

Mejoramiento de los procesos del área de mantenimiento en la empresa Industrias
LAVCO S.A.S. en Floridablanca, Santander

Nathalia Díaz Hernández

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniera Industrial

Director

Carlos Eduardo Díaz Bohórquez

Magister en Ingeniería Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Principalmente a **Dios**, por brindarme la sabiduría necesaria y la constancia para terminar este proyecto de vida.

A mi padre **Juan José**, por enseñarme que para lograr cada una de las cosas que quiero, necesito de esfuerzo y corazón.

A mi madre **Omaira**, por su tenacidad y fuerza para forjar en mí la mujer que soy hoy.

A mis hermanos **Elkin Daniel** y **Juan Diego**, por estar siempre acompañándome durante estos años.

A mis sobrinos **Tomas Daniel** y **María Victoria**, para demostrarles que el conocimiento tiene poder, que debemos confiar para poder alcanzar nuestras metas y que aprender algo nuevo cada día no te hace más que nadie, solo una nueva y mejor versión de ti.

Agradecimientos

A **Dios**, por darme la salud para cumplir con todos mis propósitos, por poner en mi camino personas maravillosas que aportaron un granito de mostaza para poder llegar a la meta y permitirme aprender todo lo que es el mundo de la Ingeniera Industrial.

A la **Universidad Industrial de Santander**, por la formación académica recibida a lo largo de mi carrera, la cual me brindo las herramientas necesarias para enfrentar los retos académicos y el acompañamiento recibido para el desarrollo del presente trabajo.

A mi director de proyecto **Carlos Eduardo Díaz**, por cada una de las enseñanzas recibidas, el acompañamiento y la paciencia que me ha tenido en todo este largo proceso.

A **Industrias LAVCO S.A.S.**, por abrirme las puertas y permitirme estar estos últimos 16 años de crecimiento, aprendizaje y formación profesional y personal. En especial al grupo de 5 técnicos en mantenimiento: Eliecer, Libardo, Ludwing, Juan José y Franklin por la disposición, el acompañamiento y colaborarme con la información necesaria que fue fundamental para el desarrollo de este proyecto.

A **Olga Vesga**, por la confianza depositada en mí y por el aprendizaje obtenido. Gracias por ser la combinación perfecta entre fuerza y corazón.

A **mi familia y amigos**, por estar siempre presentes y motivarme a terminar este proyecto de vida.

Contenido

Introducción	15
1.Generalidades de la empresa.....	17
1.1 Portafolio de productos	18
1.1.1 Fundición	19
1.1.2 Línea Automotriz	19
1.1.3 Línea industrial	20
1.2 Ubicación	21
1.3 Mapa de procesos.....	22
2.Generalidades del proyecto.....	22
2.1 Objetivos	23
2.1.1 Objetivo general.....	23
2.1.2 Objetivos específicos	23
2.2 Metodología	23
2.2.1 Etapa 1. Introducción e identificación de la empresa	24
2.2.2 Etapa 2 Diagnóstico inicial de la empresa	24
2.2.3 Etapa 3 Formulación de las propuestas para el plan de mejoramiento	25
2.2.4 Etapa 4 Implementación de la propuesta de mejora	26
2.2.5 Etapa 5 Control y evaluación de los resultados obtenidos.....	26
3.Planteamiento del problema.....	27
3.1 Conclusiones del diagnostico.....	29
4.Marco de referencia	37

4.1 Marco teórico	37
4.1.1 Concepto de proceso y gestión por procesos.	38
4.1.2 Gestión del mantenimiento: conceptos y objetivos.	38
4.1.3 Paradigmas modernos: Preventivo - Predictivo - Mantenimiento basado en condición.	39
4.1.4 Enfoques metodológicos: TPM, RCM y planificación programada.....	40
4.1.5 Herramientas de diagnóstico y análisis (Pareto, causa-efecto, AMEF).....	42
4.1.6 Mejora continua y Lean aplicado al mantenimiento.....	43
4.1.7 Indicadores de desempeño en mantenimiento (KPI).	43
4.1.8 Análisis de criticidad y priorización de activos	45
4.1.9 Integración digital y tendencias (IoT, análisis de datos y mantenimiento predictivo).	45
4.1.10 Planificación y programación del mantenimiento.	46
5. Formulación de las propuestas para el plan de mejoramiento	47
5.1 Problema que pretende resolver.....	48
5.2 Descripción de las propuestas.....	48
5.2.1 Propuesta 1. Plan integral de mantenimiento para Industrias LAVCO SAS.....	48
5.2.2 Propuesta 2. Implementación metodología 5S.....	53
5.2.3 Propuesta 3. Diseño de formatos para registro de información	56
5.3 Plan de implementación.....	58
5.3.1 Propuesta 1. Plan integral de mantenimiento para Industrias LAVCO SAS.....	58
5.3.2 Propuesta 2. Implementación metodología 5S.....	59
5.3.3 Propuesta 3. Diseño de formatos para registro de información	60
6. Implementación del plan de mejoramiento.....	62
6.1 Propuesta 1. Plan integral de mantenimiento para Industrias LAVCO SAS.....	62

6.1.1 Inventario de equipos.....	63
6.1.2 Clasificación por importancia (Matriz de criticidad).....	66
6.1.3 Determinar tipo de mantenimiento	72
6.1.4 Establecer frecuencia	76
6.1.5 Construcción de cronograma de mantenimiento preventivo	78
6.1.6 Medición de trabajo	80
6.2 Propuesta 2. Implementación 5S´s.....	86
6.2.1 Clasificación	89
6.2.2 Orden.....	90
6.2.3 Limpieza	91
6.2.4 Estandarización.....	94
6.2.5 Disciplina	95
6.3 Propuesta 3. Modificación de formatos para recolección de información.....	97
6.3.1 Registro y análisis de fallas.....	98
6.3.2 Solicitud de fabricación	99
6.3.3 Solicitud de mantenimiento	100
6.3.4 Socialización y puesta en marcha de los formatos.....	100
7.Control y evaluación de los resultados obtenidos.....	103
7.1 Indicadores	104
7.1.1 Disponibilidad.....	104
7.1.2 Confiabilidad operativa.....	105
7.1.3 Relación mantenimiento preventivo vs mantenimiento correctivo (MP vs MC).	106
7.1.4 Cumplimiento mantenimiento preventivo	107

8.Resultados obtenidos y socialización.....	109
9.Conclusiones	113
10.Recomendaciones	115
Referencias Bibliográficas	118

Lista de Tablas

Tabla 1. Cumplimiento de objetivos.	16
Tabla 2. Perfil y experiencia del personal del área de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S.	31
Tabla 3. Estado actual y necesidad de indicadores de gestión del mantenimiento en LAVCO.	35
Tabla 4. Relación entre problemas identificados, causas y consecuencias en el área de mantenimiento de LAVCO.	36
Tabla 5. Comparación de enfoques de mantenimiento.	39
Tabla 6. Estructura del inventario de activos de las áreas productivas de LAVCO.	49
Tabla 7. Asignación del tipo de mantenimiento por nivel de criticidad.	50
Tabla 8. Formato base de estudio de tiempos en actividades de mantenimiento.	52
Tabla 9. Indicadores de evaluación del programa 5S.	55
Tabla 10. Relación de formatos propuestos y propósito.	57
Tabla 11. Cronograma de actividades de la propuesta 1.	58
Tabla 12. Cronograma de actividades de la propuesta 2.	59
Tabla 13. Cronograma de actividades de la propuesta 3.	60
Tabla 14. Extracto representativo del inventario físico de activos productivos de LAVCO.	64
Tabla 15. Distribución de activos por área de trabajo.	65
Tabla 16. Matriz de criticidad aplicada.	69
Tabla 17. Distribución de los equipos según su nivel de criticidad.	72
Tabla 18. Asignación del tipo de mantenimiento según criticidad de los activos.	73

Tabla 19. Frecuencias de mantenimiento definidas para los activos productivos.	77
Tabla 20. Resumen del cronograma de mantenimiento preventivo propuesto por área de trabajo y tipo de actividad.	79
Tabla 21. Estudio de tiempos consolidados - Actividad de mantenimiento preventivo en torno convencional área mecanizado.	83
Tabla 22. Resumen de actividades de mantenimiento preventivo analizadas mediante medición del trabajo.	84
Tabla 23. Comparativo de tiempos de mantenimiento preventivo antes y después de la medición del trabajo.	85
Tabla 24. Resultados de la jornada de Seiri en el área de mantenimiento.	89
Tabla 25. Comparación del tiempo promedio de búsqueda de herramientas antes y después de la implementación de la metodología 5S.	91
Tabla 26. Resultados de la auditoria 5S en el área de mantenimiento.	96
Tabla 27. Caracterización de los formatos implementados en el área de mantenimiento de LAVCO.	97
Tabla 28. Ficha técnica del indicador de disponibilidad.	105
Tabla 29. Ficha técnica del indicador de confiabilidad operativa.	106
Tabla 30. Ficha técnica del indicador de MP vs MC.	107
Tabla 31. Ficha técnica del indicador de cumplimiento del mantenimiento preventivo.	108
Tabla 32. Resultados indicador de paradas no programadas y horas extras durante el periodo de implementación.	111

Lista de Figuras

Figura 1. Fachada de la empresa Industrias LAVCO S.A.S.	18
Figura 2. Exportaciones de Industrias LAVCO y su distribución por país.	19
Figura 3. Camisas para motores de carro diésel y/o gasolina.	20
Figura 4. Cilindros compresores para el sector oíl y gas.	21
Figura 5. Mapa de procesos de Industrias LAVCO S.A.S.	22
Figura 6. Contexto general del sistema productivo de Industrias LAVCO S.A.S.	28
Figura 7. Relación entre horas de parada no programada y horas extras del personal.	29
Figura 8. Diagrama de causa y efecto.	30
Figura 9. Integración TPM–RCM–PPM en el sistema de mantenimiento.	42
Figura 10. Ciclo de implementación de la metodología 5S en el área de mantenimiento.	54
Figura 11. Diagrama de Gantt del plan de implementación de las propuestas de mejora.	62
Figura 12. Extracto del inventario de equipos - árbol de equipos existente en LAVCO.	64
Figura 13. Parámetros y criterios del análisis de criticidad previo utilizado en LAVCO.	68
Figura 14. Extracto del análisis de criticidad aplicado a los equipos activos en el proceso productivo.	71
Figura 15. Extracto del registro de actividades de mantenimiento por categoría.	75
Figura 16. Extracto del cronograma de mantenimiento preventivo propuesto para LAVCO.	78
Figura 17. Metodología de medición del trabajo.	82
Figura 18. Socialización de la metodología 5S y conformación del comité 5S con el personal de mantenimiento de LAVCO.	88
Figura 19. Estado del área de mantenimiento antes de la implementación de la etapa de limpieza (Seiso).	92

Figura 20. Estado del área de mantenimiento después de la implementación de la etapa de limpieza (Seiso).	93
Figura 21. Señalización instalada en el área de mantenimiento sobre 5S.	94
Figura 22. Ejemplo de diligenciamiento del formato de registro de fallas.	99
Figura 23. Socialización de los formatos implementados con el personal del área de mantenimiento.	101
Figura 24. Flujo de información del proceso de mantenimiento con formatos implementados.	102
Figura 25. Relación entre parada no programada y horas extras durante la implementación.	112

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y pueden visualizarse en la base de datos de la biblioteca UIS

Apéndice A. Carta de la empresa certificando el cumplimiento de la Práctica Empresarial.

Apéndice B. Registros históricos de solicitudes de mantenimiento (2022–2023).

Apéndice C. Consolidado del diagnóstico del área de mantenimiento.

Apéndice D. Inventario completo de equipos.

Apéndice E. Matriz de criticidad de equipos.

Apéndice F. Ficha técnica representativa de equipo.

Apéndice G. Puntos críticos de los equipos.

Apéndice H. Consolidado de actividades de mantenimiento preventivo y predictivo

Apéndice I. Cronograma de mantenimiento preventivo propuesta 2024.

Apéndice J. Resultados de medición de trabajo (antes y después).

Apéndice K. Evidencia metodología 5S (antes y después).

Apéndice L. Solicitud de fabricación propuesto.

Apéndice M. Solicitud de mantenimiento modificado.

Apéndice N. Resultados de indicadores de mantenimiento durante el periodo de prueba.

Resumen

Título: Mejoramiento de los procesos del área de mantenimiento en la empresa Industrias LAVCO S.A.S en Floridablanca, Santander*

Autor: Nathalia Díaz Hernández**

Palabras claves: Mantenimiento, Mejoramiento de procesos, Ingeniería Industrial, Metalmecánica.

Descripción:

La optimización de los procesos de producción en el ámbito industrial es fundamental para la reducción de costos y el desempeño operativo. Industrias LAVCO S.A.S, empresa santandereana del sector metalmecánico, desarrolla actividades industriales y se ha visto en la necesidad de profundizar en procesos de mantenimiento que prevengan situaciones en que la producción pueda verse disminuida.

Este trabajo de grado en la modalidad de Práctica Empresarial, en consecuencia, tuvo por objetivo diseñar e implementar un plan para el mejoramiento de los procesos de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S. La metodología implementada tuvo en cuenta cinco etapas compuestas por la introducción e identificación de la empresa, diagnóstico inicial, formulación de propuestas, implementación de las propuestas y control y evaluación de resultados. En el desarrollo de esta práctica, luego de los estadios iniciales, se formularon tres propuestas que en conjunto apuntaron a un plan de mantenimiento integral.

Como resultado de la implementación, se logró mejorar la programación de actividades, establecer y reducir tiempos improductivos, establecer un cronograma para la ejecución y control de los mantenimientos preventivos. En conclusión, el desarrollo de este trabajo de grado permitió optimizar la gestión del mantenimiento, aumentar la disponibilidad de los equipos y establecer la medición de los procesos por medio de los indicadores de gestión.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánica. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Programa de Ingeniería Industrial. Director: Carlos Eduardo Díaz Bohórquez. Magister en Ingeniería Industrial.

Abstract

Title: Improvement of the Maintenance Processes in the Company Industrias LAVCO S.A.S. in Floridablanca, Santander*

Author: Nathalia Díaz Hernández**

Keywords: Maintenance, Process Improvement, Industrial Engineering, Metalworking.

Description:

The optimization of production processes in the industrial sector is essential for cost reduction and operational performance. Industrias LAVCO S.A.S., a metalworking company located in Santander, Colombia, carries out industrial activities and has identified the need to strengthen its maintenance processes in order to prevent situations in which production performance may be reduced.

This undergraduate thesis, developed under the Business Internship modality, aimed to design and implement a plan to improve the maintenance processes of Industrias LAVCO S.A.S. The applied methodology considered five stages: company introduction and identification, initial diagnosis, proposal formulation, proposal implementation, and control and evaluation of results. During the development of the internship, after the initial stages, three proposals were formulated which together were oriented toward an integrated maintenance plan.

