cuyo interior se registran los datos medidos en tiempo real.

```
22,22,03/05/2025,21:54:12
22,22,03/05/2025,21:54:17
22,22,03/05/2025,21:54:22
22,22,03/05/2025,21:54:28
22,22,03/05/2025,21:54:33
22,22,03/05/2025,21:54:38
```

Fig. 49. Resultados de prueba de almacenamiento

Fuente: Elaboración propia.

10.4.5 Sistema de alarma visual

Con el fin de hacer el prototipo más robusto y funcional, se incorpora un sistema de alarma visual que permite identificar rápidamente el estado térmico del compresor. Este sistema opera bajo un esquema tipo semáforo, utilizando luces verde, amarilla y roja para indicar las condiciones de operación según los niveles de temperatura registrados: normal, alerta y emergencia, respectivamente.

La implementación se realiza mediante un módulo integrado de LEDs, el cual facilita la conexión directa al Arduino al contar con resistencias incorporadas para cada LED. Esto permite conectar los pines de señal a los correspondientes pines digitales seleccionados del Arduino directamente, además de la conexión a tierra (GND).



Fig. 50. Diagrama de conexión módulo de LEDs

Fuente: Elaboración propia.

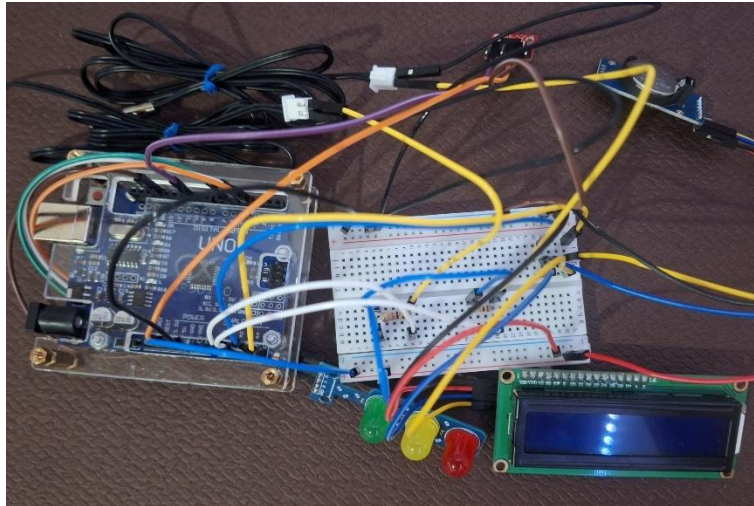


Fig. 51. Conexión de módulo de LEDs

Fuente: Elaboración propia.

Para su funcionamiento, el código no requiere ninguna librería adicional a las ya utilizadas en el proyecto. En primer lugar, se definen los pines digitales que se utilizarán para controlar cada uno de los LEDs. Luego, en el bloque void setup, se configuran estos pines como salidas, lo que permite enviar señales desde el Arduino al módulo de luces.

```
// Pines de LEDs // Configura los pines como salida
const int LedVerde = 6; // G pinMode(LedVerde, OUTPUT);
const int LedAmarillo = 5; // Y pinMode(LedAmarillo, OUTPUT);
const int LedRojo = 4; // R pinMode(LedRojo, OUTPUT);
```

Fig. 52. Definición y configuración de pines

Fuente: Elaboración propia.

La lógica de funcionamiento se desarrolla en el bloque void loop, utilizando estructuras condicionales (if) para definir el comportamiento del sistema de alarma. En este caso, no se contemplan temperaturas inferiores a los 80 °C, ya que se consideran parte del proceso de arranque

o desconexión del compresor, de acuerdo con los rangos normales de operación establecidos en su ficha técnica. Según el valor detectado por el sensor, se activa uno de los tres LEDs:

- **Verde:** temperatura dentro del rango normal (80°-95°C)
- **Amarillo:** temperatura en zona de advertencia (95°-100°C)
- **Rojo:** temperatura en rango crítico, indica una situación de emergencia (>100°C)

```
// Condiciones para las Alarmas
if (TempCompresor >= 80 && TempCompresor < 95) {
    digitalWrite(LedVerde,    HIGH);
    digitalWrite(LedAmarillo, LOW);
    digitalWrite(LedRojo,    LOW);
}
else if (TempCompresor >= 95 && TempCompresor < 100) {
    digitalWrite(LedVerde,    LOW);
    digitalWrite(LedAmarillo, HIGH);
    digitalWrite(LedRojo,    LOW);
}
else if (TempCompresor >= 100) {
    digitalWrite(LedVerde,    LOW);
    digitalWrite(LedAmarillo, LOW);
    digitalWrite(LedRojo,    HIGH);
}
```

Fig. 53. Condiciones para la activación de LEDs

Fuente: Elaboración propia.

El código completo correspondiente a esta sección se encuentra disponible en el Anexo 7.

10.5 Diagrama de conexión

Con el objetivo de facilitar la comprensión del montaje eléctrico del prototipo, se elabora un diagrama general de conexión que resume la integración de todos los componentes descritos en

la sección 10.4. Este esquema permite visualizar de forma clara la distribución de pines, módulos utilizados y sus respectivas fuentes de alimentación.

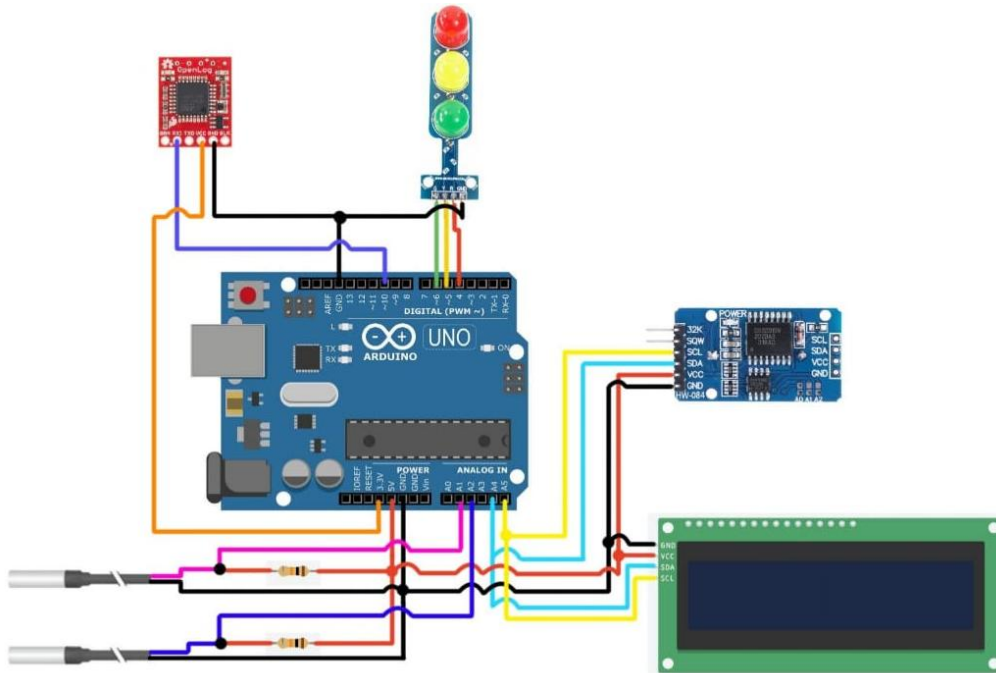


Fig. 54. Diagrama de conexión del prototipo

Fuente: Elaboración propia.

10.6 Diagrama de flujo del código

Para complementar la documentación técnica del prototipo, se presenta a continuación un diagrama de flujo que describe la lógica de ejecución del código. Este diagrama permite entender la secuencia de operaciones realizadas por el sistema, desde la inicialización de componentes hasta la lectura de sensores, procesamiento de datos, visualización y almacenamiento.

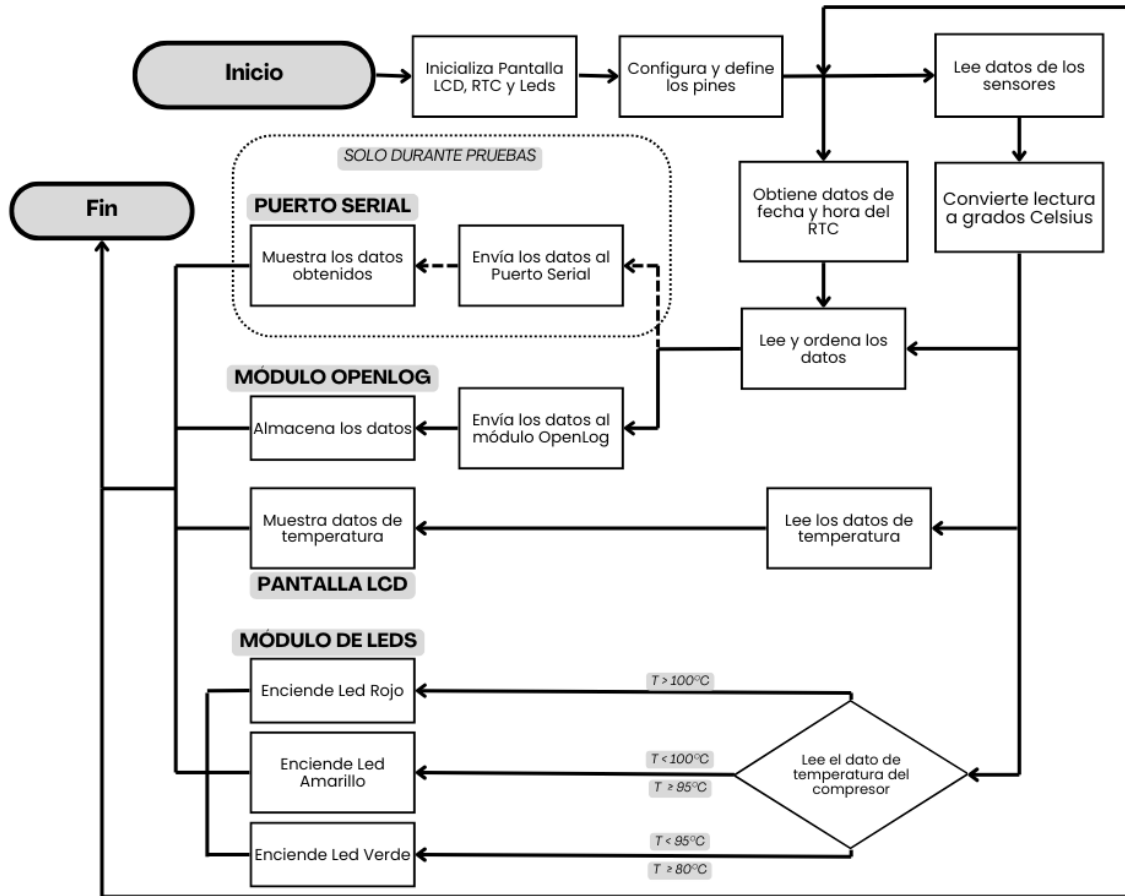


Fig. 55. Diagrama de flujo del código

Fuente: Elaboración propia.

10.7 Resumen de materiales y costos

Para la realización de este proyecto se requirió una serie de materiales que permitieran el funcionamiento autónomo del prototipo, sin depender de una estación de trabajo o computador externo. Con el fin de resumir los componentes utilizados y su costo aproximado, se elaboró la siguiente tabla:

Descripción	Modelo	Cant.	Costo x Und	Total
Arduino UNO	R3	1	₡ 9 620,00	₡ 9 620,00
Sensor de Temperatura	NTC-3435	2	₡ 3 094,00	₡ 6 188,00
Módulo Reloj Tiempo Real	DS3231	1	₡ 5 694,00	₡ 5 694,00
Módulo SparkFun	OpenLog	1	₡ 4 654,00	₡ 4 654,00
Cable adaptador Macho - Hembra (20 Und)	NA	1	₡ 984,52	₡ 984,52
Cable adaptador Macho - Macho (10 Und)	NA	2	₡ 760,76	₡ 1 521,52
Mini Protoboard	NA	1	₡ 2 506,06	₡ 2 506,06
Módulo Luces Led	NA	1	₡ 1 334,53	₡ 1 334,53
Resistencia 10 Kohm	NA	2	₡ 50,23	₡ 100,46
Tarjeta MicroSD	NA	1	₡ 9 178,00	₡ 9 178,00
Transformador 120V - 12V	NA	1	₡ 6 353,21	₡ 6 353,21
TOTAL				₡ 48 134,30

Tabla 34. Resumen de materiales y costos

Fuente: Elaboración propia.

Todos los precios reflejados fueron obtenidos en una tienda electrónica local, con el objetivo de brindar una referencia realista sobre los costos en el mercado nacional durante el año 2025.

Si bien esta tabla permite estimar el costo base del diseño, no contempla ciertos elementos clave para su implementación real, como la necesidad de encapsular el prototipo y realizar la soldadura de sus componentes para asegurar un funcionamiento seguro y estable. Asimismo, para una estimación más precisa del costo total, debería considerarse también la mano de obra técnica y el tiempo de programación requerido para su puesta en marcha.

10.8 Pruebas y resultados

Para validar el funcionamiento del sistema de alarmas y la precisión de los sensores, se realizaron pruebas en ambientes controlados que simulan las condiciones operativas del compresor. El objetivo fue verificar las tres condiciones de alerta (normal, alerta y emergencia) a través del sistema de LEDs, y generar un historial de datos que permitiera analizar el comportamiento del prototipo en el tiempo.

Las pruebas consistieron en exponer el sensor a temperaturas similares a las del compresor. En una primera fase, se simula una temperatura de trabajo normal (entre 80 °C y 95 °C), donde se espera que el LED verde esté encendido y la pantalla LCD muestre las temperaturas correctamente.

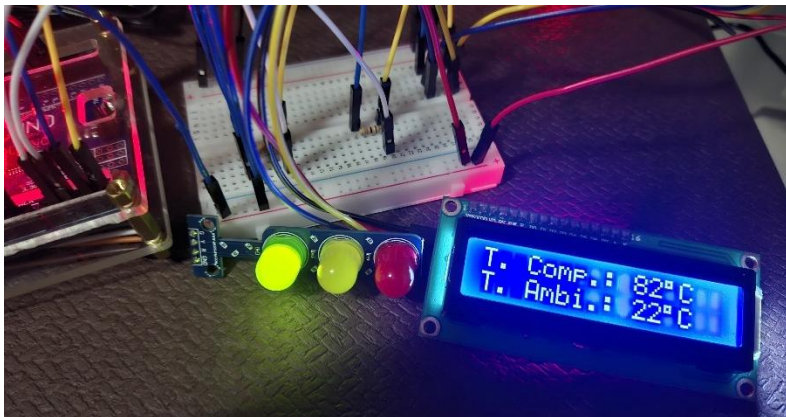


Fig. 56. Prueba de prototipo en temperatura de trabajo normal

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se eleva la temperatura para alcanzar un estado de alerta en el prototipo, con tal de verificar su correcto funcionamiento.