As a result of the implementation, it was possible to improve activity scheduling, identify and reduce unproductive times, and establish a schedule for the execution and control of preventive maintenance activities. In conclusion, the development of this undergraduate thesis made it possible to optimize maintenance management, increase equipment availability, and establish process measurement through management indicators.

*Degree Work.

**Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Industrial and Business Studies. Industrial Engineering Program. Advisor: Carlos Eduardo Díaz Bohórquez, M.Sc. in Industrial Engineering.

Introducción

La economía globalizada y los mercados cada vez más competitivos, reiteran para los fabricantes y comercializadores la importancia de gestionar nuevas ventajas sobre sus competidores. En este contexto, la gestión del mantenimiento adquiere un papel fundamental, ya que la disponibilidad y confiabilidad de los equipos influyen directamente en la continuidad de los procesos productivos y en la calidad del producto final.

Actualmente, en Colombia son pocas las empresas destinadas a la fabricación de camisas para motores y a la reparación de cilindros en el sector energético, haciendo parte de este reducido grupo Industrias LAVCO SAS; por ello, la razón de ser de la empresa es la satisfacción de sus clientes y la rentabilidad de sus procesos mediante la minimización de costos y la eliminación del mayor número de despilfarros en su ciclo productivo, teniendo en cuenta que una buena planificación reduce sustancialmente el tiempo de inactividad.

LAVCO depende de activos vitales para su proceso productivo, por lo que el mantenimiento de estos es fundamental. Sin embargo, presenta un enfoque reactivo: la mayor parte de sus mantenimientos corresponden a la reparación de daños graves en los equipos lo cual, unido a un cronograma de trabajo ineficiente y la no estandarización en sus procesos, tienen un impacto negativo para las utilidades de la empresa.

Así mismo, se identificó que la información relacionada con las actividades de mantenimiento no se encuentra completamente organizada ni sistematizada, lo que dificulta el análisis del comportamiento de los equipos y limita la toma de decisiones basada en datos.

Una buena gestión del mantenimiento no solo mejora el rendimiento de los equipos, sino que también permite reducir la frecuencia de fallas y aumentar la vida útil de los activos de la empresa y protege su inversión. Por ello, este trabajo de grado tiene como propósito aportar al

fortalecimiento del área de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S, a partir del diseño e implementación de un plan de mejoramiento ajustado a las condiciones reales de la empresa.

En el siguiente informe se presenta, en primer lugar, la situación actual del área de mantenimiento, mediante la aplicación de herramientas cuantitativas y cualitativas como el análisis de datos históricos, diagrama de Pareto y diagrama causa-efecto para identificar oportunidades de mejora del proceso. Además, se desarrolla un marco teórico como base que reúne las teorías que se utilizaron para el desarrollo del trabajo y sustenta las estrategias de mejora implementadas. El documento incluye tres capítulos que abordan la formulación del plan de mejora, implementación de este y los resultados obtenidos.

El cumplimiento de objetivo se evidencia en la tabla 1:

Tabla 1.

Cumplimiento de objetivos.

Objetivo	Cumplimiento
1. Realizar un diagnóstico de los procesos actuales del área de manteniendo, que permita identificar la situación actual de los procesos y factores críticos susceptibles a oportunidades de mejora.	Capítulo 3. Planteamiento del problema
2. Diseñar un plan de mejoramiento para los procesos involucrados, partiendo de los resultados obtenidos en el diagnóstico.	Capítulo 5. Formulación de las propuestas para el plan de mejoramiento

3. Implementar el plan de mejora que se desarrolle para los procesos del área de mantenimiento de la organización teniendo en cuenta la información del diagnóstico y previamente aprobado por los directivos de la empresa.

Capítulo 6. Implementación del plan de mejoramiento

4. Formular un sistema de indicadores que permitan el seguimiento y control de las propuestas de mejora en el proceso de mantenimiento de la organización.

Capítulo 7. Control y evaluación de los resultados obtenidos

5. Socializar el plan de mejoramiento de los procesos con el personal de la organización.

Capítulo 8. Resultados obtenidos y socialización

El cumplimiento de los objetivos definidos para la práctica empresarial fue validado por la empresa, según se evidencia en la carta de certificación presentada en el Apéndice A.

1. Generalidades de la empresa

Industrias LAVCO S.A.S. es una empresa manufacturera, de servicios metalmecánicos fundada en 1991, con más de 40 años de experiencia en producción y reparaciones industriales y automotrices. La empresa cuenta con certificación ISO 9001:2015 (Registro 1038-1 de Icontec).

Industrias LAVCO cuenta con más de 2.000 metros cuadrados de construcción en donde funciona una planta de fundición para el centrifugado de hierro gris y una planta de mecanizado propia, que permite ofrecer disponibilidad de desarrollo inmediato de referencias nuevas o

especiales que requieran clientes en el sector de camisas para motores a gasolina y diésel. Adicionalmente, dispone de una línea industrial, en la que se reparan compresores, camisas para motores estacionarios industriales y bombas recíprocantes en gran variedad de rangos. De igual forma, allí están ubicadas las oficinas administrativas para el desarrollo de su razón social, con un experto equipo de trabajo de 100 personas altamente capacitadas y entrenadas.

Figura 1.

Fachada de la empresa Industrias LAVCO S.A.S.



Nota. Tomada de <https://lavco.com.co>.

1.1 Portafolio de productos

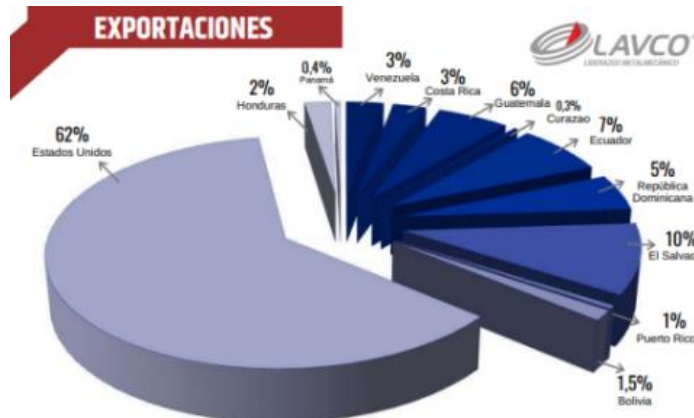
Industrias LAVCO cuenta con 3 líneas de producción: fundición, línea automotriz y línea industrial, cuenta con clientes a nivel nacional e internacional de 13 países de la comunidad andina, el caribe, centro y norte américa.

Sus ventas se distribuyen como se muestra en la figura 2: 66% exportaciones, 19% mercado nacional automotriz y 15% que se compone de empresas del sector de palma,

cementeras, oíl & gas e industrial de Colombia como Ecopetrol, Terpel, Yara, TGI, Perenco, Cerrejón, entre otros.

Figura 2.

Exportaciones de Industrias LAVCO y su distribución por país.



Nota. Información tomada del portafolio línea automotriz de Industrias LAVCO S.A.S.

1.1.1 Fundición

LAVCO (2025) afirma en su sitio web que entre sus especialidades se encuentran:

- Fundición de hierro gris centrifugado para la fabricación de camisas y asientos de válvula para motores a gasolina, gas y diésel en rangos de medida desde 25 hasta 500 milímetros de diámetro interno y hasta 1.25 metros de longitud.
- Fundición de hierro gris para la fabricación de camisas para cilindros motrices y compresores de gas de la industria petrolera.
- Fundición de piezas especiales incluyendo o no la fabricación del modelo.

1.1.2 Línea Automotriz

LAVCO (2025) menciona en su sitio web que produce y comercializa “camisas húmedas y secas para motores diésel y a gasolina fabricadas mediante el proceso de centrifugado” (Párr, 2), para el cual cuenta con fundición de colada continua, controlada cuidadosamente para asegurar que el material tenga la dureza recomendada.

Las camisas LAVCO poseen una aleación especial con propiedades que aseguran resistencia al desgaste y transferencia de calor durante la operación del motor que hace que se reconozca la calidad de sus productos a nivel nacional e internacional. Entre sus productos LAVCO ofrece: camisa húmeda motor diésel y gasolina (Renault), camisa ceja diésel, camisa seca motor gasolina, barras centrifugadas para asientos de válvulas y material en bruto. Ver figura 3.

Figura 3.

Camisas para motores de carro diésel y/o gasolina.



Nota. Información tomada del portafolio línea automotriz de Industrias LAVCO S.A.S.

1.1.3 Línea industrial

Industrias LAVCO afirma en su sitio web que “prestamos el servicio de reparación de cilindros compresores recíprocos, fabricación de pistones en hierro gris y aluminio. Contamos con tecnología de punta para el ensamble, reparación y mecanizado de gran variedad de piezas del sector industrial”.

LAVCO representa una larga trayectoria de responsabilidad y calidad destacada en la atención de servicios y productos en algunos sectores industriales de Colombia como:

Sector Oíl y gas: Reparación de cilindros compresores, fabricación de camisas para motores, anillos, pistones vástagos, fabricación de partes de compresores y reparación de culatas.

Ver figura 4.

Sector palma africana: Fabricación de partes para plantas de producción como: Parrillas para calderas, rejillas, canastas, conos, multiclones y piñones.

Sector alimentos: Diferentes tipos de rejillas sobre medidas.

Sector cementeras: Se realizan trabajos como babbitado de partes y reparaciones de cigüeñales.

Industrias LAVCO S.A.S ofrece el servicio completo de ensayos no destructivos E.N.D. Contando con todos los instrumentos, así como el personal capacitado, experimentado e idóneo para realizar estas pruebas.

Figura 4.

Cilindros compresores para el sector oíl y gas.



Nota. Tomada de <https://lavco.com.co>.

1.2 Ubicación

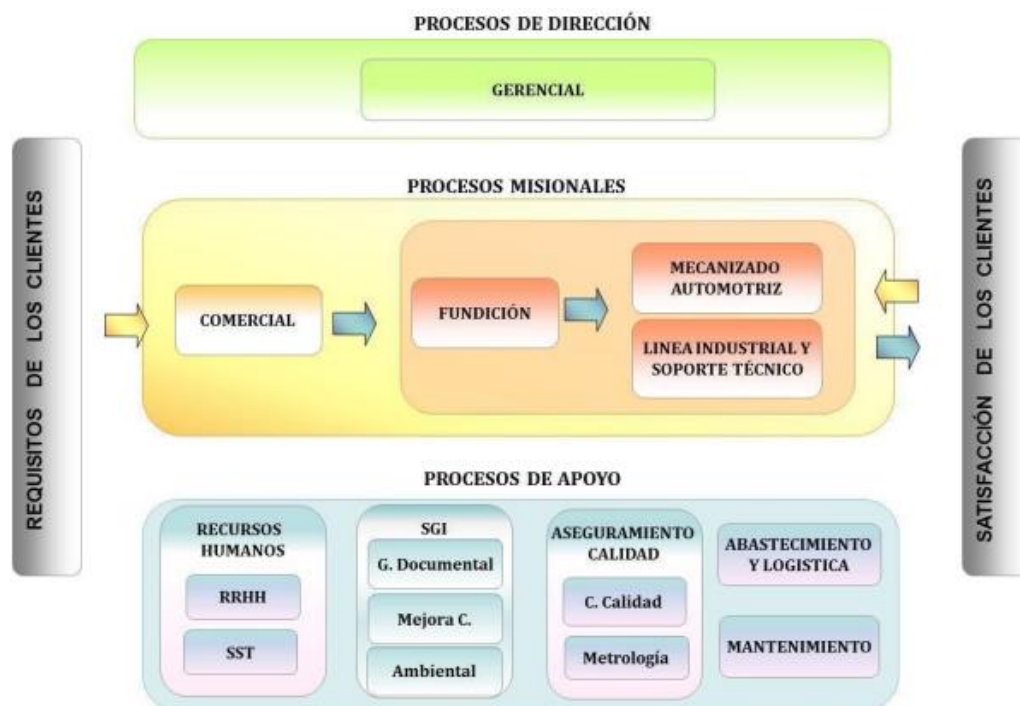
Sus instalaciones se encuentran ubicadas en la ciudad de Bucaramanga. Km 4 Autopista Floridablanca. Su teléfono es: 6076381921. Correo electrónico: info@lavco.com.co y página web: www.lavco.com.co. La empresa se encuentra en redes sociales: Instagram, Facebook y X.

1.3 Mapa de procesos

La figura 5 permite observar el mapa de procesos de LAVCO, el cual es una representación gráfica de la relación existente entre los procesos y subprocesos que hacen parte de la empresa. El proceso que se involucra en el presente trabajo de grado es el proceso de apoyo de mantenimiento, el cual es el encargado de asegurar que la infraestructura, máquinas y equipos se mantengan en condiciones adecuadas para su operación en pro de la satisfacción de los clientes.

Figura 5.

Mapa de procesos de Industrias LAVCO S.A.S.



Nota. Información tomada del sistema de gestión integral de Industrias LAVCO S.A.S.

2. Generalidades del proyecto

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un plan para el mejoramiento de los procesos de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S.

2.1.2 Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico de los procesos actuales del área de manteniendo, que permita identificar la situación actual de los procesos y factores críticos susceptibles a oportunidades de mejora.

2. Diseñar un plan de mejoramiento para los procesos involucrados, partiendo de los resultados obtenidos en el diagnóstico.

3. Implementar el plan de mejora que se desarrolle para los procesos del área de mantenimiento de la organización teniendo en cuenta la información del diagnóstico y previamente aprobado por los directivos de la empresa.

4. Formular un sistema de indicadores que permitan el seguimiento y control de las propuestas de mejora en el proceso de mantenimiento de la organización.

5. Socializar el plan de mejoramiento de los procesos con el personal de la organización.

2.2 Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos y el desarrollo del presente trabajo de grado en modalidad práctica empresarial, se implementó un conjunto de herramientas orientadas a generar el mejoramiento de los procesos de mantenimiento en Industrias LAVCO S.A.S y se encuentran descritas en las siguientes 5 etapas ordenadas en su respectiva aplicación, realizando los ajuste necesarios de acuerdo a los hallazgos obtenidos en el diagnóstico inicial.

2.2.1 Etapa 1. Introducción e identificación de la empresa

En esta etapa inicial del proyecto se hizo un reconocimiento de la empresa, de los procesos operativos de mayor importancia a través de una revisión documental que incluye: manuales de funciones, perfiles de cargos, portafolio de productos y su proceso productivo, asimismo se conocen las funciones que desempeñan el personal a cargo del área de mantenimiento, esto se realiza mediante visitas y observación directa al flujo de trabajo, con el propósito de comprender el funcionamiento de la empresa y las oportunidades de mejora presentes.