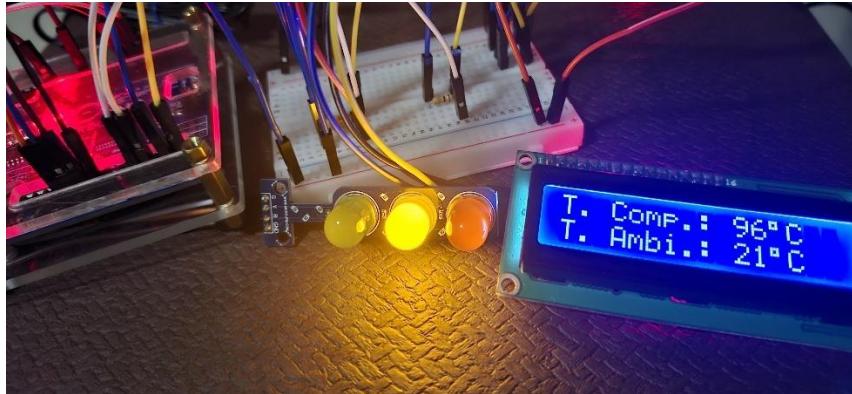


Fig. 57. Prueba de prototipo en temperatura de alerta

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se eleva la temperatura a un valor que represente una condición de emergencia, activando el LED rojo.



Fig. 58. Prueba de prototipo en temperatura de emergencia

Fuente: Elaboración propia.

Además de la señal visual, se validó el almacenamiento de los datos mediante la tarjeta microSD, registrando la evolución de la temperatura durante el ensayo.

Los resultados confirman que el prototipo cumple con los requerimientos definidos para la medición de temperatura del compresor y que el sistema de alarmas responde adecuadamente dentro de los rangos térmicos establecidos en la ficha técnica del equipo.

Para facilitar el análisis de estos datos, se diseñó una interfaz gráfica sencilla en Python, capaz de leer archivos generados por el módulo OpenLog (formato .txt). Esta herramienta permite visualizar de forma clara la evolución de las temperaturas, diferenciando entre temperatura ambiente y temperatura del compresor, además de marcar visualmente las franjas de alerta.



Fig. 59. Interfaz del visor de resultados

Fuente: Elaboración propia.

El visor permite cambiar entre gráficas, descargar los resultados en formato de imagen (PNG) y no requiere reiniciar el programa para cambiar de archivo, lo que optimiza su uso.

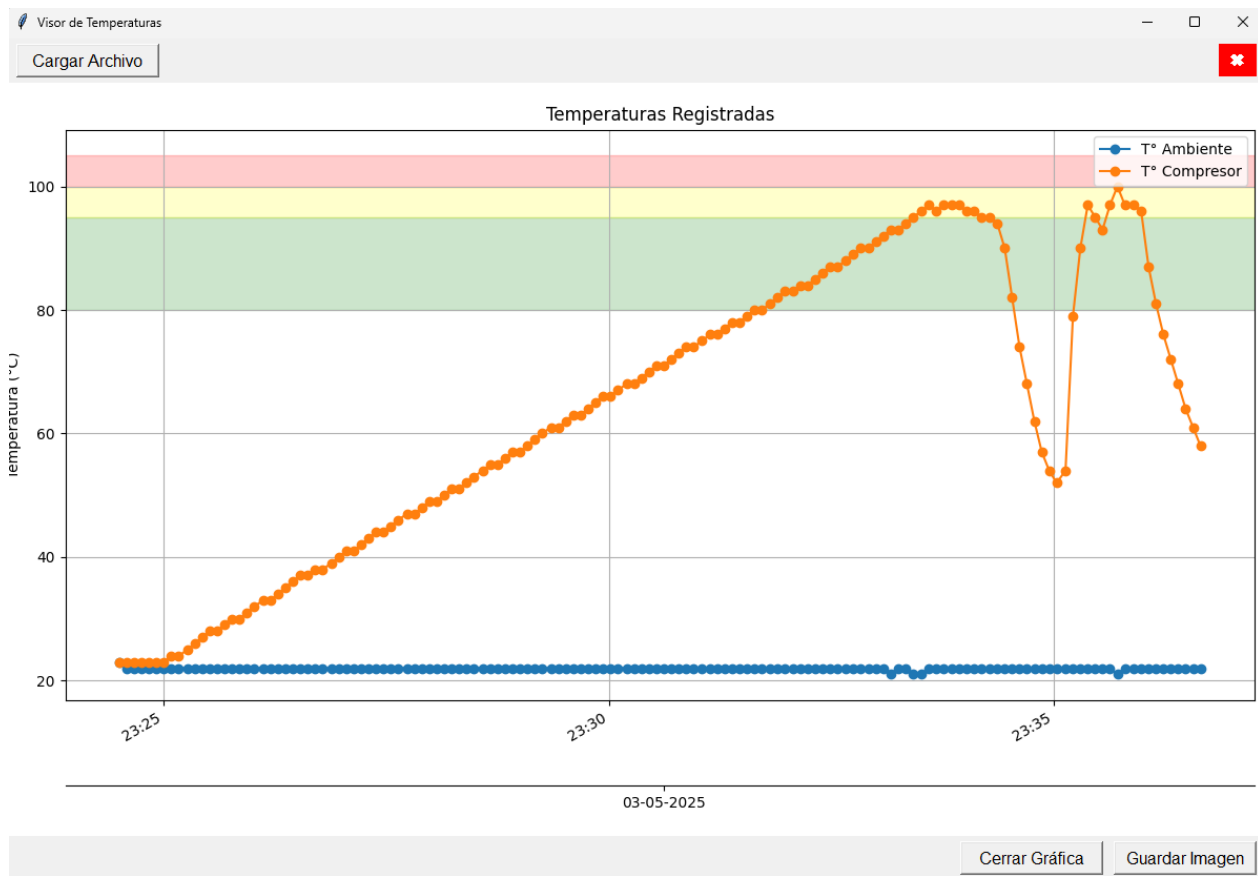


Fig. 60. Grafica generada de la prueba realizada a altas temperaturas

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 8 se encuentra el código utilizado para la creación de esta interfaz.

10.9 Análisis de resultados

A partir de las pruebas y los gráficos generados, se concluye que el prototipo presenta una alta sensibilidad a los cambios de temperatura, con capacidad de respuesta en intervalos de hasta 5 segundos, como se configuró durante los ensayos.

Sin embargo, esta frecuencia de muestreo, si bien demuestra la capacidad del sistema, podría resultar excesiva para aplicaciones reales en sistemas más estables como los compresores, donde no se requieren registros tan continuos.

Durante las pruebas a bajas temperaturas, se evidenció que los termistores utilizados presentan una respuesta más lenta al descenso térmico, necesitando hasta 10 minutos para estabilizarse a temperatura ambiente. Esta limitación es propia de la naturaleza del sensor y su principio de funcionamiento.

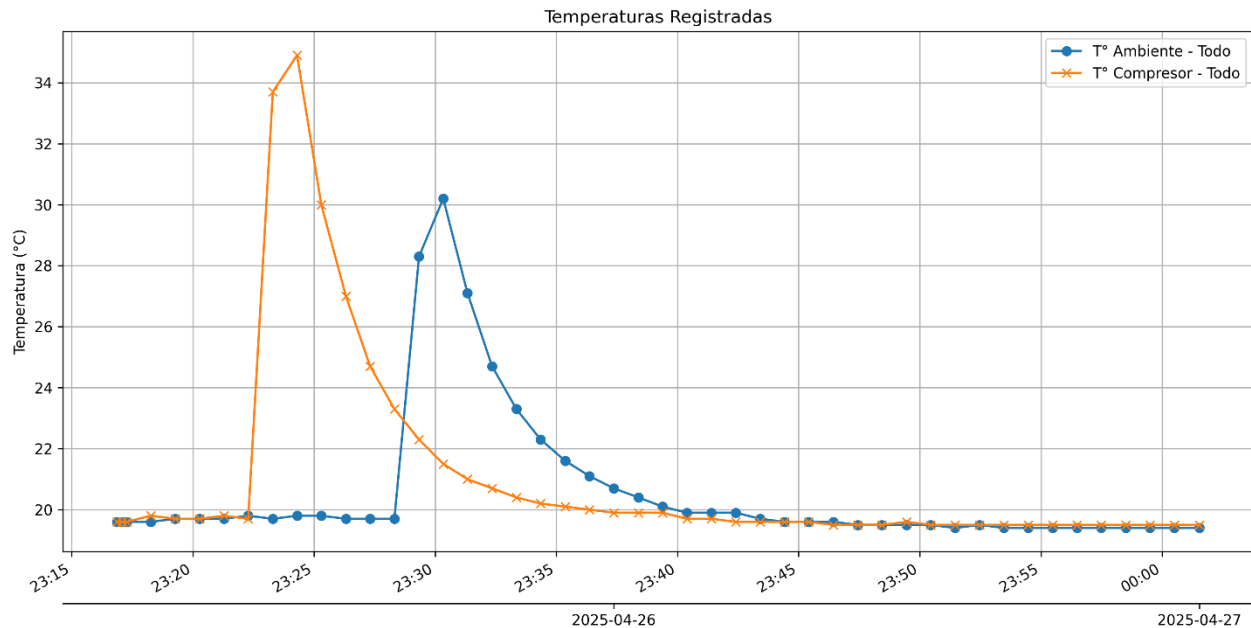


Fig. 61. Grafica generada de la prueba realizada a bajas temperaturas

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, este comportamiento no afecta su rendimiento en condiciones de altas temperaturas, donde los sensores respondieron de forma constante y precisa, cumpliendo con los objetivos del proyecto. Estos resultados no solo validan el diseño, sino que también permiten identificar los límites del prototipo.

10.10 Oportunidades de mejora

Si bien el prototipo cumple con los objetivos establecidos y demuestra su funcionalidad en las pruebas realizadas, es importante reconocer que, por su propia naturaleza y nivel de complejidad, presenta diversas limitaciones que abren espacio para oportunidades de mejora.

Una de las principales áreas de mejora se relaciona con la precisión de las mediciones de temperatura. Aunque los termistores utilizados resultan eficientes y económicos, su naturaleza analógica conlleva una incertidumbre mayor en comparación con sensores digitales, especialmente en aplicaciones que requieren alta precisión. Además, el uso de mediciones indirectas mediante el Puente de Wheatstone, aunque funcional, añade una capa de incertidumbre adicional en la conversión de señales a valores térmicos. Este aspecto debe considerarse cuidadosamente si el prototipo se desea aplicar en entornos que exigen medición más precisa.

Otro punto crítico es el uso del Arduino, una plataforma versátil pero que no está diseñada para aplicaciones industriales. Su fragilidad implica la necesidad de encapsular el sistema adecuadamente o instalarlo en ambientes controlados. Esto demanda un diseño adicional para su protección física, así como la asignación de un espacio específico en campo que permita su operación sin comprometer la integridad del dispositivo. Frente a esto, existen alternativas más robustas, desarrolladas específicamente para uso industrial, que podrían considerarse en futuras versiones del sistema.

En cuanto al software del prototipo, el código implementado, si bien funcional, es aún primitivo y con amplio margen de optimización. Existen oportunidades para hacerlo más ágil y eficiente. La adquisición o contratación de personal con conocimientos técnicos más profundos en programación de sistemas embebidos permitiría desarrollar algoritmos más robustos, mejor estructurados y con mayor adaptabilidad a distintas condiciones de monitoreo.

Además, por tratarse de un sistema embebido autónomo, este es vulnerable a errores por manipulación indebida por parte de operadores o personal técnico. Una posible mejora es incorporar librerías como SPI, que estandarizan la comunicación con otros módulos, facilitando la integración de redes inalámbricas o cableadas. De esta forma, el prototipo podría conectarse

directamente a una estación de trabajo o centro de monitoreo, reduciendo el riesgo de errores humanos y mejorando la seguridad del sistema.

Si bien el módulo de alerta visual es funcional, este no posee la capacidad suficiente para alertar a una persona a no más de 10 metros del lugar donde estaría colocado el prototipo, por esto, como punto de mejora se puede utilizar la comunicación anteriormente mencionada para llevar las señales de alerta a lugares que permitan una mejor visibilidad por parte del personal interesado y encargado, como puede ser una señal auditiva o visual de mayor alcance y tamaño ya sea la oficina del jefe de mantenimiento o por medio de una notificación directa al computador donde esté conectado.

En cuanto al sistema de alerta visual, aunque funcional, su alcance es limitado: no es perceptible a más de 10 metros del punto de instalación. Para resolver esta limitación, se sugiere complementar el sistema con señales de mayor alcance, como luces directamente en la oficina de mantenimiento o incluso notificaciones automáticas a una computadora o al puesto del jefe de mantenimiento, utilizando los canales de comunicación mencionados anteriormente.

Por último, sería útil incorporar pulsos intermitentes en los LEDs para hacer más llamativo el estado de alerta, y registrar los eventos críticos en el almacenamiento histórico del sistema. Esto, siendo su implementación muy simple dentro del código, permitiría llevar un control preciso de cuándo ocurrieron las situaciones de alerta o emergencia, facilitando un análisis posterior más detallado.

10.11 Cronograma de posible implementación

A continuación, se presenta un itinerario que guía el proceso desde la compra de los componentes hasta la operación estable del sistema en el compresor Blower. La secuencia está pensada para que el prototipo se implemente de forma ordenada y con el menor riesgo posible.

- Semana 1: Compra de materiales y armado del prototipo

Durante esta primera semana se compran los elementos listados en la Tabla 34 y se ensamblan sobre una protoboard para validar el correcto funcionamiento de cada módulo, según como se observa en la sección 10.4 y con ayuda del diagrama de conexión (Fig. 55). Una vez superadas las pruebas iniciales, se suelda el circuito definitivo a una placa perforada y se prepara el encapsulado, ya sea mediante impresión 3D o corte láser, asegurando un montaje limpio y robusto.

- Semana 2: Código, pruebas en sitio y capacitación

Con el dispositivo ensamblado se carga el código del Anexo 7, ajustando los límites de alarma de los LED según lo definido. Las pruebas de calibración deben realizarse en un entorno controlado que reproduzca el rango de temperaturas del compresor, y conviene ejecutar al menos 10 ciclos de encendido y apagado de cada alarma para comprobar la robustez del sistema. Se recomienda golpear suavemente la caja para asegurarse de que las soldaduras no cedan.

Instalación en el compresor

Lo ideal es instalar el prototipo cuando la planta se detiene los domingos por la tarde. Con el compresor apagado, se fija la caja a una cara externa del gabinete mediante un soporte magnético o abrazaderas, y el sensor se pega con pegamento térmico sobre la tapa del tornillo. Antes de dejarlo

en operación se verifica la lectura en la pantalla LCD y se registran datos durante media hora. Si todo luce correcto, se continúa el monitoreo durante 48 horas.

Capacitación del personal

Este tiempo de medición se puede aprovechar para la capacitación del personal que manipulará el prototipo y del funcionamiento de la aplicación para visualizar los archivos extraídos tras cada ciclo de medición.

Validación de los resultados

Pasadas las 48 horas, se extrae el archivo .txt, se grafican los datos y se evalúa el comportamiento del prototipo y del compresor con las mediciones. Finalmente se elabora un breve informe con las gráficas y observaciones, el cual se entrega al jefe de mantenimiento.

10.12 Riesgos clave de la implementación y medidas de mitigación

- **Desprendimiento del sensor (vibración o temperatura).**

Riesgo: Lecturas erráticas y alarmas falsas.

Mitigación: Fijación doble por medio de un adhesivo térmico, pegamento térmico o abrazadera metálica aislada para asegurar contacto firme sin alterar la medición.

- **Fragilidad del Arduino en el ambiente industrial**

Riesgo: Fallo del microcontrolador y pérdida total de datos.

Mitigación: Encapsulado más robusto contra el polvo y la humedad, ubicado a distancia segura del compresor para reducir la transferencia de calor; mantener una unidad de repuesto preconfigurada para reposición inmediata.

- **Pérdida de datos en la microSD**

Riesgo: Historial incompleto o ausente del todo.

Mitigación: Capacitación breve del personal sobre el procedimiento correcto de extracción y copia ya que se debe retirar la tarjeta solo con el prototipo apagado.

- **Error del código o congelamiento del prototipo**

Riesgo: Historial incompleto o no se ejecutan las lecturas.

Mitigación: Instruir al personal a que se debe reiniciar el prototipo desconectando brevemente la alimentación, al volver a conectarlo, el dispositivo carga el código limpio y restablece la medición.

CONCLUSIONES

- La auditoría COVENIN otorgó al departamento de mantenimiento una calificación de 24 %, ubicándolo en el nivel de inocencia y revelando la necesidad urgente de una transformación profunda. Las áreas relacionadas con planificación, programación y gestión de la información muestran debilidades notorias, agravadas por la ausencia de una cultura del dato y por la limitada cantidad de personal. Esta combinación explica la fuerte dependencia del mantenimiento reactivo, aun cuando la empresa posee un nivel aceptable de entendimiento en organización y apoyo logístico.
- Se diseñó un MGM que incorpora cronogramas anuales detallados por semana para cada uno de los 18 equipos críticos identificados, así como formularios y plantillas estandarizadas para facilitar la recolección y el control de la información generada. Además, se planteó un CMI que integra indicadores alineados con la misión y visión empresarial. De esta manera, se establecen bases sólidas para transitar desde una gestión empírica hacia una basada en datos confiables y análisis periódicos para la toma de decisiones.
- El escenario realista plantea una reducción de costos del 30 %, generando un VAN de ¢ 18 857 586 y una TIR del 42 %, muy por encima de la tasa de descuento del 9,9 %. No obstante, el análisis de sensibilidad indica que, si el ahorro cae al 25 %, el VAN se vuelve negativo y la TIR desciende al 7 %. Aun así, los beneficios indirectos, generados por su implementación, pueden reforzar la conveniencia de la implementación de este modelo.
- Se diseñó un prototipo de monitoreo que permite realizar mediciones, dar seguimiento en tiempo real y generar un historial de la temperatura del compresor identificado como el más crítico, mostrando una capacidad de respuesta menor a 5 segundos frente a variaciones térmicas y un sistema eficaz de alarmas ajustado a los rangos operativos del equipo.

RECOMENDACIONES

- Realizar auditorías internas anuales alineadas con la norma COVENIN, con el objetivo de evaluar periódicamente el nivel de cumplimiento y los avances del departamento, permitiendo identificar las áreas pendientes de mejora.
- Llevar a cabo una recopilación estructurada de los tiempos empleados en cada actividad, con el fin de establecer tiempos estándar que permitan afinar y optimizar los cronogramas, equilibrar la carga de trabajo del personal y obtener una determinación más precisa de los costos del modelo de gestión propuesto.
- Realizar nuevamente el análisis de criticidad cuando se cuente con una base de datos históricos suficientemente robusta y confiable, facilitando así la implementación del método cuantitativo. Esto permitirá una priorización más objetiva y efectiva de los recursos, así como un enfoque más estratégico del departamento.
- Implementar de forma obligatoria el uso de órdenes de las trabajo y formularios para reportes diseñados, con el propósito de generar información completa, confiable y útil para el departamento, creando así un registro histórico sólido para análisis futuros.
- Se recomienda poner en marcha de forma urgente el prototipo diseñado como plan piloto, para proporcionar una solución temporal en el monitoreo de temperaturas del compresor Blower, mientras se desarrolla e integra un sistema de monitoreo más robusto y permanente.

BIBLIOGRAFÍA

- Abanto Abanto, D. M., & Arribasplata Serrano, H. M. (2022). *Implementación del Mantenimiento Productivo Total para incrementar la productividad del proceso de pilado de la Molinera Victoria S.A.C., Verdun, 2022.* [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/93480>
- Acosta Cajina, K., Fonseca Canales, B. & Varela Navarro, D. (2018). Cadenas agroindustriales en Centroamérica, estrategias de marketing en la cadena agroindustrial del arroz caso Corporación Arroceras de Costa Rica (CACSA). [Universidad Nacional de Costa Rica]. <http://hdl.handle.net/11056/15232>
- Alarcón Quiñonez, B. A., & Romero Montenegro, D. M. (2021). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para una empresa productora y comercializadora de harina y aceite de pescado ubicada en la ciudad de Santa Elena* [Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20080>
- Alvarado, A. I. (2022). *Diseño e implementación de un plan de mantenimiento para el área de producción de la comercializadora Gómez y Gómez. SAS* [Universidad Francisco de Paula Santander]. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/7178>
- Arbildo López, A. (2011). *El control de procesos industriales y su influencia en el mantenimiento.* Ingeniería Industrial, (29), 35-49. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428495003>
- Arroyo Vaca, C. S., & Obando Quito, R. F. (2022). Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos. *E-IDEA Journal of Engineering Science*, 4(10), 59-69. <https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id240>

- Banco Central de Costa Rica. (2025). *Curva de rendimiento soberana*. <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/cuadros/frmvercatcuadro.aspx?idioma=1&co dcuadro=%202786#:~:text=5%2C911%205%2C987%205%2C928%205%2C940>
- Baquerizo Contreras, A. M., y Caro Gonzales, E. A. (2022). *Implementación del plan de mantenimiento para el aumento de la disponibilidad de las máquinas en la empresa Manufacturas Titanio SAC en el año 2021*. [Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/31140>
- Calderón Blanco, J. D. (2020). *Gestión de mantenimiento preventivo como herramienta para la optimización de procesos en la industria*. [Universidad de Pamplona]. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5679>
- Calvo Arce, M. A. (2015). *Revisar el programa de mantenimiento preventivo para encontrar oportunidades de mejora e incorporación de las bases del mantenimiento autónomo como introducción al TPM*. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/6117>
- Canales Mora, C. F. (2014). *Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para el departamento de patio de caña*. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/5823>
- Ccoyo Castillo, C. J. (2021). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para las máquinas de la empresa Inversiones Millma Perú SAC*. [Universidad Tecnológica de Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/4130>

- Chacón León, H. A. (2020). *Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad de los equipos de chancado secundario en una empresa minera*. [Universidad Peruana de Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/1789>
- Correa Camacho, C. A., & Seminario Ríos, G. M. (2023). *Mantenimiento preventivo y su impacto en la disponibilidad de maquinaria del molino San Francisco S.A.C, ciudad De Dios, 2023*. [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/136171>
- Cortés Cascante, M. J. (2016). *Propuesta de departamento de mantenimiento para una cooperativa del sector agroindustrial*. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/6585>
- Crespo del Castillo, A., Marcos, J. A., & Kumar Parlikad, A. (2023). Dynamic fleet maintenance management model applied to rolling stock. *Reliability Engineering & System Safety*, 240, 109607. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109607>
- Delgado Porras, G. (2004). *Programa de mantenimiento preventivo; rediseño de la red de aire comprimido de la empresa nueces industriales sociedad anónima*. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/423>
- Duffuaa, S. O., Raouf, A., & Campbell, J. D. (2002). *Sistemas de mantenimiento: planeación y control*. Limusa Wiley.
- Espín Beltrán, C. X., & Crisanto, N. J. (2024). *Optimización de Tableros de Estopa de Coco para Aplicaciones Industriales: Evaluación de Propiedades Físicas y Cumplimiento de Normas*. *Arandu UTIC*, 11(2), 795–820. <https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.311>
- Fernández Granda, A. G. (2017). *Diseño de un Modelo de Gestión de Mantenimiento para el Beneficio de Café del Río Tarrazú, propiedad de Cafetalera Tierras Ticas S. A.* [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/9635>

- Godínez Benavides, J. (2015). *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en Rcm para los equipos de bombeo de Off Site*. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/6120>
- Herrera Cruz, H. M., López, L. E. & Jarquín, J. A. (2022) *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento industrial para mejorar la eficiencia de los molinos del área de elaboración de compañía cervecera de Nicaragua durante el período febrero - mayo del año 2022*. [Universidad de Ciencias Comerciales, Sede Managua]. <http://repositorio.ucc.edu.ni/id/eprint/1262>
- Marín Hernández, J. (2020). *Sistema de monitoreo y alerta de modos de fallas basado en el pronóstico y evaluación de la salud de los sistemas de acondicionamiento del Laboratorio de Biotecnología del Tecnológico de Costa Rica sede Central*. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/12313>
- Medina Villegas, A. A. (2021). *Diseño de la estrategia de mantenimiento basado en el riesgo para incrementar los indicadores de mantenimiento de la Asociación Textil AETI de la ciudad de Ilo* [Universidad José Carlos Mariátegui]. <https://hdl.handle.net/20.500.12819/1008>
- Mena Wegener, J. P. (2018). *Diseño de un Modelo de Gestión de Mantenimiento para la empresa Lanco & Harris Manufacturing*. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/10456>
- Muñoz Cevallos, J. L., & Cantos Macías, M. (2021). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos en industria de conservas de atún*. *Científica*, 25(2), 1-12. <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v25n2a05>

- Olarte, C.W., Botero, A. M. & Cañon A. B. (2010). *Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción*. Scientia et Technica, XVI (44), 354-356.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917316066>
- Pérez Rondón, F. A. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*. Ediciones USTA.
- Piedra Santamaría, C. (2022). *Historia del mantenimiento* [Diapositivas]. Administración del Mantenimiento I. Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Pillado Portillo, M., Castillo Pérez, V. H., & de la Riva Rodríguez, J. (2022). *Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas*. RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo, 12(24). <https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1218>
- Piscocya Santamaria, E. R. (2024). *Gestión oportuna de un programa de mantenimiento preventivo para incrementar la producción de arroz en la empresa grupo molicentro s.a.c.* [Universidad Pedro Ruíz Gallo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/13978>
- Rubio Torres, S. (2021). *Desarrollo de un plan de gestión del mantenimiento para la empresa del maíz S.A de S.V.* [Universidad Don Bosco]. <http://hdl.handle.net/11715/2488>
- Ruiz Marcelo, F. A. (2024). *Mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de maquinaria en una empresa molinera de arroz, Chiclayo - 2024* [Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/13075>
- Simisterra Quiñonez, É. P., Rosa Monserrate, R. A., & Suárez López, S. C. (2018). *La viabilidad de un proyecto, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR)*. Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación, 2(17), 9-15.