2.2.2 Etapa 2 Diagnóstico inicial de la empresa

Esta etapa es fundamental para el desarrollo del presente trabajo de grado porque permitió tener en detalle cómo se están ejecutando actualmente los mantenimientos en la empresa. Los resultados del diagnóstico inicial son pieza clave para el desarrollo de los objetivos establecidos.

Como primera actividad se realizó una revisión documental de los procedimientos de mantenimiento y la documentación digitalizada del área, así como los indicadores que se manejan para controlar las actividades referentes a los mantenimientos para identificar las falencias que se están presentando, luego se realizó una serie de entrevistas no estructuradas con: la gerente como directora del macro proceso, los líderes de las áreas relacionadas como clientes internos del área de mantenimiento y los técnicos que se encargan de la ejecución de las tareas de mantenimiento y fabricaciones necesarias para el desarrollo de las actividades.

Ante la falencia de indicadores efectivos para controlar las actividades del área de mantenimiento, se realizó una revisión de las solicitudes de mantenimiento generadas en los meses de julio de 2022 a junio de 2023, para identificar la programación de las órdenes de

trabajo, la duración de los mantenimiento correctivos, la implementación de los mantenimientos preventivos programados y recopilar datos pertinentes para medir el rendimiento del proceso de mantenimiento, así como la elaboración de diagramas de flujo de los procesos que se realizan en el área para visibilizar las actividades inmersas en el proceso y sus relaciones. Esta revisión documental presento retos importantes teniendo en cuenta que la información en los archivos no se encuentra estandarizada y en su mayoría aunque hay registro no contiene información relevante para el análisis.

Una vez obtenidos los datos del diagnóstico, se procedió a diseñar la propuesta del plan de mejoramiento para el área.

2.2.3 Etapa 3 Formulación de las propuestas para el plan de mejoramiento

Teniendo en cuenta el diagnóstico realizado al área de mantenimiento de LAVCO, se procedió a identificar y analizar las alternativas de mejora que se puedan implementar, de acuerdo con las necesidades inmediatas de la empresa y teniendo en cuenta los recursos económicos disponibles de la misma.

En este caso la propuesta de mejora se enfocó en la estructuración de un plan de mantenimiento eficaz, para mejorar la planeación de las actividades de mantenimiento y optimizar la ejecución de estos mediante: identificar y clasificar por importancia las máquinas, equipos o sistemas existentes, determinar el tipo de mantenimiento a cada equipo consignado en la ficha técnica y manual del fabricante de estos, realizar el análisis de la condición actual, distribuir los tipos de mantenimiento según las necesidades de cada máquina, estimar la frecuencia de cada mantenimiento para así estructurar cronogramas de trabajo, documentar los procedimientos y actividades en pro de la estandarización de los procesos, asignar responsabilidades en cada acción de mantenimiento de acuerdo a los cronogramas de trabajo y

realizar la distribución de cargas de trabajo entre los técnicos. El plan de mantenimiento integral comprendió el diseño un sistema de medición y seguimiento por medio de indicadores para el control de la implementación de las propuestas y los nuevos métodos de trabajo.

2.2.4 Etapa 4 Implementación de la propuesta de mejora

Posteriormente se abarcó el diseño de un plan de implementación y realización de las propuestas aprobadas por la gerencia y que estuvieron dentro de los tiempos del proyecto de grado, enfocadas en el mejoramiento de la ejecución de las tareas de mantenimiento desde su planeación hasta el control y mejora continua de las mismas para disminuir tiempos muertos del proceso y el mayor número de despilfarros. Incluyendo en esta etapa la capacitación necesaria para la implementación correctamente de los nuevos métodos de trabajo y registro sistemáticamente las tareas diarias que fortalezcan la gestión documental del área, con los líderes de proceso y los técnicos del área de mantenimiento en pro del mayor beneficio para LAVCO.

2.2.5 Etapa 5 Control y evaluación de los resultados obtenidos

Esta última etapa se realizó al finalizar la implementación de las respectivas propuestas de mejora que fueron aprobadas por la gerencia, se enfoca en el seguimiento y verificación del cumplimiento de los objetivos planteados.

Esta medición se realizó a través de un sistema de indicadores del área de mantenimiento que permita reflejar la efectividad del plan de mejoramiento implementado, con el propósito de mostrar los resultados obtenidos y garantizar que las falencias encontradas en la etapa de diagnóstico están siendo atendidas con la implementación de esta solución.

Para finalizar se presentaron a la gerencia de LAVCO los resultados obtenidos del mejoramiento realizado haciendo comparaciones con material fotográfico e indicadores que permitieron medir el impacto del trabajo de grado.

3. Planteamiento del problema

Para iniciar el desarrollo de este trabajo de grado se realizaron visitas y reuniones con la gerente y la tutora asignada en Industrias LAVCO S.A.S, quienes comentan que LAVCO consolida como una propuesta de valor el servicio al cliente, los tiempos de entrega y la calidad de sus productos, no obstante en ocasiones la promesa de entrega se ve afectada de forma negativa para sus clientes por interrupciones en las actividades productivas por motivo de fallas en los equipos y/o sistemas o porque estos no están en condiciones óptimas de operación, generando desperdicios en tiempo y sobrecostos al proceso productivo.

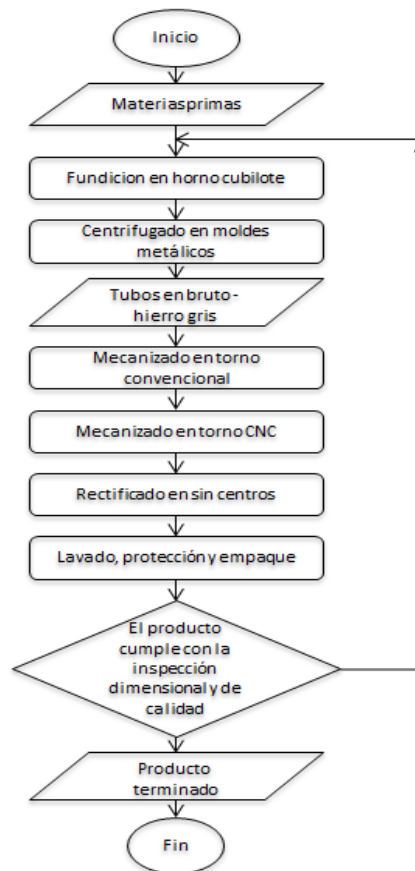
El diagnóstico del área de mantenimiento se apoyó en la revisión de los registros históricos de solicitudes de mantenimiento correspondientes al periodo 2022–2023, los cuales se presentan en el Apéndice B.

Actualmente LAVCO no cuenta con un plan de mantenimiento y control de los equipos de trabajo eficaz, lo que provoca que la atención del mantenimiento sea en su mayor parte correctivo y no preventivo o predictivo, sumado a que las actividades relacionadas con los mantenimientos varían según la necesidad del equipo y la especialidad requerida. De igual forma, la falta de estandarización de estos procesos, induce que un servicio de mantenimiento demore más de lo necesario generando sobrecosto. No obstante, se reconocen los innumerables esfuerzos realizados por los directivos de propender por una buena planeación para desempeñar

las laborales de manera eficiente y eficaz que fueron expuestos por las directivas durante las diferentes reuniones y visitas realizadas a la empresa.

Figura 6.

Contexto general del sistema productivo de Industrias LAVCO S.A.S.



Como se puede apreciar en la figura 6 el proceso productivo de la empresa se desarrolla bajo un esquema de flujo en línea, en el cual las paradas no programadas de equipos en especial en etapas iniciales como es el proceso de fundición afecta de manera directa la continuidad de las operaciones posteriores, evidenciando la criticidad del mantenimiento para cumplir con los tiempos de entrega de los productos a los clientes.

3.1 Conclusiones del diagnostico

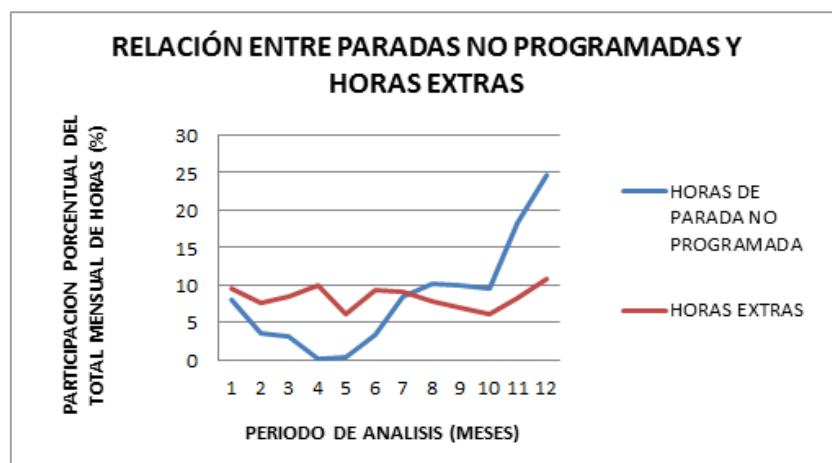
Durante los encuentros y las indagaciones realizadas a partir de encuestas, análisis de datos históricos, comparativas en horas disponibles de equipos y su incidencia sobre el exceso de horas extras del personal de producción. El análisis de causa y efecto, propuesto por Ishikawa, permite identificar de manera estructurada los factores que influyen en un problema operativo (Gutiérrez Pulido, 2012).

Como se evidencia en la figura 7, existe una relación directa entre el comportamiento de las horas de parada no programada de los equipos y el incremento de las horas extras del personal de producción a lo largo del periodo analizado.

Esta situación refleja la falta de planificación y control del mantenimiento de los equipos, afectando directamente la gestión de la mano de obra y los costos operativos de la empresa. En consecuencia, el mantenimiento correctivo no solo afecta la disponibilidad de los equipos para el cumplimiento de las entregas a los clientes, sino que adicionalmente incrementa la carga laboral del personal tanto operativo como del área de mantenimiento.

Figura 7.

Relación entre horas de parada no programada y horas extras del personal.



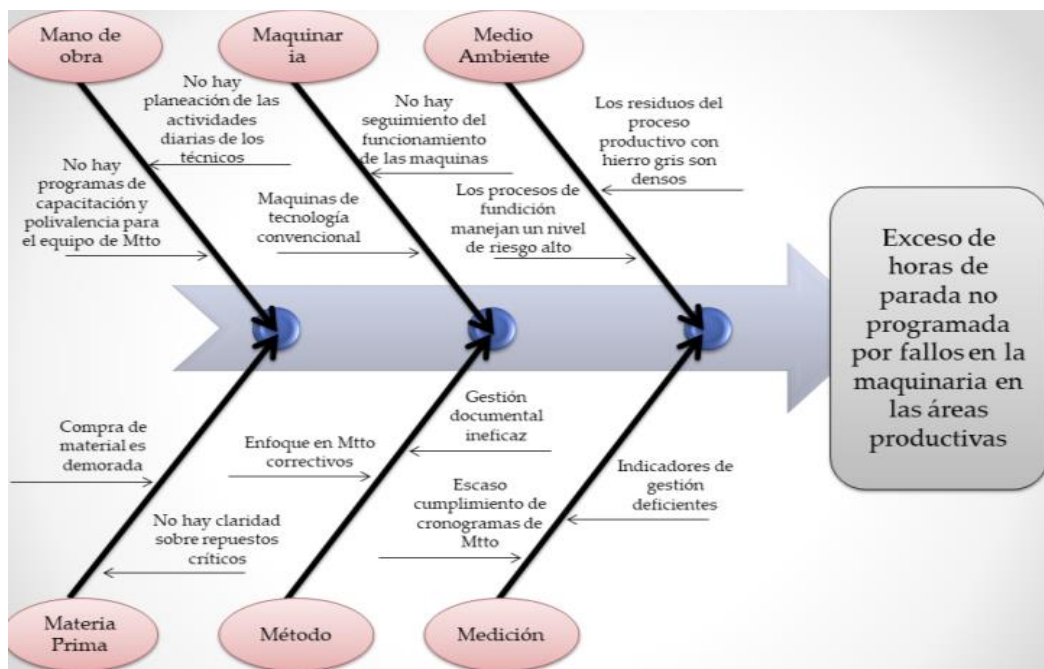
Nota. Elaboración propia a partir de históricos de Industrias LAVCO S.A.S. (2022-2023).

La figura 7 muestra la evolución mensual de la participación porcentual de las horas de parada no programada de los equipos y las horas extras del personal durante un periodo de 12 meses. Se observa una tendencia creciente y una relación directa.

Para LAVCO se analizaron 6 aspectos claves orientados en la búsqueda de las causas del exceso de paradas no programadas. Estos se traducen en los siguientes ámbitos: mano de obra, maquinaria, medio ambiente, materia prima, método y medición. Los análisis reflejan oportunidades de mejora encaminadas a la óptima gestión del mantenimiento en la organización como puede verse sintetizado en la Figura 8.

Figura 8.

Diagrama de causa y efecto.



De acuerdo con el diagrama Ishikawa y según los ámbitos identificados en el diagnóstico, en cuanto a la Mano de obra: Industrias LAVCO fue fundada en el año 1991 y actualmente cuenta con personal en toda la organización con amplios años de experiencia. Esto se consolida como una fortaleza operativa, ya que esta trayectoria permite tener un conocimiento amplio de

toda la carrera de crecimiento de la organización, del comportamiento histórico de los equipos y de las condiciones reales de operación. En el área de mantenimiento, tres de los cinco técnicos cuentan con 33 años experiencia en el área y los otros dos, seis y cinco años respectivamente, por lo que su pericia en la atención de la maquinaria es satisfactoria. Como se detalla en la tabla 2, esta distribución evidencia un alto nivel de pericia para la atención de la maquinaria crítica de la empresa.

Tabla 2.

Perfil y experiencia del personal del área de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S.

Técnico	Cargo	Años de experiencia	Nivel de criticidad del conocimiento	Riesgo operativo ante ausencia	Actividades críticas
Técnico 1	Fresador	33	Alto	Alto	Mantenimiento correctivo tornos convencionales
Técnico 2	Tornero	33	Alto	Alto	Fabricación de herramientas e insumos
Técnico 3	Control proceso	33	Medio	Medio	Mantenimiento correctivo compresores
Técnico 4	Electricista	6	Bajo	Medio	Mantenimiento correctivo planta eléctrica
Técnico 5	Soldador - Apoyo CNC	5	Medio	Medio	Mantenimiento correctivo torno CNC

Nota. Elaboración propia a partir de información suministrada por el área de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S.

No obstante, la elevada concentración de experiencia en un grupo reducido de técnicos representa un riesgo potencial para la continuidad operativa, en la medida en que gran parte del conocimiento no se encuentra documentado ni estandarizado. Adicionalmente, actualmente no dispone de un programa de polivalencia o gestión del conocimiento para hacer un relevo generacional de estos mecánicos. Como señala Chiavenato (2011), los procesos de capacitación

y desarrollo deben asegurar el relevo generacional para evitar la dependencia exclusiva de trabajadores con alta experiencia.

Esto sumado a la deficiencia en la gestión documental que enfrenta el área, implica que muchos de los procedimientos dependen exclusivamente de ellos, lo cual obstaculiza el flujo de trabajo y genera postergación en las labores cuando estos técnicos no están disponibles.

A propósito de la maquinaria: los procesos productivos de mecanizado y fundición son flujos de trabajo en línea, donde es necesario que todos los sistemas se encuentren en un estado óptimo para que el flujo de productos se dé con normalidad y así ir agregando valor al producto final.

Sumado al desempeño de cada equipo se debe tener en cuenta que la empresa en su mayoría posee equipos de tecnología convencional, estos equipos conservan componentes que por su antigüedad ya no son comerciales, por esto al realizar un mantenimiento ya sea preventivo o correctivo es consecuencia, el área de mantenimiento debe realizar la fabricación de estos componentes, aumentando así el tiempo de intervención de los equipos.

El fortalecimiento de los chequeos periódicos y los mantenimientos preventivos se convierte en una prioridad para LAVCO, ya que una parada no programada al inicio de la línea puede retrasar o inmovilizar todo el flujo de trabajo y su puesta en marcha puede ser muy demorado.

Respecto del medio ambiente: En los procesos de fundición y mecanizado se generan residuos provenientes de la transformación del hierro gris, los cuales dificultan las tareas de orden, mantenimiento y aseo de estas áreas, mucho más si se tiene en cuenta que la acumulación de estos residuos densos acelera el desgaste de los componentes y a la obstrucción de líquidos de lubricación en las máquinas, deteriorando su estado y generando fallas. Por ello, las actividades

de limpieza que realizan los operarios diariamente se convierten en una tarea fundamental en pro del óptimo funcionamiento y conservación de las máquinas.

Por otro lado, el riesgo presente en los días de fundición es muy alto debido al manejo de hierro fundido y altas temperaturas, de modo que una falla inesperada en alguno de estos equipos traería consecuencias graves para el talento humano y para la empresa.

Así mismo, en cuanto a la materia prima: para la ejecución y culminación de las actividades de mantenimiento es necesario contar con repuestos o materiales que pueden estar disponibles en: el área de mantenimiento donde cada técnico tiene una serie de suministros aprovechables; en el almacén de herramientas interno donde se dispone de insumos y herramientas de mayor rotación en toda la empresa y en el almacén de repuestos críticos donde se almacenan los repuestos que se consideran de mayor importancia para los tornos CNC y otros equipos críticos de LAVCO. Cuando los repuestos no están disponibles es necesario tramitar su adquisición por medio de solicitudes de compra que gestiona el área de abastecimiento, logística y compras.

Para que estas compras sean eficientes, es necesario contar con las especificaciones necesarias del insumo que se desea adquirir. No obstante, la documentación técnica existente de los equipos es incompleta. En consecuencia, es necesario iniciar el mantenimiento para extraer una muestra de las piezas y esperar a que este insumo sea comprado, tiempo que retrasa la puesta en marcha de las maquina afectando el ciclo productivo. Que, dependiendo de la disponibilidad del insumo, si su compra puede realizarse local o nacional, el tiempo pueden variar de 1 a 15 días hábiles.

Contar con información actualizada de los repuestos necesarios permite realizar compras programadas y así mantener un stock óptimo en la empresa que permita reducir los tiempos de espera en los mantenimientos y disminuir las demoras logísticas.

Respecto del método: actualmente hay deficiencias en la planeación del mantenimiento provocando que el mantenimiento en LAVCO tenga un enfoque ‘apaga incendios’, es decir, la atención se centra en los correctivos, dejando rezagados los mantenimientos preventivos o predictivos. Dado que no se programan las actividades y la ejecución de las tareas responde a solucionar lo que detiene el proceso productivo, la gestión documental del área se ve afectada: aunque los técnicos diligencian los formatos requeridos, muchas veces omiten información relevante para un próximo mantenimiento o no se logra determinar datos necesarios para la estandarización de las labores generando vacíos de información que impactarán en el tiempo de respuesta de estos.

Finalmente, en cuanto a la medición: El ciclo PHVA enfatiza la importancia de medir y verificar el desempeño para implementar acciones de mejora continua (ISO, 2015). Por esto se hace énfasis al estadio de Verificar, en atención al ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar). De ahí que la caracterización del proceso de mantenimiento involucre de modo específico las actividades de **Verificar** como el seguimiento al cumplimiento de los cronogramas y análisis de los indicadores, a fin de que en el **Actuar** se plantee acciones de mejora al proceso con los resultados obtenidos, pero en Industrias LAVCO como se presenta en la tabla 3, el área de mantenimiento no cuenta actualmente con un sistema estructurado de indicadores de gestión que controle y mida el proceso. Si bien existen registros parciales de intervenciones, estos no son analizados ni utilizados como insumo para la toma de decisiones.

En consecuencia, actualmente las directivas de la organización no conocen la verdadera disponibilidad de los equipos, los cumplimientos de los mantenimientos y cuánto representa financieramente este departamento para la empresa.

Tabla 3.

Estado actual y necesidad de indicadores de gestión del mantenimiento en LAVCO.

Indicador	Estado actual en LAVCO	Necesidad para la gestión del mantenimiento	Relación con el ciclo PHVA
Disponibilidad de equipos	No medido	Permite conocer el porcentaje real de horas en que los equipos están operativos y su impacto en el proceso productivo	Verificar - Actuar
Cumplimiento del plan de mantenimiento	No definido	Evalúa el grado de ejecución de las actividades programadas y permite identificar desviaciones en la planeación	Verificar - Actuar
MTTR (tiempo medio de reparación)	No calculado	Permite analizar la eficiencia en la atención de fallas y reducir tiempos improductivos de mantenimiento	Verificar - Actuar
MTBF (tiempo medio entre fallas)	No calculado	Facilita el análisis de confiabilidad de los equipos y la identificación de factores de fallas recurrentes	Verificar - Actuar
Relación entre mantenimiento preventivo y correctivo	No controlado	Evidencia el enfoque reactivo del mantenimiento y permite migrar hacia un esquema preventivo y predictivo	Planear - Verificar
Índice de paradas no programadas	Registrado parcialmente	Permite priorizar equipos críticos y focalizar acciones de mejora	Verificar

En conclusión, el área de Mantenimiento de Industrias LAVCO enfrenta un problema de falta de estandarización de los procesos de mantenimiento, deficiencia en la programación de actividad y ausencia de análisis de causa raíz de las fallas que afectan las máquinas y equipos generando entre el 2022 y 2023, con hasta 3.75 equipos no disponibles/mes que significa una afectación de aproximadamente un 20% disminución de piezas terminadas que ingresan a la bodega por mes. Estas debilidades del proceso provocan tiempos de mantenimientos extensos e

improductivos que coinciden con un aumento en horas extras y sobrecargos necesarios para cumplir con la entrega de pedidos. El detalle completo de las conclusiones obtenidas a partir del diagnóstico y análisis realizado se presenta en el Apéndice C.

La tabla 4 permite sintetizar de manera clara la relación entre los principales problemas identificados, sus causas raíz y la consecuencias operativas y económicas asociadas. Esta relación evidencia que las debilidades del proceso de mantenimiento no solo impactan la disponibilidad de equipos, sino que se extienden a la productividad, los costos y la gestión del talento humano.

Tabla 4.

Relación entre problemas identificados, causas y consecuencias en el área de mantenimiento de LAVCO.

Problema identificado	Causas principales	Consecuencias operativas y económicas
Paradas no programadas de equipos críticos en el proceso productivo	Ausencia de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo; falta de monitoreo de condición de los equipos	Interrupción del flujo productivo, retrasos en los tiempos de entrega y disminución de la disponibilidad de los equipos
Enfoque reactivo del mantenimiento	Deficiente planeación de actividades; priorización del mantenimiento correctivo; inexistencia de cronogramas estructurados	Aumento de fallas recurrentes y reducción de la confiabilidad de los equipos
Dependencia del conocimiento de los técnicos	Falta de programas de relevo generacional; ausencia de estandarización de los procesos	Riesgo operativo ante ausencias del personal clave, mayor tiempo de diagnóstico y ejecución de mantenimientos
Tiempos prolongados de intervención en mantenimientos	Demora en la adquisición de insumos e información técnica incompleta para su compra	Extensión de paradas de equipos, acumulación de trabajos pendientes y afectación del cumplimiento del plan de mantenimiento

Incremento de horas extras del personal de producción	Compensación de paradas no programadas y presión por cumplimiento de pedidos	Sobrecostos laborales, fatiga del personal y posible disminución del desempeño operativo
Falta de indicadores de gestión del mantenimiento	Inexistencia de un sistema de medición y registros no estandarizados	Imposibilidad de evaluar el desempeño del mantenimiento, toma de decisiones basada en la experiencia y no en datos
Deficiencias en orden y limpieza en el taller de mantenimiento	Ausencia de una correcta ubicación de herramientas y acumulación de residuos proveniente de las actividades de mantenimiento	Aceleración del desgaste de componentes, aumento de fallas mecánicas y riesgos para la seguridad del personal

Nota. Elaboración propia a partir del diagnóstico del área de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S.

Por lo anterior, se propone diseñar un plan de mejoramiento enfocado en la estructuración e implementación de un plan de mantenimiento integral acorde a las necesidades actuales de LAVCO que permita: la identificación y clasificación por importancia de las 178 máquinas equipos o sistemas con las que actualmente cuenta la empresa, el análisis de la condición actual, la distribución de los tipos de mantenimiento de acuerdo a su nivel de criticidad, la estimación de su frecuencia, la distribución de cargas de trabajo entre los técnicos e implementación de sistemas de seguimiento con un enfoque flexible y dinámico que permitan medir la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

4. Marco de referencia

4.1 Marco teórico

A continuación, se presentan los conceptos básicos de las herramientas utilizadas y la teoría empleada en el desarrollo de este trabajo de grado.

4.1.1 Concepto de proceso y gestión por procesos.

Según la Organización Internacional de Normalización (ISO, 2015) en la norma 9000:2015, define proceso como “conjunto de actividades mutuamente relacionadas que utilizan las entradas para proporcionar un resultado previsto” (p. 15). Cada actividad tiene un propósito y contribuye al logro de los objetivos propuestos, agregando valor al producto o servicio.

El proceso de mantenimiento en Industrias LAVCO es un proceso de soporte crítico cuyo rendimiento afecta directamente la disponibilidad de las líneas de producción como lo son: fundición y mecanizado; por tanto, debe ser tratado como proceso medible y mejorable.

Asimismo la gestión por procesos permite identificar, medir y mejorar continuamente procesos clave para garantizar el cumplimiento de metas organizacionales y de continuidad operacional (ISO, 2015).

4.1.2 Gestión del mantenimiento: conceptos y objetivos.

Heizer, J., & Render, B. (2015) definen mantenimiento como “las actividades que permiten mantener los equipos de un sistema en buen estado de funcionamiento” (p. 310). El mantenimiento es un proceso que abarca la gestión y ejecución de una serie de actividades específicas diseñadas para la conservación, reparación y funcionamiento de los equipos de una organización.

Sus objetivos operativos incluyen: maximizar la disponibilidad de los equipos, optimizar la confiabilidad, controlar costos y garantizar seguridad y cumplimiento normativo (Palmer, 2019).

La eliminación de despilfarros es un objetivo clave en la filosofía lean y el mejoramiento de procesos, según Sukani. (1987, como se citó en Ortiz Pimiento, 2014) la definición básica de despilfarro es “cualquier cosa que no sea utilizar o consumir el mínimo imprescindible de

equipo, materiales, componentes, espacio y tiempo del trabajador para añadir valor al artículo que se produce” (p. 83) esto implica eliminar actividades que no contribuye directamente al valor del producto o servicio final y a su vez a la satisfacción del cliente.

Estas metas se alcanzan combinando políticas (preventiva, correctiva, predictiva) y controlando mediante indicadores estandarizados (MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time To Repair), Cumplimiento MP, MP vs MC, gasto por parada (Gonzales Fernández, 2004).

4.1.3 Paradigmas modernos: Preventivo - Predictivo - Mantenimiento basado en condición.

Según Dounce (2014), el mantenimiento correctivo se describe como “servicios de inspección, control, preservación y restauración de un ítem que opere como sistema abierto con la finalidad de corregir fallas” (p. 16). Siendo el enfoque correctivo necesario para continuar la producción y el inicio del mantenimiento en la industria, este ha evolucionado del mantenimiento preventivo cuando la prioridad era la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos hacia enfoques basados en condición y predictivos que emplean monitoreo (vibración, termografía, análisis de aceite, IoT y modelos de datos) para anticipar fallas y optimizar intervenciones. La tabla 5 sintetiza esta evolución y compara los principales enfoques de mantenimiento, destacando sus características, ventajas y limitaciones.

Incluir revisiones de los sistemas presenten en la maquina durante su operación es posible si se integran con estrategias apoyadas por datos y técnicas de machine learning para la predicción de fallas.

Tabla 5.

Comparación de enfoques de mantenimiento.

Enfoque	Características principales	Ventajas	Limitaciones
----------------	------------------------------------	-----------------	---------------------

Correctivo	Intervención posterior a la falla para restablecer la operación (Dounce, 2014).	Baja inversión inicial.	Paradas no programadas y altos costos indirectos.
Preventivo	Intervenciones periódicas programadas según tiempo o uso del equipo.	Mejora la disponibilidad y confiabilidad.	Riesgo de sobre-mantenimiento.
Predictivo / Basado en condición	Monitoreo del estado del equipo mediante vibración, termografía, análisis de aceite y datos.	Anticipa fallas y optimiza intervenciones.	Requiere tecnología y capacitación.

Ante la heterogeneidad de equipos que cuenta Industrias LAVCO y la necesidad de reducir paradas no programadas, es necesario evolucionar el enfoque del mantenimiento correctivo hacia los mejores modelos de mantenimiento enfocados en la prevención y el autocuidado para extender la vida útil de los equipos.

4.1.4 Enfoques metodológicos: TPM, RCM y planificación programada.

En todas las organizaciones existen procesos de toma de decisiones que involucran una gran cantidad de recursos, productos y servicios. Es indispensable enfocar los recursos de forma eficiente. Es por esto que el análisis de criticidad pretende establecer cuáles son los componentes de un sistema que se consideran indispensables o tienen un impacto significativo en los objetivos y operaciones de la organización para distribuir los recursos de mantenimiento de manera más efectiva.