- Solano Álvarez, A. (2020). *Diseño del modelo de gestión de mantenimiento para los equipos mineros de la Mina La Chilena en Holcim Costa Rica*. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/12299>
- Solano Cervantes, Erik. (2017). *Actualización de la gestión de mantenimiento para el cumplimiento de la norma ISO 9001*. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/7367>
- Tello Vela, C., Janeth, Yupanqui Vázquez, L. J. & Miñan Olivos, G. S. (2024). *Propuesta de mantenimiento preventivo para la reducción de costos en la línea de producción de una empresa panificadora, San Martín - 2023*. RISTI: Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, E69, 365-378. https://inventio.up.edu.mx/permalink/52UNIPAN_INST/22e6mi/cdi_proquest_journals_3085129515
- Timoteo Lluen, D. R. (2022). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo en la empresa molinera para reducir pérdidas* [Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/4970>
- Torres Artavia, E. A. (2018). *Diseño de un modelo de gestión de Mantenimiento para una central hidroeléctrica de 18MW*. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/10466>
- Villegas Méndez, L. A. (2016). *Propuesta de Modelo de Gestión de Mantenimiento para el Área Lavandería Central de la Caja Costarricense del Seguro Social*. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/6849>

ANEXOS

Anexo 1. Respuestas de la evaluación de la Norma COVENIN

Rubro	Total	Ing. de Proyectos	Jefe de Mnto	Técnico
AREA I: ORGANIZACIÓN				
I.1 Funciones y Responsabilidades. Principios				
La Organización posee un organigrama general y por departamentos. Se tienen definidas por escrito las descripciones de las diferentes funciones con su correspondiente asignación de responsabilidades para todas las unidades estructurales de la organización (guardando la relación con su tamaño y complejidad en producción).	60	15	60	60
I.2 Autoridad y Autonomía				
Las personas asignadas al desarrollo y cumplimiento de las diferentes funciones cuentan con el apoyo necesario de la dirección de la organización, y tienen la suficiente autoridad y autonomía para el cumplimiento de las funciones y responsabilidades establecidas.	40	40	40	40
I.3 Sistema de Información				
La Organización cuenta con una estructura técnica administrativa para la recolección, depuración, almacenamiento, procesamiento y distribución de la información que el sistema productivo requiere.	50	0	50	50

AREA II: ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO				
II.1 Funciones y Responsabilidades.				
La función mantenimiento, está bien definida y ubicada dentro de la organización y posee un organigrama para este departamento. Se tienen por escrito las diferentes funciones y responsabilidades para los diferentes componentes dentro de la organización de mantenimiento. Los recursos asignados son adecuados, a fin de que la función pueda cumplir con los objetivos planteados.	80	0	80	80
II.2 Autoridad y Autonomía				
Las personas asignadas para el cumplimiento de las funciones y responsabilidades cuentan con el apoyo de la gerencia y poseen la suficiente autoridad y autonomía para el desarrollo y cumplimiento de las funciones y responsabilidades establecidas.	50	50	50	50

II.3 Sistema de Información				
La Organización de mantenimiento posee un sistema que le permite manejar óptimamente toda la información referente a mantenimiento (registro de fallas, programación de mantenimiento, estadísticas, costos, información sobre equipos, u otra).	70	70	5	70

AREA III: PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO				
III.1 Objetivos y Metas				
Dentro de La Organización de mantenimiento la función de planificación tiene establecidos los objetivos y metas en cuanto a las necesidades de los objetos de mantenimiento, y el tiempo de realización de acciones de mantenimiento para garantizar la disponibilidad de los sistemas, todo esto incluido en forma clara y detallada en un plan de acción.	100	0	70	70
III.2 Políticas para la planificación				
La gerencia de mantenimiento ha establecido una política general que involucre su campo de acción, su justificación, los medios y objetivos que persigue. Se tiene una planificación para la ejecución de cada una de las acciones de mantenimiento utilizando los recursos disponibles.	80	0	15	70
III.3 Control y Evaluación				
La Organización cuenta con un sistema de señalización o codificación lógica y secuencial que permite registrar información del proceso o de cada línea, máquina o equipo en el sistema total. Se tiene elaborado un inventario técnico de cada sistema: su ubicación, descripción y datos de mantenimiento necesario para la elaboración de los planes de mantenimiento.	70	0	10	10
AREA IV: MANTENIMIENTO RUTINARIO				
IV.1 Planificación				
La Organización de mantenimiento tiene preestablecidas las actividades diarias y hasta semanales que se van a realizar a los objetos de mantenimiento, asignado los ejecutores responsables para llevar a cabo la acción de mantenimiento. La Organización de mantenimiento cuenta con una infraestructura y procedimientos para que las acciones de mantenimiento rutinario se ejecuten en forma organizada. La Organización de mantenimiento tiene un programa de mantenimiento rutinario, así como también un stock de materiales y herramientas de mayor uso para la ejecución de este tipo de mantenimiento.	100	0	100	100

IV.2 Programación e Implantación				
Las acciones de mantenimiento rutinario están programadas de manera que el tiempo de ejecución no interrumpa el proceso productivo, la frecuencia de ejecución de las actividades son menores o iguales a una semana. La implantación de las actividades de mantenimiento rutinario lleva consigo una supervisión que permita controlar la ejecución de dichas actividades.	80	20	22	80
IV.3 Control y Evaluación				
El departamento de mantenimiento dispone de mecanismos que permitan llevar registros de las fallas, causas, tiempos de parada, materiales y herramientas utilizadas. Se lleva un control del mantenimiento de los diferentes objetos. El departamento dispone de medidas necesarias para verificar que se cumplan las acciones de mantenimiento rutinario programadas. Se realizan evaluaciones periódicas de los resultados de la aplicación del mantenimiento rutinario.	70	0	0	0

AREA V: MANTENIMIENTO PROGRAMADO (PLANIFICACIÓN)				
V.1 Planificación				
La Organización de mantenimiento cuenta con una infraestructura y procedimiento para que las acciones de mantenimiento programado se lleven en una forma organizada. La Organización de mantenimiento tiene un programa de mantenimiento programado en el cual se especifican las acciones con frecuencia desde quincenal y hasta anuales a ser ejecutadas a los objetos de mantenimiento. La Organización de mantenimiento cuenta con estudios previos para determinar las cargas de trabajo por medio de las instrucciones de mantenimiento recomendadas por los fabricantes, constructores, usuarios, experiencias conocidas, para obtener ciclos de revisión de los elementos más importantes.	100	100	20	100
V.2 Programación e implantación				
La organización tiene establecidas instrucciones detalladas para revisar cada elemento de los objetos sujetos a acciones de mantenimiento, con una frecuencia establecida para dichas revisiones, distribuidas en un calendario anual. La programación de actividades posee la elasticidad necesaria para llevar a cabo las acciones en el momento conveniente sin interferir con las actividades de producción y disponer del tiempo suficiente para los ajustes que requiere la programación.	80	80	0	80

V.3 Control y evaluación				
La Organización dispone de mecanismos eficientes para llevar a cabo el control y la evaluación de las actividades de mantenimiento enmarcadas en la programación.	70	0	13	5
AREA VI: MANTENIMIENTO CIRCUNSTANCIAL				
VI.1 Planificación				
La ejecución de actividades de objetos de mantenimiento que se utilizan en forma circunstancial o alterna está dentro de los planes de la organización de mantenimiento y la ejecución de estas actividades está en coordinación con el departamento de producción y otros entes de la organización	100	100	100	100
VI.2 Programación e implantación				
Dentro de la programación de las actividades de mantenimiento se tiene claramente definido y diferenciado el mantenimiento circunstancial. Cada una de las actividades a ejecutarse posee la debida y correspondiente prioridad, frecuencia y tiempo de ejecución. Las actividades de mantenimiento circunstancial están programadas en forma racional, con cierta elasticidad para atacar fallas. Se tienen previstos los sistemas que sustituirán a los equipos desincorporados por defecto de los mimos.	80	80	80	80
VI.3 Control y evaluación				
La empresa dispone de medios efectivos para llevar a cabo el control de ejecución de las actividades de mantenimiento circunstancial en el momento establecido. Se llevan registros y estos son tomados en cuenta para determinar la incidencia del mantenimiento circunstancial en el sistema, además se evalúa continuamente para realizar las mejoras pertinentes.	70	0	15	15

AREA VII: MANTENIMIENTO CORRECTIVO				
VII.1 Planificación				
La organización cuenta con una infraestructura y procedimiento para que las acciones de mantenimiento correctivo se lleven a una forma planificada. El registro de información de fallas permite una clasificación y estudio que facilite su corrección.	100	0	100	100

VII.2. Programación e Implantación				
Las actividades de mantenimiento correctivo se realizan siguiendo una secuencia programada, de manera que cuando ocurra una falla no se pierda tiempo ni se pare la producción. La Organización de mantenimiento cuenta con programas, planes, recursos y personal para ejecutar mantenimiento correctivo de la forma más eficiente y eficaz posible. La implantación de los programas de mantenimiento correctivo se realiza en forma progresiva.	80	80	15	15
VII.3 Control y Evaluación				
La Organización de mantenimiento posee un sistema de control para conocer cómo se ejecuta el mantenimiento correctivo. Posee todos los formatos planillas o fichas de control de materiales, repuestos y horas - hombre utilizadas en este tipo de mantenimiento. Se evalúa la eficiencia y cumplimiento de los programas establecidos con la finalidad de introducir los correctivos necesarios.	70	10	0	0

AREA VIII: MANTENIMIENTO PREVENTIVO				
VIII.1 Determinación de Parámetros				
La organización tiene establecido por objetivo lograr efectividad del sistema asegurando la disponibilidad de objetos de mantenimiento mediante el estudio de confiabilidad y mantenibilidad. La organización dispone de todos los recursos para determinar la frecuencia de inspecciones, revisiones y sustituciones de piezas aplicando incluso métodos estadísticos, mediante la determinación de los tiempos entre fallas y de los tiempos de paradas.	80	0	0	0
VIII.2. Planificación				
La organización dispone de un estudio previo que le permita conocer los objetos que requieren mantenimiento preventivo. Se cuenta con una infraestructura de apoyo para realizar mantenimiento preventivo.	40	0	0	0
VIII.3 Programación e Implantación				
Las actividades de mantenimiento preventivo están programadas en forma racional, de manera que el sistema posea la elasticidad necesaria para llevar a cabo las acciones en el momento conveniente, no interferir con las actividades de producción y disponer del tiempo suficiente para los ajustes que requiera la programación. La implantación de los programas de mantenimiento preventivo se realiza en forma progresiva.	70	0	23	70

VIII.4 Control y Evaluación				
En la organización existen recursos necesarios para el control de la ejecución de las acciones de mantenimiento preventivo. Se dispone de una evaluación de las condiciones reales del funcionamiento y de las necesidades de mantenimiento preventivo.	60	0	0	60
AREA IX. MANTENIMIENTO POR AVERÍA				
IX.1 Atención a las Fallas				
La organización está en capacidad para atender de una forma rápida y efectiva cualquier falla que se presente. La organización mantiene en servicio el sistema, logrando funcionamiento a corto plazo, minimizando los tiempos de parada, utilizando para ellos planillas de reporte de fallas, ordenes de trabajo, salida de materiales, órdenes de compra y requisición de trabajo, que faciliten la atención oportuna al objeto averiado.	100	100	100	100
IX.2 Supervisión y Ejecución				
Los ajustes, arreglos de defectos y atención a reparaciones urgentes se hacen inmediatamente después de que ocurre la falla. La supervisión de las actividades se realiza frecuentemente por personal con experiencia en el arreglo de sistemas, inmediatamente después de la aparición de la falla, en el período de prueba. Se cuenta con los diferentes recursos para la atención de las averías.	80	80	80	80
IX.3 Información sobre las averías				
La Organización de mantenimiento cuenta con el personal adecuado para la recolección, depuración, almacenamiento, procesamiento y distribución de la información que se derive de las averías, así como, analizar las causas que las originaron con el propósito de aplicar mantenimiento preventivo a mediano plazo o eliminar la falla mediante mantenimiento correctivo.	70	0	0	0
AREA X: PERSONAL DE MANTENIMIENTO				
X.1 Cuantificación de las necesidades del personal				
La organización, a través de la programación de las actividades de mantenimiento, determina el número óptimo de las personas que se requieren en La Organización de mantenimiento para el cumplimiento de los objetivos propuestos.	70	0	0	0
X.2 Selección y Formación				
La organización selecciona su personal atendiendo a la descripción escrita de los puestos de trabajo (experiencia mínima, educación, habilidades, responsabilidades u otra).	80	0	5	5

X.3 Motivación e Incentivos				
La dirección de la empresa tiene conocimiento de la importancia del mantenimiento y su influencia sobre la calidad y la producción, emprendiendo acciones y campañas para transmitir esta importancia al personal. Existen mecanismos de incentivos para mantener el interés y elevar el nivel de responsabilidad del personal en el desarrollo de sus funciones. La Organización de mantenimiento posee un sistema evaluación periódica del trabajador, para fines de ascenso o aumentos salariales.	50	0	0	0

AREA XI: APOYO LOGISTICO				
XI.1 Apoyo Administrativo				
La Organización de mantenimiento cuenta con el apoyo de la administración de KIMBERLY CLARK; en cuanto a recursos humanos, financieros y materiales. Los recursos son suficientes para que se cumplan los objetivos trazados por la organización.	40	0	40	40
XI.2 Apoyo Gerencial				
La gerencia posee información necesaria sobre la situación y el desarrollo de los planes de mantenimiento formulados por el ente de mantenimiento, permitiendo así asesorar a la misma, en cualquier situación que atañe a sus operaciones. La gerencia le da a mantenimiento el mismo nivel de las unidades principales en el organigrama funcional de la empresa.	40	40	40	40
XI.3 Apoyo General				
La Organización de mantenimiento cuenta con el apoyo de la organización total, y trabaja en coordinación con cada uno de los entes que la conforman.	20	5	20	20

AREA XII: RECURSOS				
XII.1 Equipos				
La Organización de mantenimiento posee los equipos adecuados para llevar a cabo todas las acciones de mantenimiento, para facilitar la operabilidad de los sistemas. Para la selección y adquisición de equipos, se tienen en cuenta las diferentes alternativas tecnológicas, para lo cual se cuenta con las suficientes casas fabricantes y proveedores. Se dispone de sitios adecuados para el almacenamiento de equipos permitiendo el control de su uso.	30	0	16	16

XII.2 Herramientas				
La Organización de mantenimiento cuenta con las herramientas necesarias, en un sitio de fácil alcance, logrando así que el ente de mantenimiento opere satisfactoriamente reduciendo el tiempo por espera de herramientas. Se dispone de sitios adecuados para el almacenamiento de las herramientas permitiendo el control de su uso.	30	6	5	5
XII.3 Instrumentos				
La Organización de mantenimiento posee los instrumentos adecuados para llevar a cabo las acciones de mantenimiento. Para la selección de dichos instrumentos se toma en cuenta las diferentes casas fabricantes y proveedores. Se dispone de sitios adecuados para el almacenamiento de instrumentos permitiendo el control de su uso.	30	30	8	8
XII.4 Materiales				
La Organización de mantenimiento cuenta con un stock de materiales de buena calidad y con facilidad para su obtención y así evitar prolongar el tiempo de espera por materiales, existiendo seguridad de que el sistema opere en forma eficiente. Se posee una buena clasificación de materiales para su fácil ubicación y manejo. Se conocen los diferentes proveedores para cada material, así como también los plazos de entrega. Se cuenta con políticas de inventario para los materiales utilizados en mantenimiento.	30	30	11	11
XII.5 Repuestos				
La Organización de mantenimiento cuenta con un stock de repuestos, de buena calidad y con facilidad para su obtención, y así evitar prolongar el tiempo de espera por repuestos, existiendo seguridad de que el sistema opere en forma eficiente. Los repuestos se encuentran identificados en el almacén para su fácil ubicación y manejo. Se conocen los diferentes proveedores para cada repuesto, así como también los plazos de entrega. Se cuenta con políticas de inventario para los repuestos utilizados en mantenimiento.	30	30	0	0

Anexo 2. Codificación de equipos

Codificación del área de secado

Código	Equipo	# de activo
PAL-SE-SK	Secador Kaeser	-

Codificación del área de empaque

Código	Equipo	# de activo
PAL-EM-CC	Cabezal Costura	000639
PAL-EM-DM01	Detector de Metales PCC 1	000097
PAL-EM-DM02	Detector de Metales PCC 2	000098
PAL-EM-DM03	Detector de Metales PCC 3	000099
PAL-EM-EF	Enfardadora	000639
PAL-EM-EMP01	Empacadora SELGRON 2	000091
PAL-EM-EMP02	Empacadora INDUMAK 3	000093
PAL-EM-EMP03	Empacadora INDUMAK 4	000638
PAL-EM-ES	Ensacadora PAEM074	000103
PAL-EM-TR01	Transportador de cadena enteros y quebrados (CC11)	000260
PAL-EM-TR02	Transportador de grano para la ensacadora	000261
PAL-EM-VO	Volumétrica	000088

Codificación del área exterior


Código	Equipo	# de activo
PAL-EX-CB	Compresor Blower	61-334319-00
PAL-EX-COM01	Compresor 2004	000241
PAL-EX-COM02	Compresor 2022	000240
PAL-EX-TSN	Tanques para aire comprimido y sistema neumático	-


Anexo 3. Codificación del molino



Código	Equipo	# de activo
PAL-MO-AAL	Abanico Aspiración Limpia	000040
PAL-MO-AAS	Abanico Sistema Aspiración Sucia	000629
PAL-MO-BE	Báscula de Entrada	000035
PAL-MO-BEN	Báscula de Enteros	000060
PAL-MO-BL01	Blanqueador Primer Paso	000085
PAL-MO-BL02	Blanqueador Segundo Paso	000049
PAL-MO-BL03	Blanqueador Tercer Paso Papuo2A	000049
PAL-MO-BQ	Báscula de Quebrados	000061
PAL-MO-CEQ	Clasificador Entero / Quebrado	000052
PAL-MO-CLP	Clasificador Puntilla	000051
PAL-MO-CO01	Clasificadora Óptica BUHLER	000057
PAL-MO-CO02	Clasificadora Óptica SATAKE	000056
PAL-MO-CT	Clasificadora por Tamaño	000053
PAL-MO-CT	Clasificadora de Tambor PAPI08A	000704
PAL-MO-DE01	Descascadora PAPIO 3A	000042
PAL-MO-DE02	Descascadora PAPIO 4A	000043
PAL-MO-DE03	Descascadora COYO	000041
PAL-MO-DV	Dosificador Vitaminado	000637
PAL-MO-EAL	Esclusa Aspiración Limpia	000636
PAL-MO-EAP	Esclusa de Aire Pre limpia	000038
PAL-MO-EAS	Esclusa Aspiradora Sucia	000635
PAL-MO-EC	Esclusa Cascarilla	-
PAL-MO-EI	Elevador Receptor de Impurezas	-
PAL-MO-EL01	Elevador 1 PAPR05A	-
PAL-MO-EL02	Elevador 2 PAPI01A	-
PAL-MO-EL03	Elevador 3 PAPI06A	-
PAL-MO-EL04	Elevador 4 PAPI07A	-
PAL-MO-EL05	Elevador 4.5	-
PAL-MO-EL06	Elevador 5 PAPU01A	-
PAL-MO-EL07	Elevador 6.5	-
PAL-MO-EL08	Elevador 6 PAPU04A	-
PAL-MO-EL09	Elevador 7 PAACL03A	-
PAL-MO-EL10	Elevador 8 PAACL05A	000507
PAL-MO-EL11	Elevador 9 PAACL06A	-
PAL-MO-EL12	Elevador 10 PAACL07A	000507
PAL-MO-EL13	Elevador 11 PAACL09A	-
PAL-MO-EL14	Elevador 11.5	-
PAL-MO-EL15	Elevador 12 PAACL09A	-

PAL-MO-EL16	Elevador 13 PAEM01A	-
PAL-MO-EL17	Elevador 14	-
PAL-MO-EL18	Elevador Segundo Pase	-
PAL-MO-EL19	Elevador Tercer Pase	-
PAL-MO-ER01	Elevador Rechazo A	-
PAL-MO-FBE01	Flow Balance Tolva Enteros 1 PAPRT08A	000063
PAL-MO-FBE02	Flow Balance Tolva Enteros 2 PAPRT09A	000063
PAL-MO-FBE03	Flow Balance Tolva Enteros 3 PAPRT10A	000063
PAL-MO-FBE04	Flow Balance Tolva Enteros 4 PAPRT11A	000063
PAL-MO-FBQ01	Flow Balance Tolva Quebrados 1 PAPRT12A	000063
PAL-MO-FBQ02	Flow Balance Tolva Quebrados 2 PAPRT13A	000063
PAL-MO-LP	Limpiador de Palillos	000039
PAL-MO-MP01	Mesa Paddy	000044
PAL-MO-MP02	Mesa Paddy COYO	000045
PAL-MO-PS	Pre-limpiadora en Seco	000036
PAL-MO-PU	Pulidora Paso 3 PAPU04A	000050
PAL-MO-R99	Recuperador del 99%	-
PAL-MO-RE	Recuperador de Enteros en quebrado	-
PAL-MO-SAL	Sistema de Aspiración Limpia PAFIO5A	-
PAL-MO-SAS	Sistema de Aspiración Sucia PAFIO2A	-
PAL-MO-SP	Separador de partículas de baja densidad	000714
PAL-MO-ST	Separador de Tambor	000047
PAL-MO-TB	Transportador de banda PAPRT14A	000062
PAL-MO-TC01	Transportador de Caja 5 A	-
PAL-MO-TC02	Transportador de Caja 5 B	-
PAL-MO-TDE	Transporte de Descascaradora	000040
PAL-MO-TEQ	Transportador de Enteros / Quebrados	000055
PAL-MO-TIN	Transportador de Inyección CC20	-
PAL-MO-TMG	Transportador de Medio Grano	-
PAL-MO-TR01	Transportador de cascarilla (SC01)	000682
PAL-MO-TR02	Transportador de cascarilla (SC03)	-
PAL-MO-TR03	Transportador de arroz integral	-
PAL-MO-TRG99	Transportador grano de 99%	000620
PAL-MO-TRMP	Transportador de Rebalse de Mesa Paddy	-
PAL-MO-TRPU01	Transportador de Puntilla A	-
PAL-MO-TRPU02	Transportador de Puntilla B	-
PAL-MO-TRR99	Transportador Recuperador del 99%	-
PAL-MO-TRRE01	Transportador de Rechazo A	-
PAL-MO-TRRE02	Transportador de Rechazo B	-
PAL-MO-TSE	Transportador de Semolina A SC02 -B	-
PAL-MO-ZA	Zaranda	-

PAL-MO-TMG	Transportador de Medio Grano	0	0	0	0	0	0	1	0	1	No Critico
PAL-MO-TR01	Transportador de cascarilla (SC01)	0	0	0	0	0	0	1	0	1	No Critico
PAL-MO-TR02	Transportador de cascarilla (SC03)	0	0	0	0	0	0	1	0	1	No Critico
PAL-MO-TR03	Transportador de arroz integral	0	0	0	0	0	0	1	0	1	No Critico
PAL-MO-TRG99	Transportador grano de 99%	0	0	0	0	0	0	1	0	1	No Critico
PAL-MO-TRMP	Transportador de Rebalse de Mesa Paddy	0	0	3	3	0	0	1	1	8	No Critico
PAL-MO-TRPU01	Transportador de Puntilla A	0	0	0	0	0	0	1	0	1	No Critico
PAL-MO-TRPU02	Transportador de Puntilla B	0	0	0	0	0	0	1	0	1	No Critico
PAL-MO-TRR99	Transportador Recuperador del 99%	0	0	0	0	0	0	1	0	1	No Critico
PAL-MO-TRRE01	Transportador de Rechazo A	0	0	0	0	0	0	1	0	1	No Critico
PAL-MO-TRRE02	Transportador de Rechazo B	0	0	0	0	0	0	1	0	1	No Critico
PAL-MO-TSE	Transportador de Semolina A SC02 -B	0	0	1	1	0	0	1	1	4	No Critico
PAL-MO-ZA	Zaranda	0	0	0	0	0	0	1	0	1	No Critico
EXTERIOR		A	B	C	D	E	F	G	H		
PAL-EX-CB	Compresor Blower	3	0	3	3	0	3	3	2	17	Critico
PAL-EX-COM01	Compresor 2004 KEISER	1	0	3	3	1	0	3	1	12	Critico
PAL-EX-COM02	Compresor 2022 KEISER	1	0	3	3	1	0	3	1	12	Critico
PAL-EX-TSN	Tanque Sistema Neumático	2	0	2	2	0	0	1	0	7	No Critico


Ficha Técnica de Equipo					
Empresa: CACSA	Fecha de elaboración: 18/09/2024				
Macroproceso: Producción de arroz	Fecha de actualización:				
Proceso: Blanquear arroz	Encargado: Elvís Brenes				
Características del equipo					
Nombre:	Blanqueador 2 paso				
Modelo:	BSPB				
Marca:	BUHLER				
Tipo:	Eléctrica				
Código:	000049				
Ubicación:	Piso 2				
Criticidad:	-				
Año de fabricación:	2011				
Año de puesta en marcha:	2012				
Tipo de mantenimiento:	Correctivo				
					
Subsistema Eléctrico					
Cantidad de motores :	1	Capacidad:	3,5 - 8 t/h		
Potencia (kW):	52	Voltaje (V):	460		
Factor de servicio:	-	Amperaje (A):	40		
Frecuencia de operación (Hz):	60	RPM:	900		
Fases:	Trifásico	Reductor:	No existente		
Conexión:	Δ/Y				
Elementos					
Nombre:	Cantidad:	N° de pieza	Vida útil	Proveedor:	
Polea	1	UNN-62190-	5 años	BUHLER	
Polea para correa	1	UNN-62191-407	5 años	BUHLER	
Faja	1	UNN-64501-175	6 meses	BUHLER	
Faja	1	5VX930	6 meses	GOODYEAR	
Rodamiento de rodillos a rótula	1	22312 C	2 años	ROLINSA	
Rodamiento de bolas ranurado	1	6216 Z/C3	2 años	ROLINSA	
Taperlock	2	N/A	8 años	ROLINSA	
Rotor equilibrado	1	BSPB-81042-810	5 años	BUHLER	
Indicador de posición	1	UVN-30006-135	5 años	BUHLER	
Chapa perforada	3	BSPB-20048010	1 año	BUHLER	
Rosca de alimentación	1	BSPB-10182001	5 años	BUHLER	
Muela arriba c30	1	BSPB-30061-010	1 año	BUHLER	
Muela centro y abajo c30	5	BSPB-30061010	1 año	BUHLER	
Barra freno vertical 3 mm	6	BSPC-84019-82	4 meses	BUHLER	
Observaciones					
El equipo ha sido mejorado/adaptado?				Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>



Ficha Técnica de Equipo				
Empresa: CACSA	Fecha de elaboración: 01/10/2024			
Macroproceso: Producción de arroz	Fecha de actualización: 01/12/2024			
Proceso: Blanquear arroz	Encargado: Elvis Brenes			
Características del equipo				
Nombre:	Blanqueador Papu2A			
Modelo:	BSPB			
Marca:	BUHLER			
Tipo:	Eléctrica			
Código:	000049			
Ubicación:	Piso 3			
Criticidad:	-			
Año de fabricación:	2011			
Año de puesta en marcha:	2012			
				
Subsistema Eléctrico				
Cantidad de motores :	1	Capacidad:	3,5 - 8 t/h	
Potencia (kW):	52	Voltaje (V):	460	
Factor de servicio:	-	Amperaje (A):	40	
Frecuencia de operación (Hz):	60	RPM:	900	
Fases:	Trifásico	Reductor:	No existente	
Conexión:	Δ/Y			
Elementos				
Nombre:	Cantidad:	N° de pieza	Vida útil	Proveedor:
Polea	1	UNN-62190-	5 años	BUHLER
Polea para correa	1	UNN-62191-407	5 años	BUHLER
Faja	1	UNN-64501-175	6 meses	BUHLER
Faja	1	5VX930	6 meses	GOODYEAR
Rodamiento de rodillos a rótula	1	22312 C	2 años	ROLINSA
Rodamiento de bolas ranurado	1	6216 Z/C3	2 años	ROLINSA
Taperlock	2	N/A	8 años	ROLINSA
Rotor equilibrado	1	BSPB-81042-810	5 años	BUHLER
Indicador de posición	1	UVN-30006-135	5 años	BUHLER
Chapa perforada	3	BSPB-20048010	1 año	BUHLER
Rosca de alimentación	1	BSPB-10182001	5 años	BUHLER
Muela arriba c30	1	BSPB-30061-010	1 año	BUHLER
Muela centro y abajo c30	5	BSPB-30061010	1 año	BUHLER
Barra freno vertical 3 mm	6	BSPC-84019-82	4 meses	BUHLER
Observaciones				
<p>¿El equipo ha sido mejorado/adaptado? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>				


Ficha Técnica de Equipo				
Empresa: CACSA	Fecha de elaboración: 01/10/2024			
Macroproceso: Producción de arroz	Fecha de actualización: 01/12/2024			
Proceso: Clasificar enteros y quebrados	Encargado: Elvis Brenes			
Características del equipo				
Nombre:	Clasificador Enteros y Quebrados			
Modelo:	-			
Marca:	BUHLER			
Tipo:	Eléctrico			
Código:	000052			
Ubicación:	Tercer Piso			
Criticidad:	-			
Año de fabricación:	2011			
Año de puesta en marcha:	2012			
Subsistema Eléctrico				
Cantidad de motores :	2	Capacidad (t/h):	8	
Potencia (kW):	2.23	Voltaje (V):	460	
Factor de servicio:	-	Amperaje (A):	6.3	
Frecuencia de operación (hz):	60	RPM:	46	
Fases:	Trifásico	Reductor:	2 Existentes	
Conexión:	Y			
Elementos				
Nombre:	Cantidad:	N° Parte:	Vida Útil:	Proveedor:
Cilindros alveolados	2	5 mm	15 años	BUHLER
Cajas reductoras	2	-	10 años	BUHLER
Eje principal	2	-	15 años	BUHLER
Subsistema Mecánico				
Relación de reductor:	-	Cantidad de aceite:	1.5 litros	
Tipo de Aceite:	Mineral 600xp 220	Frecuencia de cambio:	Anual	
Observaciones				
¿El equipo ha sido mejorado/adaptado?			Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	