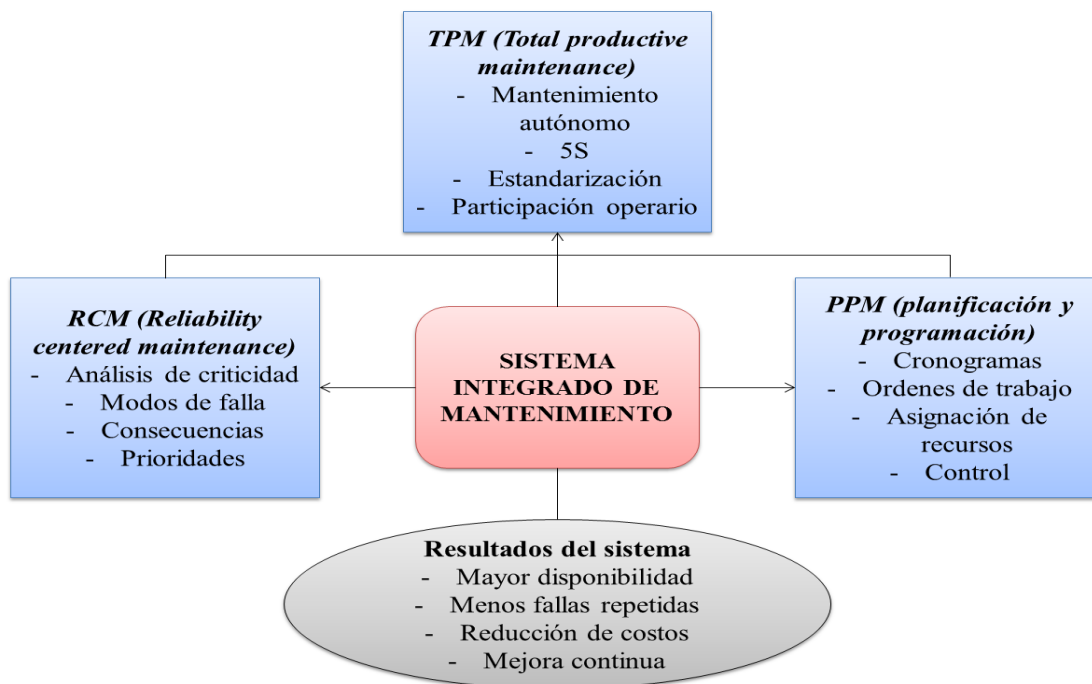
De acuerdo con Canahua Apaza (2021), enfoques como el Mantenimiento Productivo Total (TPM) aportan significativamente a la mejora de la efectividad de los equipos, al promover la participación activa de los operarios mediante el mantenimiento autónomo, la aplicación de las 5S y la estandarización de tareas. Estas prácticas fortalecen el cuidado diario de los activos y contribuyen a la reducción de fallas operativas.

De manera complementaria, el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) permite establecer políticas de mantenimiento óptimas a partir del análisis de los modos de falla, sus consecuencias y la prioridad de los activos, integrando mantenimiento preventivo, predictivo y reactivo. Este enfoque es ampliamente utilizado en entornos industriales complejos y está respaldado por guías técnicas especializadas (National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2008).

Como se observa en la figura 9, la integración de los enfoques TPM y RCM está soportada por el análisis de criticidad. Este incluye: identificación de elementos críticos, evaluación de consecuencias, evaluación de probabilidad de falla, clasificación de equipos de acuerdo al nivel de criticidad y asignación de recursos de manera proporcional. Para esto la planificación y programación de mantenimiento es clave para el éxito de los procesos de mantenimiento, la planificación (qué, cómo y con qué) y la programación (calendarizar y asignar) son prácticas necesarias para reducir el enfoque “apaga incendios”; manuales especializados describen procesos, métricas y roles para mejorar la eficiencia de la unidad de mantenimiento (Palmer, 2019).

Figura 9.

Integración TPM–RCM–PPM en el sistema de mantenimiento.



En el caso de Industrias LAVCO, integrar prácticas de TPM: como la autonomía del operario y las 5S, con la priorización por criticidad propia del RCM y una planificación basada en cronogramas y órdenes de trabajo programados, nos ha permitido visualizar un panorama de trabajo más concreto. Esta combinación facilita reducir los tiempos de respuesta y evitar la repetición de fallas que afectan la operación diaria y generan sobrecostos.

4.1.5 Herramientas de diagnóstico y análisis (Pareto, causa-efecto, AMEF)

Las herramientas cualitativas y cuantitativas permiten identificar las fallas más frecuentes y sus causas raíz para priorizar acciones. Estas metodologías son complementarias: Diagrama de Pareto, que identifica el 20% de fallas que generan el 80% de las pérdidas y orienta la priorización; Diagrama causa-efecto (Ishikawa), que organiza causas potenciales y permite generar una estructura; Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), que cuantifica riesgos según severidad, ocurrencia y detección.

Para la aplicación de esta herramienta en el presente trabajo de grado se identifican las causas a partir de las 6M: Mano de obra, Maquinaria, Medio ambiente, Medición, Método,

Materia Prima. Estas categorías ayudan a organizar y clasificar las posibles causas del exceso de paradas no programadas que afecta el proceso productivo de LAVCO, este diagrama de Ishikawa permite centrarse en las causas principales para comprender sus raíces y desarrollar soluciones efectivas.

4.1.6 Mejora continua y Lean aplicado al mantenimiento

La filosofía Lean Manufacturing propone la reducción de despilfarros y entre sus prácticas se encuentra la metodología 5S, que promueve clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina. En la industria metalmecánica, la aplicación de metodologías como lo son 5S ha reducido significativamente los tiempos de búsqueda y mejorado la seguridad (Burgos Puerta & Ciendúa Monroy, 2016).

Las prácticas Lean impactan directamente en la eficiencia del mantenimiento: reducción de tiempos de búsqueda, control de repuestos, seguridad y mejor flujo de trabajo. Estudios de caso muestran mejoras significativas en tiempos de intervención y condiciones de trabajo tras implementación de 5S combinada con estandarización de procedimientos.

Su implementación en el taller de mantenimiento de LAVCO favorecerá la estandarización de procesos y la cultura de mejora continua mediante una serie de intervenciones de mantenimiento (estandarización de herramientas y ubicación de repuestos) para disminuir tiempos improductivos y errores en la ejecución, al mismo tiempo será coadyuvante en mejorar la armonía de los puestos de trabajo generando ambientes más cómodos.

4.1.7 Indicadores de desempeño en mantenimiento (KPI).

Los indicadores de desempeño permiten evaluar de manera objetivo la eficiencia, efectividad y control de los procesos de mantenimiento. En el presente trabajo de grado se emplean los principales indicadores que facilitan la medición del impacto de las mejoras

implementadas (Wireman, 2009). A continuación, se muestran los indicadores con sus expresiones matemáticas.

Disponibilidad (A).

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Dónde *Mean Time Between Failures (MTBF)* corresponde al tiempo medio entre fallas del equipo y *Mean Time Repair (MTTR)* representa el tiempo medio requerido para reparar una falla y restablecer la operación.

Confiabilidad (R).

Función de probabilidad de que un equipo opere sin falla durante un intervalo específico; puede estimarse por MTTF/MTBF según contexto.

Relación mantenimiento preventivo frente a mantenimiento correctivo (MP vs MC).

$$\%MP = \frac{\text{Horas de MP}}{\text{Horas de MP} + \text{Horas de MC}} \times 100$$

Dónde *Horas de MP* corresponden al tiempo dedicado a actividades de mantenimiento preventivo y *Horas de MC* al tiempo empleado en mantenimiento correctivo.

Cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo.

$$\%\text{Cumplimiento} = \frac{\text{MP ejecutados}}{\text{MP programados}} \times 100$$

Dónde *MP ejecutados* corresponde al número de actividades preventivas realizadas en un lapso y *MP programados* al número de actividades planificadas en el mismo periodo.

Costo de mantenimiento.

Corresponde a la suma de los costos asociados a mano de obra, repuestos y servicios; se expresa como porcentaje del costo total.

Tiempo de parada no programada y costo de parada.

Estos indicadores cuantifican, respectivamente, las horas de indisponibilidad no planificadas de los equipos y su impacto económico asociado a dichas paradas. Estas métricas monetarias y de horas que deben registrarse por orden de trabajo.

Para LAVCO, estos indicadores servirán como guía para determinar si las mejoras propuestas realmente aumentan la disponibilidad y reducen los tiempos muertos, por otra parte la implementación de estos indicadores permite conocer el proceso de mantenimiento.

4.1.8 Análisis de criticidad y priorización de activos

El análisis de criticidad clasifica los equipos en categorías (A, B o C) según impacto económico, operativo y de seguridad. Este análisis es la base para asignar recursos y los tipos de mantenimiento teniendo en cuenta la razón de costo/beneficio como, por ejemplo: predictivo para equipos críticos, preventivo para intermedios y correctivo planeado en equipos de bajo impacto, en estos equipos puede ser más rentable la reparación después de la falla que el costo administrativo y operativo del mantenimiento preventivo y predictivo (NASA, 2008).

Actualizar la matriz de criticidad para incluir todos los equipos activos permitirá focalizar esfuerzos en los equipos de mayor relevancia para la producción y poder asociarla directamente al cronograma de mantenimiento y a los indicadores. Dados los constantes cambios de la industria es importante que la matriz de criticidad sea una herramienta dinámica y permita su actualización anualmente de acuerdo a las necesidades actuales de la compañía.

4.1.9 Integración digital y tendencias (IoT, análisis de datos y mantenimiento predictivo).

Desde la década de los 2000, el mantenimiento tuvo un nuevo enfoque hacia el mantenimiento predictivo. Según Mobley (2002), la predicción de fallas a través de análisis de aceites, termografías, estudios de vibración y la ultrasonografía constituye una de las estrategias

más efectivas para reducir tiempos de paradas no programadas en equipos críticos para el proceso.

Estas técnicas integradas con el análisis de datos permiten registrar, almacenar, analizar y tomar decisiones en tiempo real sobre las intervenciones a realizar a los equipos y su nivel de urgencia.

En la experiencia de LAVCO, la implementación de un mantenimiento predictivo puede ser un gran paso; por ello, es importante comenzar con un piloto sencillo de monitoreo (vibración/temperatura) en equipos críticos como tornos CNC, con el fin de evaluar beneficios antes de ampliarlo al resto de equipos. Esto permitirá generar evidencia para justificar una intervención completa, orientada al fortalecimiento de los puntos débiles de los equipos sin depender exclusivamente de la experticia de los técnicos.

4.1.10 Planificación y programación del mantenimiento.

La planificación y programación del mantenimiento (PPM) constituye la disciplina que permite organizar y optimizar los recursos necesarios para ejecutar las actividades de mantenimiento de forma eficaz, permitiendo una coordinación entre el momento adecuado, los repuestos idóneos y la mano de obra disponible. Palmer (2019) señala que una planificación deficiente da como resultado sobrecostos significativos, aumento de tiempos improductivos y la dependencia del mantenimiento correctivo.

La planificación se centra en definir qué trabajos deben realizarse, cómo ejecutarlos y qué recursos son necesarios. Incluye la preparación de procedimientos, listas de repuestos, asignación de roles, tiempos estándar y medidas de seguridad asociadas a cada tarea.

Por su parte, la programación traduce los planes en calendarios operativos, asignando actividades a intervalos de tiempo definidos, de acuerdo con la criticidad de los activos, la disponibilidad de recursos y las ventanas de producción.

Las etapas clave de la planificación y programación incluyen:

1. Identificación de necesidades: recopilación de fallas, diagnósticos y solicitudes de trabajo.
2. Planificación técnica: definición del alcance, recursos, repuestos, tiempos estándar y procedimientos.
3. Programación operativa: planificar la programación de actividades en el corto, mediano y largo plazo.
4. Ejecución y retroalimentación: cumplimiento de las órdenes de trabajo y captura de datos reales.
5. Control y mejora continua: análisis de desviaciones, uso de indicadores (cumplimiento, horas efectivas) y ajustes al plan (Palmer, 2019).

La implementación de un sistema formal de planificación y programación permitirá que las actividades de mantenimiento en LAVCO se alejen del enfoque “apaga incendios” y evolucionen hacia un modelo estandarizado, documentado y medible. Esto facilitará la asignación de cargas de trabajo entre técnicos, reducirá el tiempo improductivo en la fabricación de repuestos y mejorará la confiabilidad de los equipos críticos de fundición y mecanizado.

5. Formulación de las propuestas para el plan de mejoramiento

5.1 Problema que pretende resolver

Como se puede evidenciar en los resultados del diagnóstico inicial, se identificó que las actividades de mantenimiento en Industrias LAVCO presentan falencias y demoras ocasionadas principalmente por la falta de estandarización de los procesos, una planificación insuficiente de actividades y la inexactitud en los insumos requeridos para las reparaciones y fabricaciones. Estas situaciones sumadas al enfoque “apaga incendios”, genera que los procesos productivos y la entrega de productos y servicios ofrecidos a los clientes se vean afectados negativamente.

Por estas razones el desarrollo del presente trabajo de grado busca recopilar información y documentar las actividades de mantenimiento, con el propósito de normalizar los procesos y facilitar la transferencia y difusión del conocimiento entre el equipo. De igual manera, se pretende promover junto con los nuevos métodos de trabajo un cambio en la cultura organizacional por medio de la implementación de estrategias basadas en la metodología 5S

5.2 Descripción de las propuestas

5.2.1 Propuesta 1. Plan integral de mantenimiento para Industrias LAVCO SAS

El objetivo principal de la práctica empresarial es formular un plan de mantenimiento integral que sea controlable y medible, y que contribuya al fortalecimiento de los procesos de planeación y ejecución de las acciones de mantenimiento en pro de la reducción de tiempos muertos y fallas recurrentes.

Para lograrlo, se plantean realizar las siguientes actividades:

- a. Identificación de activos

Comprende las actividades de:

- Elaboración de un inventario actualizado de equipos (incluye determinar los últimos mantenimientos realizados y registrados en las solicitudes de mantenimiento y el estado actual del equipo).

- La actualización de los planos de localización de los equipos en sus diferentes áreas (incluye la publicación en cada sección con la codificación LAVCO de cada equipo).

La implementación del inventario de equipos y su estructura (ver tabla 6) se fundamenta en los lineamientos presentes en la gestión de activos establecidos en la norma ISO 55000, en esta norma se resalta la importancia de tener información completa y confiable para la toma de decisiones (ISO, 2014).

Tabla 6.

Estructura del inventario de activos de las áreas productivas de LAVCO.