Ficha Técnica de Equipo				
Empresa: CACSA	Fecha de elaboración: 17/09/2024			
Macroproceso: Producción de arroz	Fecha de actualización:			
Proceso: Separar materiales	Encargado: Elvis Brenes			
Características del equipo				
Nombre:	Clasificador de puntilla (PACL01A)			
Modelo:	MRTC-100/200			
Marca:	BUHLER			
Tipo:	Eléctrico			
Código:	000051			
Ubicación:	Piso 2			
Criticidad:	-			
Año de fabricación:	2011			
Año de puesta en marcha:	2012			
Tipo de mantenimiento:	Correctivo			
Subsistema Eléctrico				
Cantidad de motores :	2	Capacidad:	15-20 t/h	
Potencia (kW):	0,65	Voltaje (V):	460	
Factor de servicio:	N/A	Amperaje (A):	4	
Frecuencia de operación (Hz):	60	RPM:	870	
Fases:	Trifásico	Reductor:	No existente	
Conexión:	Y			
Elementos				
Nombre:	Cantidad:	N° Pieza	Vida útil	Proveedor:
Mesh 1 m x 1m x 1,9 mm	4	N/A	5 años	BUHLER
Motores vibratorios	2	UXM-46168-108	8 años	BUHLER
Tamiz de madera 100/200 compuerta	2	MTRB-81013-810	5 años	BUHLER
Tamiz completo trasero	2	MTRB-81013-820	5 años	BUHLER
Entrada completa	1	MTRB-81022-810	8 años	BUHLER
Perno de centraje	4	MTRB-50018-010	5 años	BUHLER
Tubo flexible de goma NW 120	1	MTRB-40205-010	5 años	BUHLER
Observaciones				
El equipo ha sido mejorado/adaptado?			Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>





Ficha Técnica de Equipo			 <small>DESDE 1968 NUTRIENDO A COSTA RICA</small>	
Empresa: CACSA		Fecha de elaboración: 01/10/2024		
Macroproceso: Producción de arroz		Fecha de actualización: 01/12/2024		
Proceso: Clasificar granos		Encargado: Elvis Brenes		
Características del equipo				
Nombre:	Clasificadora óptica-SER No. A909012			
Modelo:	-			
Marca:	SATAKE			
Tipo:	Electrónica-Neumática			
Código:	000056			
Ubicación:	Tercer piso			
Criticidad:	-			
Año de fabricación:	2018			
Año de puesta en marcha:	2019			
Subsistema Neumático (solo si aplica)				
Presión de trabajo actual (PSI):			90 psi	
Equipo Auxiliar:			2 compresores	
Elementos				
Nombre:	Cantidad:	N° Parte:	Vida útil:	Proveedor:
Pistón para escobilla limpiadora de crista	1	-	5 años	Equipo y componente
Filtro de aire	1	SAT-SYC-REP-0038	6 meses	Equipo y componente
Válvula eyectora	256	SAT-SYC-REP-0036	5 años	Equipo y componente
Filtro de aceite	2	SER-VAR-ENC-0002	1 año	Equipo y componente
Subsistema Electrónico				
Verificación:	Calibración de resonancia / limpieza general			
Frecuencia:	4 meses			
Elementos				
Nombre:	Cantidad:	N° Parte:	Vida útil:	Proveedor:
Tarjeta de acondicionamiento de válvulas	1	SAT-SYC-REP-0081	3 años	Equipo y componente
Lámpara fluorescente led	8	-	25000 horas	Equipo y componente
Observaciones				
<div style="text-align: center;"> ¿El equipo ha sido mejorado/adaptado? Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> </div>				

Ficha Técnica de Equipo					
Empresa: CACSA	Fecha de elaboración: 23/09/2024				
Macroproceso: Producción de arroz	Fecha de actualización:				
Proceso: Clasificar arroz	Encargado: Elvis Brenes				
Características del equipo					
Nombre:	Cilindro clasificador 99% grano entero				
Modelo:	TRIZ - 3BP				
Marca:	Zaccaria				
Tipo:	Eléctrico - mecánico				
Código:	000053				
Ubicación:	Piso 4				
Criticidad:	-				
Año de fabricación:	2019				
Año de puesta en marcha:	2019				
Tipo de mantenimiento:	Correctivo				
Subsistema Eléctrico					
Cantidad de motores :	1	Capacidad:	10 t/h		
Potencia (kW):	2,2	Voltaje (V):	460		
Factor de servicio:	-	Amperaje (A):	6,5		
Frecuencia de operación (Hz):	60	RPM:	46		
Fases:	Trifásico	Reductor:	Existente		
Conexión:	Y				
Elementos					
Nombre:	Cantidad:	N° de Pieza	Vida Útil	Proveedor:	
Lámina de 1 m x 2 m empaque de hule	1	3 mm	6 meses	DISTRIBUIDORA FAMA	
Subsistema Mecánico					
Relación de reductor:	1:38	Cantidad de aceite:	1,5 L		
Tipo de Aceite:	600 xp 220 Mineral	Frecuencia de cambio	Anual		
Observaciones					
El equipo ha sido mejorado/adaptado?		Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>		



Ficha Técnica de Equipo				
Empresa: CACSA		Fecha de elaboración: 13/02/2025		
Macroproceso: Producción de arroz		Fecha de actualización: 13/02/2025		
Proceso: Inyección de cascarilla al sistema neumático		Encargado: Elvis Brenes		
Características del equipo				
Nombre:	Esclusa para cascarilla			
Modelo:	MPSH-36/38			
Marca:	Buhler			
Tipo:	Mecánico			
Código:	-			
Ubicación:	Primer piso			
Criticidad:	Alta			
Año de fabricación:	2011			
Año de puesta en marcha:	2012			
Subsistema Eléctrico				
Cantidad de motores :	1	Capacidad (t/h):	800 kg/h	
Potencia (kW):	2 HP	Voltaje (V):	460	
Factor de servicio:	1.7-1.8	Amperaje (A):		
Frecuencia de operación (hz):	60	RPM:	-	
Fases:	Trifásico	Reductor:	Moto reductor de 2HP	
Conexión:	Y			
Elementos				
Nombre:	Cantidad:	Marca:	Modelo:	Proveedor:
Subsistema Mecánico				
Relación de reductor:	Utiliza el moto reductor	Cantidad de aceite:	400 ml	
Tipo de Aceite:	XP 220	Frecuencia de cambio:	Anual	
Subsistema Neumático (solo si aplica)				
Presión de trabajo actual (PSI):		17,11 m3/min		
Elementos				
Nombre:	Cantidad:	Marca:	Modelo:	Proveedor:
Tubo de 6 pulg, espesor de 6mm	120 m	Buhler	-	Buhler
Observaciones				
Se le han hecho dos rectificaciones, trabajo del taller de precisión.				
A				Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>



Ficha Técnica de Equipo						
Empresa: CACSA	Fecha de elaboración: 18/09/2024					
Macroproceso: Producción de arroz	Fecha de actualización:					
Proceso: Separar arroz	Encargado: Elvis Brenes					
Características del equipo						
Nombre:	Mesa paddy					
Modelo:	DRTA					
Marca:	BUHLER					
Tipo:	Eléctrico					
Código:	000044					
Ubicación:	Piso 2					
Criticidad:	-					
Año de fabricación:	2018					
Año de puesta en marcha:	2018					
Tipo de mantenimiento:	Correctivo					
Subsistema Eléctrico						
Cantidad de motores :	1	Capacidad crudo:	7 - 8 t/h			
Potencia (kW):	2,53	Capacidad integral:	5 - 7 t/h			
Factor de servicio:	N/A	Voltaje (V):	460			
Frecuencia de operación (Hz):	60	Amperaje (A):	8			
Fases:	Trifásico	RPM:	1750			
Conexión:	Y	Reductor:	No existente			
Elementos						
Nombre:	Cantidad:	N° Pieza	Vida útil	Proveedor:		
Polea	1	DRTA-13242-010	5 años	BUHLER		
Polea	1	DRTA-13241-010	5 años	BUHLER		
Polea	1	DRTA-13240-010	5 años	BUHLER		
Faja	1	UWNN-64018-999A	6 meses	BUHLER		
Faja SPA	1	UWNN-64018-999A	6 meses	BUHLER		
Cuchillas	16	DRTA11115010V/ DRTA11116010V	3 años	TECNOMÁQUINAS		
Bandejas de 7,5 mm acero inox	40	N/A	5 años	TECNOMÁQUINAS		
Observaciones						
El equipo ha sido mejorado/adaptado?			Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>		

Ficha Técnica de Equipo					
Empresa: CACSA	Fecha de elaboración: 17/09/2024				
Macroproceso: Producción de arroz	Fecha de actualización:				
Proceso: Separar materiales	Encargado: Elvis Brenes				
Características del equipo					
Nombre:	Pre limpiadora seco				
Modelo:	TQLZ180X200				
Marca:	COYO				
Tipo:	Eléctrico				
Código:	000036				
Ubicación:	Piso 2				
Criticidad:	-				
Año de fabricación:	2011				
Año de puesta en marcha:	2012				
Tipo de mantenimiento:	Correctivo				
Subsistema Eléctrico					
Cantidad de motores :	2	Capacidad:	15-20 t/h		
Potencia (kW):	0,75	Voltaje (V):	460		
Factor de servicio:	N/A	Amperaje (A):	2		
Frecuencia de operación (Hz):	60	RPM:	900		
Fases:	Trifásico	Reductor:	No existente		
Conexión:	Y				
Elementos					
Nombre:	Cantidad:	N° Pieza	Vida útil	Proveedor:	
Tamiz de 8 mm x 1,22mts x 1,50 mts	2	N/A	2 años	TECNOMÁQUINAS	
Tamiz de 1,5 mm x 1,22mts x 1,50 mts	2	N/A	2 años	TECNOMÁQUINAS	
Tamiz de 5 mm x 1,22 mts x 1,50 mts	2	N/A	2 años	TECNOMÁQUINAS	
Observaciones					
El equipo ha sido mejorado/adaptado?			Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	

Ficha Técnica de Equipo				
Empresa: CACSA		Fecha de elaboración: 01/10/2024		
Macroproceso: Producción de arroz		Fecha de actualización: 01/12/2024		
Proceso: Empaquetado de arroz		Encargado: Elvís Brenes		
Características del equipo				
Nombre:	Pulidora Paso 3 PAPU04A			
Modelo:	DRPA			
Marca:	Buhler			
Tipo:	Eléctrico			
Código:	000050			
Ubicación:	Tercer Piso			
Criticidad:	-			
Año de fabricación:	2011			
Año de puesta en marcha:	2012			
				
Subsistema Eléctrico				
Cantidad de motores :	1		Capacidad (t/h):	5
Potencia (kW):	52		Voltaje (V):	460
Factor de servicio:	-		Amperaje (A):	80
Frecuencia de operación (hz):	60		RPM:	1800
Fases:	Trifásico		Reductor:	No existente
Conexión:	Y			
Elementos				
Nombre:	Cantidad:	N° Parte:	Vida Útil:	Proveedor:
Cilindro de levas 1	1	DRPA-10149-001	5 años	BUHLER
Cilindro de levas 2	1	DRPA-10152-001	5 años	BUHLER
Polea	1	UNN-62191-742	10 años	BUHLER
Transformador de intensidad	1	UNE-12220-103	5 años	BUHLER
Chapa perforada	16	-	1 año	BUHLER
Rosca larga	1	DRPA-20005-010	5 años	BUHLER
Subsistema Neumático				
Presión de trabajo actual (PSI):			90 PSI	
Elementos				
Nombre:	Cantidad:	N° Parte:	Vida Útil:	Proveedor:
Válvula 3 vías	1	-	5 años	BUHLER
Logotipo tobera para agua	1	DRPA-95030-810	5 años	BUHLER
Tobera para líquido	1	UVS-33002-213	5 años	BUHLER
Válvula 2 vías	1	UNS-43019-001	5 años	BUHLER
Amperímetro digital	1	UVE-34520-020	3 años	BUHLER
Flujómetro	1	UNS-43019-001	3 años	BUHLER
Válvula de mariposa	1	UNS-16401-032	3 años	BUHLER
Observaciones				
<p>¿El equipo ha sido mejorado/adaptado? Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>				

Ficha Técnica de Equipo		CACSA		
Empresa: CACSA	Fecha de elaboración: 12/02/2025		CACSA	
Macroproceso: Producción de arroz	Fecha de actualización: 12/02/2025			
Proceso: Prelimpieza	Encargado: Elvís Brenes			
Características del equipo				
Nombre:	Compresor Delta Blower			
Modelo:	GM 25 S / DN 125			
Marca:	Aerzener			
Tipo:	Eléctrico			
Código:	61-334319-00			
Ubicación:	Primer piso			
Criticidad:	Crítico			
Año de fabricación:	2009			
Año de puesta en marcha:	2012			
Subsistema Eléctrico				
Cantidad de motores :	1	Capacidad (t/h):	800 kg/h	
Potencia (kW):	17	Voltaje (V):	460	
Factor de servicio:	1,87	Amperaje (A):	17	
Frecuencia de operación (hz):	60	RPM:	3540	
Fases:	Trifásico	Reductor:	No tiene	
Conexión:	Y			
Elementos				
Nombre:	Cantidad:	Marca:	Modelo:	Proveedor:
Tornillo	1	Delta Blower	GM 25 S / DN 125	Buhler
Subsistema Mecánico				
Relación de reductor:	Tornillo	Cantidad de aceite:	1,75 ltr	
Tipo de Aceite:	ISO 100	Frecuencia de cambio:	Anual	
Subsistema Neumático (solo si aplica)				
Presión de trabajo actual (PSI):		17,11 m3/ min		
Elementos				
Nombre:	Cantidad:	Marca:	Modelo:	Proveedor:
Observaciones				
El equipo ha sido modificado/adaptado? <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No				

Ficha Técnica de Equipo					
Empresa: CACSA	Fecha de elaboración: 23/09/2024				
Macroproceso: Producción de arroz	Fecha de actualización:				
Proceso: Empaquetado de arroz	Encargado: Elvís Brenes				
Características del equipo					
Nombre:	Compresor de tornillo rotatorio				
Modelo:	CSD-75				
Marca:	KAESER				
Tipo:	Eléctrico - mecánico				
Código:	000241				
Ubicación:					
Criticidad:	-				
Año de fabricación:	2004				
Año de puesta en marcha:	2004				
Tipo de mantenimiento:	-				
Subsistema Eléctrico					
Cantidad de motores :	1	Capacidad:	345 cfm		
Potencia (kW):	55	Voltaje (V):	460		
Factor de servicio:	-	Amperaje (A):	94		
Frecuencia de operación (Hz):	60	RPM:	3578		
Fases:	Trifásico	Reductor:	No existente		
Conexión:	Y	Presión de trabajo max	175 PSI		
Presión de trabajo nor:	100-110 PSI				
Elementos					
Nombre:	Cantidad:	N° de Pieza	Vida Útil	Proveedor:	
Filtro de aceite	1	25 bar	2000	KAESER	
Kit cartucho filtro de aire	1	d 420 x 135 mm	2000	KAESER	
Kit cartucho separador	1	d 220x380 mm	6000	KAESER	
Subsistema Mecánico					
Relación de reductor	N/A	Cantidad de aceite:	10 gal		
Tipo de Aceite:	Sintético S680	Frecuencia de cambio:	Cada 6000 horas		
Observaciones					
El equipo ha sido mejorado/adaptado?			Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		