Campo	Descripción	Tipo de información	Finalidad en la gestión del mantenimiento
Código del activo	Identificación única asignada al equipo según la codificación interna LAVCO	Alfanumérico	Permite la trazabilidad del equipo y su identificación rápida en registros y planos
Nombre del equipo	Denominación técnica o común del activo	Texto	Facilita la identificación del equipo
Área / proceso	Ubicación del equipo dentro de la empresa	Texto	Relaciona el equipo con el proceso productivo (mecanizado, fundición, industrial, mantenimiento, etc.)
Estado actual	Condición operativa del equipo al momento del inventario	Texto	Facilita la toma de decisiones sobre la intervención
Fecha ultimo mantenimiento	Fecha de la última intervención registrada	Fecha	Control histórico de mantenimientos
Tipo de mantenimiento	Preventivo, correctivo o predictivo	Texto	Apoya el análisis de fallas
Observaciones	Comentarios relevantes sobre el estado o condición del equipo	Texto	Complementa la información técnica del activo

Entregable: Archivo de Excel con los equipos inventariados y la información de cada uno junto con los planos de localización actualizados.

b. Clasificación por importancia

Consiste en la revisión de la matriz de criticidad existente de los equipos e incluir los equipos que aún no cuentan con una valoración inicial. Esta clasificación permitirá la priorización de las actividades de mantenimiento según el impacto en la operación (Wireman, 2009). Asimismo, la destinación de recursos disponibles por nivel de criticidad.

Entregable: Archivo de Excel con la matriz de criticidad actualizada.

c. Determinar tipo de mantenimiento para cada equipo (Preventivo - Predictivo - Correctivo)

Teniendo en cuenta los criterios de la tabla 7, la ficha técnica de cada equipo y su clasificación en la matriz de criticidad se determina qué tipos de mantenimiento deben realizarse periódicamente, su tiempo estimado de ejecución dependiendo de los puntos críticos de cada equipo.

Tabla 7.

Asignación del tipo de mantenimiento por nivel de criticidad.

Nivel de criticidad	Descripción del impacto	Tipo de mantenimiento asignado	Justificación técnica
Crítico	La falla del equipo detiene total o parcialmente el proceso productivo, afecta la seguridad del personal o compromete la calidad del producto final	Preventivo y Predictivo	Requiere alta confiabilidad operativa; el mantenimiento predictivo permite anticipar fallas y el preventivo reduce la probabilidad de paradas no programadas
Medio	La falla afecta la eficiencia del proceso, pero no genera paro total ni riesgos críticos	Preventivo y Correctivo	Se implementan rutinas preventivas esenciales y correctivos programados según disponibilidad operativa

Bajo	Equipos de apoyo cuya falla no interrumpe la operación principal	Correctivo	El mantenimiento correctivo resulta técnicamente y económicamente viable debido al bajo impacto del equipo en la operación
------	--	------------	--

La asignación del tipo de mantenimiento por nivel de criticidad permite optimizar el uso de recursos disponibles, así como disminuye su impacto negativo en el flujo del proceso productivo.

Entregable: Archivo de Excel con los equipos que fueron inventariados, los tipos de mantenimiento que se le asignan según la matriz de criticidad.

d. Establecer frecuencia y construcción de cronogramas de mantenimiento

Se elaboraran dos cronogramas de mantenimiento: preventivo y de infraestructura. Cada cronograma debe incluir la descripción del mantenimiento a ejecutar, la fecha del último mantenimiento realizado, el técnico que desarrolla o apoya el mantenimiento dependiendo del tipo de actividad ya sea mecánica, hidráulica, eléctrica o neumática y la fecha del próximo mantenimiento según las recomendaciones de la ficha técnica y/o fabricante. En los cronogramas de mantenimientos también se debe incluir si es necesario apoyo externo como proveedores o contratistas. La elaboración de cronogramas de mantenimiento en LAVCO permite fortalecer la planeación y control operacional (Chiavenato, 2011).

Entregable: Archivo de Excel con el cronograma de infraestructura y mantenimiento preventivo correspondiente a un lapso de 12 meses.

e. Realizar documentación de procedimientos y medición del trabajo.

Mediante la observación directa se identificarán tiempos improductivos y despilfarros presentes en las actividades periódicas de mantenimiento. Después de identificarse se determina

cuales pueden minimizarse o eliminarse, utilizando una técnica de medición de trabajo, como el estudio de tiempo en actividades periódicas de mantenimiento preventivo, para proponer mejoras y estandarización de procedimientos.

Tabla 8

Formato base de estudio de tiempos en actividades de mantenimiento

Campo	Descripción
Tipo de mantenimiento	Predictivo, preventivo o correctivo
Naturaleza de la actividad	Actividad rutinaria, programada, servicio no periódico o intervención correctiva
Descripción de la actividad	Descripción general de las actividades de mantenimiento
Elemento del trabajo	Desglose de la actividad en tareas específicas
Tiempo observado	Tiempo cronometrado por cada elemento del trabajo
Numero de observaciones	Cantidad de repeticiones medidas para asegurar representatividad
Tiempo promedio observado	Promedio de los tiempos observados por elemento
Calificación del desempeño (R)	Evaluación del ritmo de trabajo del operario respecto al estándar normal
Tiempo normal (Tn)	Tiempo promedio observado ajustado por la calificación del desempeño
Suplementos (%)	Porcentaje asignado por fatiga, necesidades personales o demoras inevitables
Tiempo estándar (Te)	Tiempo normal incrementado por los suplementos
Tiempo improductivo identificado	Tiempos de espera, desplazamientos, reprocesos o interrupciones
Duración total de la intervención	Suma de los tiempos estándar de todos los elementos

Condiciones de trabajo	Observaciones sobre el entorno, accesibilidad, seguridad y recursos
Observaciones	Comentarios relevantes para la mejora del método y la estandarización

La tabla 8 presenta el formato de estudio de tiempos fue adaptado a las condiciones del área de mantenimiento, considerando la variabilidad en la duración de las intervenciones y su frecuencia.

La aplicación del estudio de tiempos se desarrollara durante la fase de implementación del plan de mantenimiento, conforme al cronograma establecido, priorizando las actividades de mayor criticidad y oportunidades de mejora. Los resultados obtenidos serán utilizados para ajustar los tiempos estándar de las actividades programadas.

Entregable: Archivo de Word con la documentación resultante de la observación directa.

5.2.2 Propuesta 2. Implementación metodología 5S

Antes de iniciar cualquier plan de mejoramiento, es necesario realizar un plan de implementación de la metodología 5S para el área de mantenimiento, esto permite mejor las condiciones y organización del área de trabajo, así como la eficiencia operacional (Nakajima, 1998). La figura 10 presenta el ciclo de implementación de la metodología aplicada al área de mantenimiento, el cual se fundamente en los principios propuestos por Hirano (1995) y Nakajima (1998).

Figura 10

Ciclo de implementación de la metodología 5S en el área de mantenimiento



Nota. Elaboración propia.

a. Seiri: Clasificación u organización. (Nakajima, 1998).

Clasificar los elementos útiles e inútiles presentes en su área de trabajo, mediante la eliminación de elementos innecesarios de los puestos de trabajo. Esto se lleva a cabo por medio de la identificación de los elementos con una etiqueta roja que cada técnico debe colocar a los elementos inútiles dentro de su espacio de trabajo.

b. Seiton: Orden. (Hirano, 1995)

Ubicar de los elementos de trabajo en el lugar correcto, esto permite que todos los elementos necesarios sean fáciles de encontrar, ubicar y utilizar. Posteriormente se delimitaran las secciones de trabajo.

c. Seiso: Limpieza. (Hirano, 1995)

Realizar la limpieza general del lugar de trabajo y promover su conservación.

d. Seiketsu: Estandarización. (Hirano, 1995)

Formalizar los planos, políticas requeridas que dicte el orden de los elementos en el sitio de trabajo generadas en conjunto por la gerencia, el jefe del área y técnicos de mantenimiento.

e. Shitsuke: Disciplina. (Hirano, 1995)

Diseñar un formato de inspección y seguimiento que permita garantizar el cumplimiento y mantenimiento del programa 5S.

Con el fin de evaluar de manera objetiva la efectividad de la implementación de la metodología 5S en el área de mantenimiento, se definieron indicadores que permiten medir el grado de cumplimiento, el impacto en las condiciones de orden y limpieza, así como la apropiación de la metodología por parte del personal. En la tabla 9 se presentan los indicadores propuestos, junto con su método de medición, frecuencia de evaluación y responsables.

Tabla 9

Indicadores de evaluación del programa 5S

Indicador	Descripción	Método de medición	Frecuencia de evaluación	Responsable	Resultado esperado
Nivel de cumplimiento 5S	Porcentaje de cumplimiento de los criterios establecidos para cada "S" en el área de mantenimiento	Lista de chequeo 5S y auditoría visual	Mensual	Autora / Jefe de mantenimiento	≥ 85 % de cumplimiento
Índice de orden del área	Grado de organización de herramientas, equipos y materiales	Inspección visual y verificación de señalización	Mensual	Comité 5S	Reducción de desorden y tiempos de búsqueda
Índice de limpieza	Estado de limpieza general del área y de los equipos	Auditoría visual y registro fotográfico	Mensual	Comité 5S	Área limpia y condiciones seguras
Tiempo de búsqueda de herramientas	Tiempo promedio requerido para localizar herramientas y elementos de	Medición directa antes y después de la implementación	Quincenal	Autora	Reducción ≥ 30 %

Número de elementos innecesarios	trabajo Cantidad de elementos identificados y retirados del área de mantenimiento	Registro de etiquetas rojas	Durante implementación	Comité 5S	Eliminación de elementos sin uso
----------------------------------	--	-----------------------------	------------------------	-----------	----------------------------------

Los indicadores definidos en la tabla 9 permiten realizar un seguimiento al programa, facilitando la identificación de oportunidades de mejora y la toma de acciones correctivas oportunas. Contribuyendo a la mejora continua de las condiciones de trabajo y a la eficiencia operativa del área de mantenimiento de Industrias LAVCO.

5.2.3 Propuesta 3. Diseño de formatos para registro de información

Como complemento del plan de mantenimiento integral, se sugiere el fortalecimiento de la gestión documental y del conocimiento del área, mediante el diseño de nuevos formatos, la modificación de los formatos existentes y la creación de documentos digitales para el registro de información relevante de los equipos intervenidos así como de los procesos de mantenimiento ejecutados, esta propuesta debe estar acompañada de jornadas de capacitación de los involucrados.

Los formatos propensos a modificaciones son los siguientes:

- a. Crear registro y análisis de fallas (Digital)

Crear un formato en Excel para el registro de fallas presentadas, cada falla se identificará con un número consecutivo de esta manera en una pestaña complementaria se pueden establecer las causas y consecuencias probables de la falla por medio de un análisis de modo y efectos de falla AMEF.

- b. Diseño de formato solicitud de fabricación (Físico)

Diseñar un formato físico exclusivo para la fabricación de herramientas o accesorios, que incluya los datos generales de la fabricación, la cantidad fabricada, quien entrega y recibe, los materiales utilizados, el plano del componente o una representación gráfica de este.

c. **Modificación de formato solicitud de mantenimiento (Físico)**

La propuesta de modificación consiste en incluir un espacio para identificar los repuestos utilizados, observaciones importantes del mantenimiento a tener en cuenta, así como ampliar el espacio disponible para la lista de actividades realizadas durante el mantenimiento. Para esto es recomendable eliminar la copia en papel químico con la que se cuenta actualmente para así aprovechar el respaldo de la hoja del formato existente.

Con el fin de sintetizar la propuesta de fortalecimiento de la gestión documental del área y facilitar su comprensión, en la tabla 10 se presenta un resumen de los formatos propuestas, indicando su propósito dentro del plan de mejoramiento.

Tabla 10

Relación de formatos propuestos y propósito

Formato propuesto	Tipo	Propósito dentro del plan de mantenimiento
Registro y análisis de fallas	Digital	Documentar y analizar las fallas presentadas en los equipos mediante AMEF, con el fin de reducir fallas recurrentes y mejorar la confiabilidad
Solicitud de fabricación	Físico	Controlar y registrar las fabricaciones internas de herramientas y accesorios, garantizando trazabilidad y orden documental
Solicitud de mantenimiento (modificado)	Físico	Mejorar el registro de las actividades realizadas, los repuestos utilizados y las observaciones técnicas relevantes durante la intervención

La información recolectada a través de estos formatos permitirá fortalecer la trazabilidad de los mantenimientos realizados, preservar el conocimiento técnico del área y servir como insumo para la planeación, el control y la mejora continua de las actividades de mantenimiento.

5.3 Plan de implementación

Plantear el diseño de un plan de implementación y realización de las propuestas aprobadas por la gerencia y que estén dentro de los tiempos del proyecto de grado, enfocadas en el mejoramiento de la ejecución de las tareas de mantenimiento desde su planeación hasta el control y mejora continua de las mismas para disminuir tiempos muertos del proceso y el mayor número de despilfarros. El plan de implementación se presentará en las siguientes etapas (ver tabla 11, 12 y 13):

5.3.1 Propuesta 1. Plan integral de mantenimiento para Industrias LAVCO SAS

Tabla 11.

Cronograma de actividades de la propuesta 1.

Actividad	Responsable	Recursos	Tiempo estimado
Identificación de activos de la empresa	Jefe de mantenimiento, auxiliar contable, autora	Listado de equipos, software de Excel, acceso a la planta de mecanizado, Fundición e industrial, plano previos de la empresa y la ubicación de las máquinas, cámara fotográfica	21 días
Clasificar los activos por importancia	Gerente, jefes de área	Matriz de criticidad existente, documento con criterios definidos para clasificación de equipos, reuniones con	7 días

		líderes de proceso, datos históricos de fallas año 2022-2024	
Determinar el tipo de mantenimiento para cada activo	Jefe de mantenimiento, técnicos de mantenimiento, autora	Fichas técnicas de los equipos, manuales, matriz de criticidad actualizada, reuniones técnicas con los técnicos de mantenimiento y líderes de proceso	21 días
Establecer frecuencias y construcción de cronogramas de mantenimiento	Autora	Software Excel, historias de mantenimiento 2022-2024, manuales, disponibilidad de personal	30 días
Medición de trabajo y documentación	Autora	Formatos de estudio de tiempos, cronometro, registro de mantenimiento, acceso a planta	14 días

5.3.2 Propuesta 2. Implementación metodología 5S

Tabla 12.

Cronograma de actividades de la propuesta 2.

Actividad	Responsable	Recursos	Tiempo estimado
Conformación del comité 5S	Jefe de mantenimiento, técnicos de	Reuniones con los involucrados, asignación de roles	2 días

mantenimiento, Autora			
Capacitación del personal de mantenimiento en 5S	Autora	Presentaciones teóricas, material audiovisual, carteleras, material pedagógico sobre 5S	6 días
Implementación del programa 5S	Jefe de mantenimiento, técnicos de mantenimiento, Autora	Etiquetas rojas de marcación, sacos, señalización visual, carreta, herramientas de limpieza	30 días
Evaluación y análisis de las mejoras	Autora	Formato de auditoria 5S, listas de chequeo, visitas a taller de mantenimiento	2 días
Socialización de los resultados	Gerencia, jefe de mantenimiento, técnicos de mantenimiento, autora	Informe sobre implementación, reunión con gerencia, socialización con los involucrados	1 día

5.3.3 Propuesta 3. Diseño de formatos para registro de información

Tabla 13.

Cronograma de actividades de la propuesta 3.

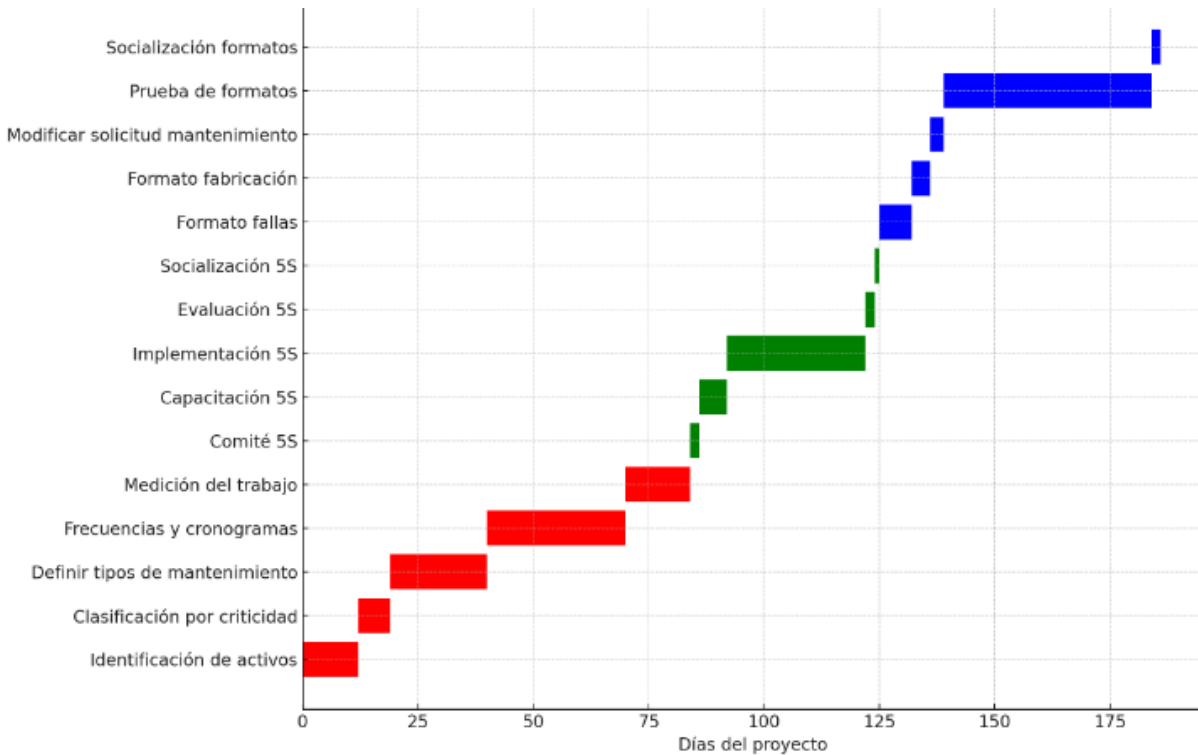
Actividad	Responsable	Recursos	Tiempo estimado
Creación formato registro y análisis de fallas (digital)	Autora	Software Excel, diseño de hoja formato de falla y AMEF, revisión con técnicos	7 días

Creación formato solicitud de fabricación	Autora	Talonario con el formato, análisis con jefe de mantenimiento, revisión con técnicos	4 días
Modificación formato solicitud de mantenimiento	Autora	Formatos actuales, talonario con formato, revisión con técnicos	3 días
Prueba de nuevos formatos	Jefe de mantenimiento, técnicos de mantenimiento, Autora	Formatos nuevos diligenciados, datos de la prueba	45 días
Socialización de resultados	Autora	Informe sobre resultados de la prueba, retroalimentación de los técnicos de mantenimiento, presentación final a gerencia	2 días

En la figura 11 se presenta el diagrama de Gantt correspondiente al plan de implementación de las propuestas de mejora, el cual se estructura de acuerdo con los tiempos definidos para el desarrollo del trabajo de grado y con la disponibilidad de los recursos de la empresa.

Figura 11.

Diagrama de Gantt del plan de implementación de las propuestas de mejora.



6. Implementación del plan de mejoramiento

Este capítulo presenta la implementación del plan de mejoramiento formulado en el capítulo anterior.

6.1 Propuesta 1. Plan integral de mantenimiento para Industrias LAVCO SAS

La implementación de la propuesta 1 se llevó a cabo en la empresa con el objetivo de estructurar el proceso de mantenimiento, mejorar la planeación de actividades de mantenimiento preventivo y predictivo con el fin de mejorar la disponibilidad de los equipos y reducir los tiempos muertos. Estos objetivos se abordaron a partir del análisis cuantitativo del inventario de

activos, clasificación por criticidad y la definición de frecuencias de mantenimiento, permitiendo priorizar los equipos con mayor impacto en el flujo productivo.

Esta implementación se desarrolló durante un lapso de 90 días, de acuerdo con el cronograma establecido en la formulación, y contó con la participación de los técnicos del área de mantenimiento, el jefe de mantenimiento y la gerencia.

6.1.1 Inventario de equipos

Entendiéndose como equipo a los activos tangibles que la empresa utiliza para su operación, como máquinas, vehículos, equipo de oficina, entre otros. Para el presente trabajo de grado el inventario se centró en los equipos existentes dentro del proceso productivo de Industrias LAVCO.

Se realizó el inventario de equipo iniciando con una revisión documental donde se pudo determinar el listado de equipos, máquinas y herramientas que se encuentran codificadas y activas en cada sección de trabajo de la empresa. Esta información se consolida en el documento MT-AN-001 Inventario de equipos - árbol de equipos.

El árbol de equipos se encontraba actualizado a abril de 2021 como se puede observar en un extracto del árbol de equipos figura 12. El inventario completo de máquinas, equipos y sistemas de la empresa se presenta en el Apéndice D. Posterior a esto se realizó una revisión de los planos existentes para determinar la ubicación de los equipos dentro de LAVCO, estos se dividen en las secciones de trabajo de la empresa que son: mecanizado, fundición e industrial y su última actualización fue en el año 2022.

Figura 12.

Extracto del inventario de equipos - árbol de equipos existente en LAVCO.

LAVCO Liderazgo metalmeccánico		INVENTARIO DE EQUIPOS LAVCO - ARBOL DE EQUIPOS										Página 1 de 1 Versión 1 Abril 29 de 2021						
ARBOL DE EQUIPOS INDUSTRIAS		Fecha última actualización:		Abril 29 de 2021														
		CÓDIGOS DEL CUADRO																
		LETRA	XXXXX	Equipo está dado de baja														
		NUMERO	0	INFORMACIÓN PENDIENTE														
		NUMERO	1	INFORMACIÓN QUE EXISTE														
LAVCO	Equipo	Registro fotográf	Piezas Mecanic	Diagrama Electri	Hoja de vida	Piezas Soldado	Ficha tecat	Información adición	MANUAL de operaci	MANUAL DE MITO Independ	INSTRUCTI VO MITO RUTINA	FORMATO DE CHEQUEO AUTÓN	CATÁLOGO FABRICAN TE ORIGIN	INST TRABAJO SEGUR	MAPA DE RIESG	INCLUIDO CRONOGR AMA	DADOS DE BAJA	OBSERVACIONES
MECANIZADO																		
LÍNEA DE CORTE																		
TORNO PARALELO UNIVERSAL CON MANDRIL	M036	1	0	0	1	1	1	1	PENDIENTE	PENDIENTE		X		SG-SS-PSI-003-M036	SG-SS-F-075-M036	NO		Tiene unas instrucciones de trabajo Corte y Despunte
TORNO PARALELO UNIVERSAL CON MANDRIL	M041	1	0	1	1	1	1	1	X	X		X		SG-SS-PSI-003-M041	SG-SS-F-075-M036	NO		
TORNO PARALELO UNIVERSAL CON MANDRIL	M042	1	0	1	1	1	1	0	X	X		X		SG-SS-PSI-003-M042	SG-SS-F-075-M036	NO		
ESMERIL	M005	1	0	NA	1	0	1	0	X	X				SG-SS-PSI-003-M005	SG-SS-F-075-M005	NO		Revisar cuántos esmeriles hay y si este manual operativo y de
DIAMETRO INTERIOR																		
TORNO PARALELO UNIVERSAL CON BARBA	M024													SG-SS-PSI-003-M024	SG-SS-F-075-M024	NO		
		1	1	1	1	1	1	1	X	X								

Se realizó inventario físico para corroborar la confiabilidad de la información registrada junto con el jefe de mantenimiento de cada uno de los equipos y máquinas existente en LAVCO. Esta actividad se llevó a cabo mediante recorridos de campo y se dejó evidencia fotográfica para actualizar la hoja de vida de los equipos.

En la tabla 14, se presenta un extracto representativo del inventario realizado, el cual consolida información relevante de los equipos en el proceso productivo como:

- Nombre del equipo.
- Código LAVCO asignado.
- Área y/o proceso al que pertenece.
- Estado actual del activo.

Este inventario se utilizó como base para posterior clasificación por criticidad.

Tabla 14.

Extracto representativo del inventario físico de activos productivos de LAVCO.

Código del activo	Nombre del equipo	Área / proceso	Estado actual	Fecha último mantenimiento	Tipo de mantenimiento	Observaciones
M042	Torno paralelo universal	Mecanizado	Operativo	No registrado	No registrado	Equipo activo en línea de mecanizado convencional

M058	Torno CNC	Mecanizado	En reparación	No registrado	No registrado	Equipo crítico para producción CNC
F020	Horno de fundición	Fundición	Operativo	No registrado	No registrado	Alta incidencia en continuidad del proceso
F045	Centrifugadora	Fundición	Operativo	No registrado	No registrado	Equipo de operación continua
T006	Compresor de aire	Toda la empresa	Operativo	No registrado	No registrado	Equipo transversal a toda la planta
T017	Compresor de aire	Industrial	Operativo	No registrado	No registrado	Uso intermitente
T007	Compresor mecanizado	Mecanizado	Operativo	No registrado	No registrado	Apoyo directo a procesos productivos

Como resultado se identificaron un total de 176 activos como se presenta en la tabla 15. Se evidencia que el área de fundición concentra la mayor proporción de equipos (47,16%, seguida del área de mecanizado (28,41%), lo cual justifica la priorización de estas áreas en el análisis de criticidad y en la planeación de actividades de mantenimiento. La distribución porcentual de activos por área permitió identificar la concentración de equipos en los procesos de mecanizado, fundición, línea industrial y áreas transversales distribuidos por toda la empresa, información clave para la priorización posterior del análisis de criticidad.

Tabla 15.

Distribución de activos por área de trabajo.

Área / Proceso	Número de activos	Porcentaje (%)
Mantenimiento	15	8,52 %
Mecanizado	50	28,41 %
Fundición	83	47,16 %
Línea industrial	9	5,11 %

Toda la empresa	19	10,80 %
Total	176	100%

Comparando con los 166 equipos registrados en el árbol de equipos antes del trabajo de campo, se reportaron diferencias en 10 máquinas dadas de baja a la fecha del inventario, es decir, que ya no encontraban en operación y se crearon, codificador y agregaron al documento 20 nuevos equipos.

Posteriormente, se revisó el control de solicitudes de mantenimiento para determinar el último mantenimiento realizado y el tipo de mantenimiento y así completar el inventario de equipos activos, incluyendo en la casilla de observaciones la descripción general de la actividad desarrollada en esa fecha, La matriz de criticidad completa, con los criterios y ponderaciones aplicadas, se presenta en el Apéndice E. Al revisar los registros de las solicitudes de mantenimiento registradas entre 2022 a 2024 no se encontraron registros para el 46,59% de los equipos, el porcentaje de equipos sin registros históricos en ese periodo permitió dimensionar cuantitativamente las falencias en la gestión de información de mantenimiento, lo cual influyó en la metodología adoptada para la clasificación por criticidad.

Dando como resultado el consolidado del inventario maestro de activos con un total de 176 activos involucrados en el ciclo productivo, identificando activos sin codificación previa y permitió establecer una base confiable para la planeación posterior de los mantenimientos. Este inventario sirvió como un insumo para la etapa de clasificación por criticidad.

6.1.2 Clasificación por importancia (Matriz de criticidad)

Después de determinar los equipos existentes en el proceso productivo, se procedió a clasificar los activos según su importancia y poder identificar cuales máquinas, equipos o herramientas requieren mayor atención. La clasificación por criticidad permitió asignar un valor

numérico a cada activo, facilitando la comparación objetiva entre equipos y la priorización de recursos de mantenimiento.

Debido al gran número de equipos que cuenta la empresa, el análisis de criticidad es fundamental para la toma de decisiones. Con este resultado se puede realizar una mejor asignación de recursos, de igual manera la priorización de actividades de mantenimiento para reducir las fallas en equipos críticos y el impacto que se generan con las paradas no programadas en la línea de producción.

Previo a la formulación del plan de mejoramiento propuesto en este trabajo de grado, la empresa contaba con un análisis de criticidad elaborado en el año 2016, el cual se utilizaba como referencia para determinar que equipos eran críticos, y fue aplicado únicamente a 91 activos productivos.

En la figura 13 se presentan los parámetros y criterios utilizados en el análisis de criticidad anterior, los cuales sirvieron como punto de partida para la revisión metodológica desarrollada.

Figura 13.

Parámetros y criterios del análisis de criticidad previo utilizado en LAVCO.

MATRIZ DE CRITICIDAD		TIPO A		TIPO B		TIPO C	
Elementos de evaluación		Valor: 2 puntos		Valor: 1 punto		Valor: 0 puntos	
		Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
L	Legislación y auditorías	1,01	2,00	0,81	1,00	0,00	0,80
5,0%		Está sujeto a la legislación y es obligatorio su desmontaje periódico		Es sujeto a auditorías internas y/o externas		No está sujeto a la legislación o auditorías	
S	Seguridad, polución y entorno	Una falla podría causar serios problemas de seguridad y entorno en el área circundante		Una falla podría causar algunos problemas de seguridad y entorno en el área circundante		Una falla no causará problemas de seguridad o entorno en áreas circundantes	
5,0%							
Q	Calidad y rendimiento	Una falla podría causar productos defectuosos o afectar seriamente el rendimiento		Una falla podría causar variaciones de calidad o afectar moderadamente el rendimiento		Una falla no podría afectar ni la calidad ni el rendimiento	
10,0%							
W	Estatus de operación	Más de 15 horas de operación al día		Más de 7 horas de operación al día		Operación intermitente	
20,0%							
D	Factor de retraso (costos de oportunidad)	Una falla de mas de 1 hora pararía o retrasaría el segmento de producción		Una falla de mas de 3 horas pararía o retrasaría el segmento de producción		Está disponible una unidad de reserva; es más económico esperar el fallo y repararlo	
50,0%							
P	Período (intervalo de falla)	Paradas frecuentes (cada 6 meses o menos)		Paradas ocasionales (aproximadamente una vez al año)		Difícilmente se produce una parada en un año	
5,0%							
M	Mantenibilidad	Tiempo de reparación mayor de 6 horas y/o costo de reparación mayor a \$1000 USD		Tiempo de reparación de 2 a 6 horas y/o costo de reparación de \$300 a \$1000 USD		Tiempo de reparación menor de 2 hora y/o costo de reparación menor a \$300 USD	
5,0%							

Nota. Documentación interna de la empresa (2016).