Ficha Técnica de Equipo					
Empresa: CACSA	Fecha de elaboración: 23/09/2024			Macroproceso: Producción de arroz	Fecha de actualización:
Proceso: Empaquetado de arroz	Encargado: Elvís Brenes				
Características del equipo					
Nombre:	Compresor de tornillo rotatorio				
Modelo:	CSD-75				
Marca:	KAESER				
Tipo:	Eléctrico				
Código:	000240				
Ubicación:					
Criticidad:	-				
Año de fabricación:	2022 Y 2015				
Año de puesta en marcha:	2022				
Tipo de mantenimiento:	-				
Subsistema Eléctrico					
Cantidad de motores :	1	Capacidad:	345 cfm		
Potencia (kW):	55	Voltaje (V):	460		
Factor de servicio:	-	Amperaje (A):	94		
Frecuencia de operación (Hz):	60	RPM:	3578		
Fases:	Trifásico	Reductor:	No existente		
Conexión:	Y	Presión de trabajo max	125 PSI		
Presión de trabajo nor:	100-110 PSI				
Elementos					
Nombre:	Cantidad:	N° de Pieza	Vida Útil	Proveedor:	
Kit cartucho filtro de aire	1	d 420 x 135 mm	2000	KAESER	
Filtro de aceite (cartucho)	1	298 mm	2000	KAESER	
Kit cartucho separador	1	d 220x380 mm	6000	KAESER	
Subsistema Mecánico					
Relación de reductor	1:49	Cantidad de aceite:	0,945 L		
Tipo de Aceite:	600 xp 220 Mineral	Frecuencia de cambio:	Anual		
Observaciones					
El equipo ha sido mejorado/adaptado?			Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	

Anexo 7. Costo por mano de obra del plan de mantenimiento propuesto

Equipo	Actividad	Tiempo (min)	Cant. Elementos	Cant. Act. Anuales	Tiempo anual (Hrs)	Costo hora	Costo Anual
Detector de Metales PCC 1	Limpieza del exterior y partes accesibles	5	1	52	4,33	₡ 2 200	₡ 9 533
	Verificación de calibración / Test de sensibilidad	30	1	52	26,00	₡ 2 200	₡ 57 200
	Inspección y limpieza de banda transportadora	60	1	52	52,00	₡ 2 200	₡ 114 400
	Lubricación de rodamientos	5	4	26	8,67	₡ 2 200	₡ 19 067
	Limpieza de los magnetos	5	1	26	2,17	₡ 2 200	₡ 4 767
	Inspección de conexiones eléctricas y tarjetas	5	1	4	0,33	₡ 2 200	₡ 733
	Inspección del motor	5	1	4	0,33	₡ 2 200	₡ 733
	Cambio de aceite del reductor	90	1	2	3,00	₡ 2 200	₡ 6 600
Detector de Metales PCC 2	Limpieza del exterior y partes accesibles	5	1	52	4,33	₡ 2 200	₡ 9 533
	Verificación de calibración / Test de sensibilidad	30	1	52	26,00	₡ 2 200	₡ 57 200
	Inspección y limpieza de banda transportadora	60	1	52	52,00	₡ 2 200	₡ 114 400
	Lubricación de rodamientos	5	4	26	8,67	₡ 2 200	₡ 19 067
	Limpieza de los magnetos	5	1	26	2,17	₡ 2 200	₡ 4 767
	Inspección de conexiones eléctricas y tarjetas	5	1	4	0,33	₡ 2 200	₡ 733
	Inspección del motor	5	1	4	0,33	₡ 2 200	₡ 733
	Cambio de aceite del motorreductor	90	1	2	3,00	₡ 2 200	₡ 6 600
Detector de Metales PCC 3	Limpieza del exterior y partes accesibles	5	1	52	4,33	₡ 2 200	₡ 9 533
	Verificación de calibración / Test de sensibilidad	30	1	52	26,00	₡ 2 200	₡ 57 200
	Inspección y limpieza de banda transportadora	60	1	52	52,00	₡ 2 200	₡ 114 400
	Lubricación de rodamientos	5	5	26	10,83	₡ 2 200	₡ 23 833
	Limpieza de los magnetos	5	1	26	2,17	₡ 2 200	₡ 4 767
	Inspección del sistema de rechazo	5	1	13	1,08	₡ 2 200	₡ 2 383
	Inspección de conexiones eléctricas y tarjetas	5	1	4	0,33	₡ 2 200	₡ 733
	Inspección del motor	5	1	4	0,33	₡ 2 200	₡ 733
Enfardadora	Cambio de aceite del motorreductor	90	1	2	3,00	₡ 2 200	₡ 6 600
	Limpieza del exterior del equipo	10	1	52	8,67	₡ 2 200	₡ 19 067
	Lubricación de rodamientos	5	3	52	13,00	₡ 2 200	₡ 28 600
	Inspección válvulas y silenciador	5	1	52	4,33	₡ 2 200	₡ 9 533
	Inspección de tuberías de alimentación	5	1	52	4,33	₡ 2 200	₡ 9 533
	Inspección de reguladores y manómetros	5	1	52	4,33	₡ 2 200	₡ 9 533
	Inspección / limpieza de sensores	4	1	26	1,73	₡ 2 200	₡ 3 813
	Inspección de perforadoras	5	1	26	2,17	₡ 2 200	₡ 4 767
	Inspección de correa de arrastre	5	1	6	0,50	₡ 2 200	₡ 1 100
	Reemplazo de correa de arrastre	20	1	2	0,67	₡ 2 200	₡ 1 467
Inspección de cuchillas	2	1	6	0,20	₡ 2 200	₡ 440	

	Reemplazo de cuchillas	15	1	2	0,50	₡ 2 200	₡	1 100
	Inspección cordoalla para metal	5	1	6	0,50	₡ 2 200	₡	1 100
	Reemplazo cordoalla para metal	5	1	2	0,17	₡ 2 200	₡	367
	Inspección de resorte de paso largo	10	1	3	0,50	₡ 2 200	₡	1 100
	Reemplazo de resorte de paso largo	15	1	1	0,25	₡ 2 200	₡	550
	Inspección del motor	5	1	4	0,33	₡ 2 200	₡	733
	Inspección de poleas	5	1	4	0,33	₡ 2 200	₡	733
	Inspección del pistón	10	1	4	0,67	₡ 2 200	₡	1 467
	Inspección de bobina directa e izquierda	10	1	2	0,33	₡ 2 200	₡	733
	Cambio de aceite de reductores y motoreductores	120	2	2	8,00	₡ 2 200	₡	17 600
	Inspección estado banda transportadora	5	1	2	0,17	₡ 2 200	₡	367
	Blanqueador (Paso 2)							
	Limpieza del exterior del equipo	15	1	52	13,00	₡ 2 200	₡	28 600
	Lubricación de rodamientos	10	2	26	8,67	₡ 2 200	₡	19 067
	Inspección de rodamientos	5	3	26	6,50	₡ 2 200	₡	14 300
	Inspección de fajas	5	2	6	1,00	₡ 2 200	₡	2 200
	Reemplazo de fajas	60	2	2	4,00	₡ 2 200	₡	8 800
	Inspección de barra de freno vertical	5	1	9	0,75	₡ 2 200	₡	1 650
	Reemplazo de barra de freno vertical	60	1	3	3,00	₡ 2 200	₡	6 600
	Inspección de poleas	5	2	5	0,83	₡ 2 200	₡	1 833
	Inspección del motor y conexiones eléctricas	10	3	5	2,50	₡ 2 200	₡	5 500
	Inspección de chapa perforada	60	3	3	9,00	₡ 2 200	₡	19 800
	Reemplazo de chapa perforada	120	1	1	2,00	₡ 2 200	₡	4 400
	Limpieza del interior del equipo	30	1	4	2,00	₡ 2 200	₡	4 400
	Inspección de los anillos de las piedras de pulido	10	1	2	0,33	₡ 2 200	₡	733
	Inspección de las piedras de pulido (Muelas)	5	4	2	0,67	₡ 2 200	₡	1 467
	Reemplazo de las piedras de pulido (Muelas)	90	4	2	12,00	₡ 2 200	₡	26 400
	Blanqueador (Paso 3)							
	Limpieza del exterior del equipo	15	1	52	13,00	₡ 2 200	₡	28 600
	Lubricación de rodamientos	10	3	26	13,00	₡ 2 200	₡	28 600
	Inspección de rodamientos	5	3	26	6,50	₡ 2 200	₡	14 300
	Inspección de fajas	5	2	6	1,00	₡ 2 200	₡	2 200
	Reemplazo de fajas	60	2	2	4,00	₡ 2 200	₡	8 800
	Inspección de barra de freno vertical	5	1	9	0,75	₡ 2 200	₡	1 650
	Reemplazo de barra de freno vertical	60	1	3	3,00	₡ 2 200	₡	6 600
	Inspección de poleas	5	2	5	0,83	₡ 2 200	₡	1 833
	Inspección del motor y conexiones eléctricas	10	3	5	2,50	₡ 2 200	₡	5 500
	Inspección de chapa perforada	60	3	3	9,00	₡ 2 200	₡	19 800
	Reemplazo de chapa perforada	120	1	1	2,00	₡ 2 200	₡	4 400
	Limpieza del interior del equipo	30	1	4	2,00	₡ 2 200	₡	4 400
	Inspección de los anillos de las piedras de pulido	10	1	2	0,33	₡ 2 200	₡	733
	Inspección de las piedras de pulido (Muelas)	5	4	2	0,67	₡ 2 200	₡	1 467

	Reemplazo de las piedras de pulido (Muelas)	90	4	2	12,00	₡ 2 200	₡	26 400
Clasificador Entero / Quebrado	Limpieza del exterior del equipo	20	1	52	17,33	₡ 2 200	₡	38 133
	Inspección del motor y conexiones eléctricas	10	1	4	0,67	₡ 2 200	₡	1 467
	Limpieza de cilindros e interior del equipo	900	1	4	60,00	₡ 2 200	₡	132 000
	Cambio de aceite del reductor	30	2	2	2,00	₡ 2 200	₡	4 400
	Limpieza del exterior del equipo	20	1	52	17,33	₡ 2 200	₡	38 133
Clasificador / Separador Puntilla	Inspección de conexiones eléctricas	10	1	26	4,33	₡ 2 200	₡	9 533
	Inspección / ajuste de puntos de anclaje	5	1	13	1,08	₡ 2 200	₡	2 383
	Inspección de motor	5	1	26	2,17	₡ 2 200	₡	4 767
	Limpieza de tamiz	120	1	7	14,00	₡ 2 200	₡	30 800
	Verificación del estado de tamices	10	1	4	0,67	₡ 2 200	₡	1 467
Clasificadora Óptica BUHLER	Limpieza del exterior del equipo	10	1	52	8,67	₡ 2 200	₡	19 067
	Inspección de tuberías y mangueras de aire comprimido	10	1	52	8,67	₡ 2 200	₡	19 067
	Inspección de conexiones eléctricas	5	1	52	4,33	₡ 2 200	₡	9 533
Clasificadora Óptica SATAKE	Limpieza del exterior del equipo	10	1	52	8,67	₡ 2 200	₡	19 067
	Inspección de tuberías y mangueras de aire comprimido	10	1	52	8,67	₡ 2 200	₡	19 067
	Inspección de conexiones eléctricas	5	1	52	4,33	₡ 2 200	₡	9 533
Clasificadora por Tamaño 99%	Limpieza del exterior del equipo	15	1	52	13,00	₡ 2 200	₡	28 600
	Inspección del empaque	10	1	8	1,33	₡ 2 200	₡	2 933
	Reemplazo del empaque	60	1	2	2,00	₡ 2 200	₡	4 400
	Limpieza de cilindros	720	1	4	48,00	₡ 2 200	₡	105 600
	Inspección del motor y conexiones eléctricas	10	1	26	4,33	₡ 2 200	₡	9 533
	Cambio de aceite del reductor	30	1	2	1,00	₡ 2 200	₡	2 200
Esclusa Cascarilla	Inspección de rodamientos	5	3	26	6,50	₡ 2 200	₡	14 300
	Lubricación de rodamientos	5	3	26	6,50	₡ 2 200	₡	14 300
	Inspección de las conexiones eléctricas	5	1	26	2,17	₡ 2 200	₡	4 767
	Inspección de sellos y empaques	10	1	26	4,33	₡ 2 200	₡	9 533
	Limpieza del exterior del equipo	15	1	13	3,25	₡ 2 200	₡	7 150
	Cambio de aceite del reductor	30	1	2	1,00	₡ 2 200	₡	2 200
Mesa Paddy BUHLER	Limpieza del exterior del equipo	15	1	52	13,00	₡ 2 200	₡	28 600
	Lubricación de cuchillas	10	1	52	8,67	₡ 2 200	₡	19 067
	Lubricación de rodamientos	10	2	52	17,33	₡ 2 200	₡	38 133
	Inspección de fajas	5	1	4	0,33	₡ 2 200	₡	733
	Reemplazo de fajas	5	1	2	0,17	₡ 2 200	₡	367
	Inspección de poleas	5	1	4	0,33	₡ 2 200	₡	733
	Inspección del motor y conexiones eléctricas	10	1	26	4,33	₡ 2 200	₡	9 533
	Inspección de las cuchillas	5	1	4	0,33	₡ 2 200	₡	733
Reemplazo de las cuchillas	300	1	2	10,00	₡ 2 200	₡	22 000	
Pre-limpiadora en Seco	Limpieza del exterior del equipo	10	1	52	8,67	₡ 2 200	₡	19 067
	Inspección del motor y conexiones eléctricas	10	1	26	4,33	₡ 2 200	₡	9 533

	Inspección de tamices	5	1	6	0,50	€	2 200	€	1 100
	Limpieza del exterior del equipo	10	1	52	8,67	€	2 200	€	19 067
	Verificación de corriente de funcionamiento del amperímetro	5	1	52	4,33	€	2 200	€	9 533
	Inspección de válvulas y flujómetro	10	1	26	4,33	€	2 200	€	9 533
	Inspección de tobera	5	1	13	1,08	€	2 200	€	2 383
Pulidora PAPU (Paso 3)	Inspección del motor y conexiones eléctricas	10	1	26	4,33	€	2 200	€	9 533
	Limpieza de cilindros e interior del equipo	15	1	4	1,00	€	2 200	€	2 200
	Inspección de chapa perforada	30	16	3	24,00	€	2 200	€	52 800
	Reemplazo de chapa perforada	120	16	1	32,00	€	2 200	€	70 400
	Inspección de polea	10	1	4	0,67	€	2 200	€	1 467
	Inspección de los cilindros de levas	5	1	4	0,33	€	2 200	€	733
	Limpieza del exterior del equipo	10	1	52	8,67	€	2 200	€	19 067
	Inspección del nivel de aceite	5	1	104	8,67	€	2 200	€	19 067
	Inspección de conexiones eléctricas	5	1	52	4,33	€	2 200	€	9 533
	Inspección de las tuberías	5	1	52	4,33	€	2 200	€	9 533
	Verificación de temperaturas	5	1	104	8,67	€	2 200	€	19 067
	Verificación de válvulas de seguridad / alivio	5	1	26	2,17	€	2 200	€	4 767
Compresor Blower	Drenaje de condensados e inspección de trampa	20	1	13	4,33	€	2 200	€	9 533
	Limpieza interna del gabinete eléctrico	15	1	26	6,50	€	2 200	€	14 300
	Inspección de contactores	5	1	52	4,33	€	2 200	€	9 533
	Reemplazo del filtro de aire (2000H)	10	1	4	0,67	€	2 200	€	1 467
	Inspección de faja	5	1	3	0,25	€	2 200	€	550
	Reemplazo de faja	10	1	1	0,17	€	2 200	€	367
	Cambio de aceite (6000H)	30	1	2	1,00	€	2 200	€	2 200
	Limpieza del exterior del equipo	60	1	52	52,00	€	2 200	€	114 400
	Inspección del nivel de aceite	5	1	104	8,67	€	2 200	€	19 067
	Inspección de conexiones eléctricas	5	1	52	4,33	€	2 200	€	9 533
	Inspección de las tuberías	5	1	52	4,33	€	2 200	€	9 533
	Verificación de temperaturas	5	1	104	8,67	€	2 200	€	19 067
	Verificación de válvulas de seguridad / alivio	5	1	26	2,17	€	2 200	€	4 767
	Drenaje de condensados e inspección de trampa	20	1	13	4,33	€	2 200	€	9 533
Compresor 2004 KEISER	Limpieza interna del gabinete eléctrico	20	1	26	8,67	€	2 200	€	19 067
	Limpieza filtro de aire	15	1	104	26,00	€	2 200	€	57 200
	Limpieza de aspas del radiador	60	1	2	2,00	€	2 200	€	4 400
	Limpieza del radiador	60	1	2	2,00	€	2 200	€	4 400
	Inspección de contactores	5	1	52	4,33	€	2 200	€	9 533
	Reemplazo del filtro de aire (2000H)	10	1	4	0,67	€	2 200	€	1 467
	Reemplazo del filtro de aceite (2000H)	10	1	4	0,67	€	2 200	€	1 467
	Cambio de aceite (6000H)	180	1	2	6,00	€	2 200	€	13 200
	Reemplazo del filtro separador (6000H)	10	1	2	0,33	€	2 200	€	733

Compresor 2022 KEISER	Limpieza del exterior del equipo	60	1	52	52,00	€ 2 200	€ 114 400
	Inspección del nivel de aceite	5	1	104	8,67	€ 2 200	€ 19 067
	Inspección de conexiones eléctricas	5	1	52	4,33	€ 2 200	€ 9 533
	Inspección de las tuberías	5	1	52	4,33	€ 2 200	€ 9 533
	Verificación de temperaturas	5	1	104	8,67	€ 2 200	€ 19 067
	Verificación de válvulas de seguridad / alivio	5	1	26	2,17	€ 2 200	€ 4 767
	Drenaje de condensados e inspección de trampa	20	1	13	4,33	€ 2 200	€ 9 533
	Limpieza interna del gabinete eléctrico	20	1	26	8,67	€ 2 200	€ 19 067
	Limpieza filtro de aire	15	1	104	26,00	€ 2 200	€ 57 200
	Limpieza de aspas del radiador	60	1	2	2,00	€ 2 200	€ 4 400
	Limpieza del radiador	60	1	2	2,00	€ 2 200	€ 4 400
	Inspección de contactores	5	1	52	4,33	€ 2 200	€ 9 533
	Reemplazo del filtro de aire (2000H)	10	1	4	0,67	€ 2 200	€ 1 467
	Reemplazo del filtro de aceite (2000H)	10	1	4	0,67	€ 2 200	€ 1 467
	Cambio de aceite (6000H)	180	1	2	6,00	€ 2 200	€ 13 200
	Reemplazo del filtro separador (6000H)	10	1	2	0,33	€ 2 200	€ 733
Total						€	2 665 887

Anexo 8. Código para Arduino del prototipo de medición en tiempo real

```
//Librerías y declaración de funciones
#include <ACI_10K_an.h>
Aci_10K an10k;

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

#include <RTCLib.h>
RTC_DS3231 rtc;

#include <SoftwareSerial.h>

// Pines de los sensores
const int TAmbiente = A1;
const int TCompresor = A2;

// Pin del OpenLog
const int openlogTX = 10; //Hace referencia al D10

// Canal de comunicación
SoftwareSerial openlog(255, openlogTX); //No hay lectura, solo escritura

// Pines de LEDs
const int LedVerde = 6;
const int LedAmarillo = 5;
const int LedRojo = 4;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  openlog.begin(9600);

  // Enciende la LCD y el I2C
  Wire.begin(); // Inicia bus I2C
  lcd.init(); // Inicializa LCD
  lcd.backlight(); // Enciende la luz trasera

  // Inicia el módulo RTC
  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("No se encontró el módulo RTC");
    while (1);
  }
}
```

```

// Configura el RTC
//rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));

// Configura los pines como salida
pinMode(LedVerde, OUTPUT);
pinMode(LedAmarillo, OUTPUT);
pinMode(LedRojo, OUTPUT);
}

void loop() {

// Lecturas crudas
int LectAmbiente    = analogRead(TAmbiente);
int LectCompresor   = analogRead(TCompresor);

// Conversión a °C
float TempAmbiente  = an10k.getTemp(LectAmbiente);
float TempCompresor = an10k.getTemp(LectCompresor);

//Lectura de fecha y hora
DateTime now = rtc.now();

// Muestra la fecha por el puerto Serial
if (now.day() < 10) Serial.print('0');
Serial.print(now.day());
Serial.print('/');
if (now.month() < 10) Serial.print('0');
Serial.print(now.month());
Serial.print('/');
Serial.print(now.year());
Serial.print(" ");

// Muestra la hora por el puerto Serial
if (now.hour() < 10) Serial.print('0');
Serial.print(now.hour());
Serial.print(':');
if (now.minute() < 10) Serial.print('0');
Serial.print(now.minute());
Serial.print(':');
if (now.second() < 10) Serial.print('0');
Serial.print(now.second());
Serial.print(" -> ");

// Arma la línea de datos para el OpenLog
String dataLine = "";

```

```

dataLine += String(TempAmbiente, 0);
dataLine += ",";
dataLine += String(TempCompresor, 0);
dataLine += ",";
if (now.day() < 10) dataLine += "0";
dataLine += String(now.day());
dataLine += "/";
if (now.month() < 10) dataLine += "0";
dataLine += String(now.month());
dataLine += "/";
dataLine += String(now.year());
dataLine += ",";
if (now.hour() < 10) dataLine += "0";
dataLine += String(now.hour());
dataLine += ":";
if (now.minute() < 10) dataLine += "0";
dataLine += String(now.minute());
dataLine += ":";
if (now.second() < 10) dataLine += "0";
dataLine += String(now.second());

// Envía los datos al OpenLog ---
openlog.println(dataLine);

// Impresión en Serial
Serial.print("T Ambiente: ");
Serial.print(TempAmbiente, 0); // Temp. sin decimales
Serial.print(" °C | T Compresor: ");
Serial.print(TempCompresor, 0); // Temp. sin decimales
Serial.println(" °C "); // Println da los resultados por renglón

// Impresión en la LCD
lcd.clear(); //Limpia la información de la LCD

// Información en la Primer línea
lcd.setCursor(0, 0); //Selecciona la posición de inicio
lcd.print("T. Comp.: ");
lcd.print(TempCompresor, 0);
lcd.write(byte(223));
lcd.print("C");

// Información en la Segunda línea
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("T. Ambi.: ");
lcd.print(TempAmbiente, 0);

```

```

lcd.write(byte(223)); lcd.print("C");

// Condiciones para las Alarmas
if (TempCompresor >= 80 && TempCompresor < 95) {
    digitalWrite(LedVerde,    HIGH);
    digitalWrite(LedAmarillo, LOW);
    digitalWrite(LedRojo,     LOW);
}
else if (TempCompresor >= 95 && TempCompresor < 100) {
    digitalWrite(LedVerde,    LOW);
    digitalWrite(LedAmarillo, HIGH);
    digitalWrite(LedRojo,     LOW);
}
else if (TempCompresor >= 100) {
    digitalWrite(LedVerde,    LOW);
    digitalWrite(LedAmarillo, LOW);
    digitalWrite(LedRojo,     HIGH);
}
else {
    digitalWrite(LedVerde,    LOW);
    digitalWrite(LedAmarillo, LOW);
    digitalWrite(LedRojo,     LOW);
}

delay(30000);
}

```

Anexo 9. Código Python para el visualizador de datos

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.dates as mdates
from tkinter import Tk, Frame, Button, filedialog
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg

#Variables globales
df_global = None
fig_global = None

def cargar_datos():
    """Carga el archivo de datos y genera la gráfica."""
    global df_global
    path = filedialog.askopenfilename(
        filetypes=[("Archivos de texto", "*.txt *.csv")],
        title="Selecciona tu archivo de datos"
    )
    if not path:
        return
    df = pd.read_csv(path, header=None, names=["T_Amb", "T_Comp", "Fecha", "Hora"])
    df['FechaHora'] = pd.to_datetime(df['Fecha'] + ' ' + df['Hora'], dayfirst=True)
    df.sort_values('FechaHora', inplace=True)
    df_global = df
    graficar_datos()

def graficar_datos():
    """Dibuja la gráfica con bandas de color de fondo según rango de temperatura."""
    global fig_global
```

```

# Limpiar área previa
for w in frame_canvas.wininfo_children():
    w.destroy()

fig, ax = plt.subplots(figsize=(15, 6))
df = df_global

#BANDAS DE FONDO
ax.axhspan(80, 95, color='green', alpha=0.2) # 80–95 °C
ax.axhspan(95, 100, color='yellow', alpha=0.2) # 95–100 °C
y_max = df[['T_Amb','T_Comp']].max().max() * 1.05
ax.axhspan(100, y_max, color='red', alpha=0.2) # >100 °C

# Graficar series
ax.plot(df['FechaHora'], df['T_Amb'], label="T° Ambiente", marker='o')
ax.plot(df['FechaHora'], df['T_Comp'], label="T° Compresor", marker='o')

ax.set_ylabel ("Temperatura (°C)")
ax.set_title ("Temperaturas Registradas")
ax.grid(True)
ax.legend(loc='upper right')

# EJE X PRINCIPAL: SOLO HORA
locator = mdates.AutoDateLocator()
ax.xaxis.set_major_locator(locator)
ax.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M'))
plt.setp(ax.get_xticklabels(), rotation=30, ha='right')

# EJE X SECUNDARIO: UNA FECHA POR DÍA

```

```

fechas = df['FechaHora'].dt.date.unique()
ticks, labels = [], []
for f in fechas:
    subset = df[df['FechaHora'].dt.date == f]
    if not subset.empty:
        mid = subset['FechaHora'].iloc[len(subset)//2]
        ticks.append(mid)
        labels.append(f.strftime("%d-%m-%Y"))

secax = ax.secondary_xaxis (-0.15)
secax.set_xticks(ticks)
secax.set_xticklabels (labels, rotation=0)

fig.tight_layout ()

# Inserta en Tkinter
canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=frame_canvas)
canvas.draw()
canvas.get_tk_widget().pack(fill='both', expand=True)
fig_global = fig

# Muestra los botones de acción
btn_guardar.pack(in_=bottom_frame, side='right', padx=10, pady=5)
btn_cerrar_grafica.pack(in_=bottom_frame, side='right', pady=5)

def guardar_imagen():
    """Guarda la figura como PNG."""
    if fig_global:
        file = filedialog.asksaveasfilename(
            defaultextension=".png",

```

```

        filetypes=[("PNG Image", "*.png")],
        title="Guardar gráfica como imagen"
    )
    if file:
        fig_global.savefig(file, dpi=300)

def cerrar_grafica():
    """Limpia la gráfica y oculta los botones."""
    global df_global
    df_global = None
    for w in frame_canvas.winfo_children():
        w.destroy()
    btn_guardar.pack_forget()
    btn_cerrar_grafica.pack_forget()

# --- Interfaz Tkinter ---
root = Tk()
root.title("Visor de Temperaturas")
root.geometry("1200x800")

# Header: cargar y cerrar programa
header = Frame(root)
header.pack(fill='x', pady=5)

btn_cargar = Button(header, text="Cargar Archivo", command=cargar_datos,
                    font=('Arial', 12), width=14)
btn_cargar.pack(side='left', padx=10)

btn_exit = Button(header, text="✘", command=root.destroy,
                  fg='white', bg='red', font=('Arial', 12, 'bold'),

```

```
        bd=0, padx=5, pady=2)
btn_exit.pack(side='right', padx=10)

# Frame para la gráfica
frame_canvas = Frame(root)
frame_canvas.pack(fill='both', expand=True)

# Bottom frame para botones de guardar/cerrar gráfica
bottom_frame = Frame(root)
bottom_frame.pack(fill='x')

btn_guardar = Button(bottom_frame, text="Guardar Imagen", command=guardar_imagen,
                    font=('Arial', 12), width=14)
btn_cerrar_grafica = Button(bottom_frame, text="Cerrar Gráfica", command=cerrar_grafica,
                            font=('Arial', 12), width=14)

root.mainloop()
```