La matriz de criticidad presentada en la figura 13 se estructura a partir de 7 criterios de evaluación. Cada uno de estos criterios contaba con una ponderación específica, destacando el factor de retraso, con una ponderación del 50%.

No obstante, al analizar los resultados de criticidad al realizar la aplicación práctica de esta matriz, se identificó como principal limitante el hecho que solo el 52% de los equipos actualmente inventarios presentan una calificación. Estas limitaciones evidenciaron la necesidad de actualizar y reformular el análisis de criticidad.

Se realizó junto con la gerencia, los jefes de área y el jefe de mantenimiento una revisión a los criterios de evaluación de la matriz de criticidad y la ponderación de cada uno de estos

valores con el objetivo de que la matriz tenga en cuenta los factores principales que impactan al proceso productivo cuando ocurre una falla. Estos factores pueden ser de nivel económico, seguridad, legislación entre otros. Dentro de cada factor a analizar también se debe tener en cuenta la situación actual de la empresa para establecer los límites ideales de ponderación de cada equipo.

Tabla 16.

Matriz de criticidad aplicada.

MATRIZ DE CRITICIDAD		TIPO A	TIPO B	TIPO C
CALIFICACIÓN		3	2	1
PONDERADO	ELEMENTOS DE EVALUACIÓN	CRITERIOS DE EVALUACIÓN		
5%	LEGISLACIÓN Y AUDITORIAS	Está sujeto a la legislación y es obligatorio su desmontaje periódico	Es sujeto a auditorías internas y/o externas	No está sujeto a la legislación o auditorías
5%	SEGURIDAD Y ENTORNO	Una falla podría causar serios problemas de seguridad y entorno en el área circundante. Accidentes laborales graves.	Una falla podría causar algunos problemas de seguridad y entorno en el área circundante. Accidentes laborales que proporcionen incapacidad menor a 15 días.	Una falla no causará problemas de seguridad o entorno en áreas circundantes. Accidentes laborales menores
10%	CALIDAD Y RENDIMIENTO	Una falla podría causar productos defectuosos o afectar seriamente el rendimiento	Una falla podría causar variaciones de calidad o afectar moderadamente el rendimiento	Una falla no podría afectar ni la calidad ni el rendimiento
20%	ESTATUS DE OPERACIÓN	Más de 15 horas de operación al día	Más de 7 horas de operación al día	Operación intermitente
50%	FACTOR DE RETRASO (COSTOS DE	Una falla pararía el segmento de producción	Una falla retrasaría el segmento de producción	Está disponible una unidad de reserva;

	OPORTUNIDAD)				es más económico esperar el fallo y repararlo
5%	PERIODO (INTERVALO DE FALLA)	Paradas frecuentes (cada 6 meses o menos)	6	Paradas ocasionales (aproximadamente una vez al año)	Difícilment e se produce una parada al año
5%	MANTENIBILIDAD	Tiempo de reparación mayor de 6 horas y/o costo de reparación mayor a 1000 USD	de	Tiempo de reparación de 2 a 6 horas y/o costo de reparación de 300 a 1000 USD	Tiempo de reparación menor de 2 horas y/o costo de reparación menor a 300 USD
100%					

Se aplicó la matriz de criticidad presentada en la tabla 16 a cada uno de los 176 equipos activos para generar una ponderación de cada factor y establecer un puntaje global de cada máquina de acuerdo a su rol en el flujo de trabajo. La aplicación de la matriz permitió obtener un puntaje global por equipos, generando una base cuantitativa para la clasificación ABC de los activos.

Esta valoración permitió establecer una clasificación ABC de los equipos, herramienta ampliamente utilizada en la gestión del mantenimiento para priorizar recursos, minimizar riesgos operativos y optimizar la confiabilidad del proceso productivo (Dounce Villanueva, 2014; García Garrido, 2010).

Se utilizaron el historial de fallas registradas en las solicitudes de mantenimiento, la opinión técnica de los técnicos de mantenimiento y la incidencia del equipo en la continuidad del proceso productivo de cada una de las áreas involucradas.

Como resultado de la aplicación de la matriz de criticidad a los 176 equipos activos, se determinó que el 44,32 % de los activos corresponde a equipos de alta criticidad (categoría A), de los cuales el 51,28% corresponden a un mismo tipo de máquina, es decir, hay 40 centrifugadoras

individuales, el 41,48% a criticidad media (categoría B) y el 14,20% a criticidad baja (categoría C). Esta distribución deja evidenciar que una proporción significativa de activos productivos presentan un impacto relevante sobre la continuidad del proceso. Esta distribución porcentual permitió dimensionar el nivel de riesgo operativo asociado a cada categoría de criticidad y orientar la toma de decisiones en la planificación del mantenimiento.

En la figura 14 se presenta un extracto del listado de activos con su respectiva puntuación y por consiguiente clasificación de criticidad, con el fin de evidenciar la aplicación práctica de la metodología. Por su parte, la tabla 17 resume de manera consolidada el número total de equipos y su distribución porcentual por categoría de criticidad, facilitando la comprensión global de los resultados obtenidos.

Figura 14.

Extracto del análisis de criticidad aplicado a los equipos activos en el proceso productivo.

DEPENDENCIA	CÓDIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	LEGISLACION Y AUDITORIAS	SEGURIDAD Y ENTORNO	CALIDAD Y ENDIMIENTO	ESTATUS DE OPERACIÓN	FACTOR DE TRASO (COSTO)	PERIODO INTERVALO DE	MANTENIBILIDAD	PUNTAJON PONDERADA	CRITICIDAD
TODA LA EMPRESA	T001	SUBESTACION ELECTRICA	A	A	A	A	A	C	A	2.90	A
MECANIZADO	M059	TORNO CNC DOOSAN PUMA 400LC	C	B	A	A	A	A	A	2.85	A
MECANIZADO	T007	COMPRESOR PISTON MECANIZADO	C	B	A	A	A	B	A	2.80	A
FUNDICION	F022	HORNO CUBILOTE 3	B	A	A	B	A	B	A	2.70	A
MECANIZADO	M017	RECTIFICADORA SIN CENTROS DE 12"	C	B	A	B	A	A	A	2.65	A
MECANIZADO	M036	TORNO PARALELO UNIVERSAL CON MANDRIL	C	B	A	B	A	B	C	2.50	A
FUNDICION	F006	CENTRIFUGADORA INDIVIDUAL	B	A	A	B	B	C	C	2.05	A
MECANIZADO	M060	BANDA TRANSPORTADORA DE CAMISAS	C	C	B	B	C	C	C	1.30	B
MANTENIMIENTO	X011	TORNO PARALELO UNIVERSAL CON COPA	C	B	A	C	C	C	C	1.25	B
FUNDICION	F035	MEZCLADOR DE ARENA DE PALETAS	B	B	B	C	C	C	C	1.20	B
MECANIZADO	M071	GRUA DE PORTICO MOVIL	C	A	C	C	C	C	C	1.10	B
MANTENIMIENTO	M020	TALADRO DE BISELADO	C	C	C	C	C	C	C	1.00	C
ADMINISTRATIVO	A001	AIRE ACONDICIONADO DE GERENCIA	C	C	C	C	C	C	C	1.00	C

Nota. Elaboración propia a partir de la información obtenida de la calificación de criticidad de cada activo.

Con el análisis realizado se evidenció que los equipos clasificados con criticidad categoría “A” concentraban la mayor cantidad de paradas no programadas, información que permitió focalizar las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo.

Tabla 17.

Distribución de los equipos según su nivel de criticidad.

Categoría de criticidad	Número de equipos	Porcentaje (%)
A (Alta)	78	44.32%
B (Media)	73	41.48%
C (Baja)	25	14.20%
Total	176	100%

6.1.3 Determinar tipo de mantenimiento

Con base en la clasificación anterior, se definieron los tipos de mantenimiento a aplicar en cada grupo de activos. Esta actividad se desarrolló teniendo en cuenta las recomendaciones de los técnicos de mantenimiento y los manuales de operación existentes en cada activo.

Estos mantenimientos permitieron establecer las necesidades y la demanda de actividades de mantenimiento para que su funcionamiento se encuentre en óptimas condiciones y pueda rendir en el proceso productivo.

Esta actividad se llevó a cabo mediante la revisión documental de las fichas técnicas de los equipos, a partir de la cual se generó un listado de actividades de mantenimiento. Como ejemplo del formato de ficha técnica revisado, se presenta una ficha correspondiente a un equipo en el Apéndice F.

Categoría A: Mantenimiento preventivo y predictivo, Categoría B: Mantenimiento preventivo y Categoría C: Mantenimiento correctivo.

Adicionalmente, se estableció las pautas necesarias del chequeo autónomo para cada equipo crítico, incluyendo puntos de inspección, lubricación y ajuste, con el fin de estandarizar la ejecución de las actividades rutinarias que deben realizar los operarios para la conservación de los componentes de la máquina.

Tabla 18.

Asignación del tipo de mantenimiento según criticidad de los activos.

Categoría de criticidad	Tipo de mantenimiento asignado	Número de equipos	Porcentaje sobre el total (%)
A (Alta)	Preventivo y predictivo	78	44,32
B (Media)	Preventivo	73	41,48
C (Baja)	Correctivo	25	14,20
Total		176	100,00

La tabla 18 presenta la asignación del tipo de mantenimiento definido para los activos de Industrias LAVCO en función de su clasificación de criticidad. Se evidencia que los equipos clasificados como alta criticidad, que representan el 44,32% del total de equipos presenten en el flujo productivo, fueron priorizados con estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, con el fin de reducir la probabilidad de fallas no programadas y minimizar las demoras o sobrecostos asociadas a estas.

Después de definir los tipos de mantenimiento de acuerdo con la criticidad de los equipos, fue necesario establecer las prioridades por máquina. Para ello, se tomó como referencia la información disponible en las fichas técnicas de los equipos y el conocimiento experto de los técnicos, lo que permitió identificar los puntos críticos por cada tipo de equipo los cuales se presentan en el Apéndice G.

Los puntos críticos no se definieron de manera individual por cada uno de los 176 equipos, sino por tipología, considerando que los equipos de una mismo tipo comparten sistemas, modos de falla, costos de reparación e impacto en el proceso similar. Esta información sirvió como base para la elaboración de los cronogramas de mantenimiento, la definición de sus frecuencias.

A partir de lo anterior, se elaboró un listado de actividades de mantenimiento con el apoyo de los técnicos de mantenimiento y del jefe de mantenimiento, procurando que la aplicación de dichas actividad aseguraran el cumplimiento del objetivo de mantenimiento el mayor tiempo en operatividad de los equipos en el proceso productivo. Este listado fue fundamental para elaboración de cronogramas de trabajo, teniendo en cuenta el tipo de intervención requerida (mecánica, eléctrica, neumática, hidráulica, entre otras). El documento incluye descripción general de la actividad y el responsable de su ejecución.

En la figura 15 se presenta un extracto del registro de actividades de mantenimiento correspondiente a los equipos analizados. El detalle completo de las actividades programadas para la totalidad de equipos se encuentra consignado en el Apéndice H.

Figura 15.

Extracto del registro de actividades de mantenimiento por categoría.

EQUIPO	TIPO DE ACTIVIDAD	ACTIVIDAD	PROVEEDOR DEL MANTENIMIENTO
F002	MECANICA	Verificar estado de los soportes del cojinete y limpie la suciedad si es necesario.	AREA MANTENIMIENTO LAVCO
F002	ELECTRICA	VIBRACIONES-Si la bomba presenta vibraciones fuertes, revisar desgaste en el eje del motor y revisar rodamientos	AREA MANTENIMIENTO LAVCO
F002	MECANICA	Verifique la integridad de la base de la bomba y verifique que los pernos de sujeción que no estén apretados.	AREA MANTENIMIENTO LAVCO
F002	MECANICA	Engrase los cojinetes del motor de acuerdo con las instrucciones del fabricante	AREA MANTENIMIENTO LAVCO
F002	MECANICA	Revisión de Impeller de la bomba, si es necesario programar cambio	AREA MANTENIMIENTO LAVCO
F002	MECANICA	FUGAS-Revisión que el sello mecánico no presente fugas de agua, en llegado caso cambiar el repuesto del sello.	AREA MANTENIMIENTO LAVCO

Nota. Elaboración propia con apoyo de los técnicos de mantenimiento.

La información recolectada permite la homogeneización de criterios para la intervención de equipos, reducción de mantenimientos reactivos en equipos críticos y fortalecer el control sobre las tareas ejecutadas por el personal de mantenimiento.

Por su parte, los activos de baja criticidad se asignaron un enfoque correctivo, decisión técnicamente justificada por su bajo impacto en la operación. Adicionalmente, en este tipo de equipos el costo de reparación es menor a la inversión realizada en programas de mantenimiento preventivo o predictivo, provocando sobre mantenimiento.

Si bien desde el punto de vista técnico y teórico el mantenimiento predictivo representa una estrategia adecuada para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos críticos, es importante precisar el alcance real de su implementación dentro del presente trabajo de grado.

Durante la formulación de las actividades necesarias para mantener los equipos en estado óptimo surgieron actividades de mantenimiento predictivo que se podían aplicar a los equipos críticos, esto se realizó con el apoyo de los técnicos de mantenimiento y el jefe de

mantenimiento. No obstante, en el marco de la implementación práctica del plan, la empresa tomo la decisión de iniciar el proceso de mejora enfocándose prioritariamente en el fortalecimiento del mantenimiento preventivo, debido a las limitaciones referentes a la disponibilidad de los recursos técnicos, económicos y de capacidad operativa.

Esta decisión no invalida la pertinencia del mantenimiento predictivo propuesto, sino que el fortalecimiento del mantenimiento preventivo debe ser considerado base fundamental necesaria para el área de mantenimiento. En este sentido, el presente trabajo de grado sienta las bases técnicas y organizacionales para una implementación progresiva del mantenimiento predictivo en etapas futuras, alineadas con la capacidad real y las prioridades estratégicas de LAVCO.

6.1.4 Establecer frecuencia

Para que los equipos se mantengan en condiciones para trabajar es necesario establecer cada cuánto se ejecuta cada mantenimiento dependiendo de las necesidades de los equipos y el tiempo promedio de actividad en un determinado tiempo.

Ante la falta de estandarización de actividades y las falencias en la gestión documental fue necesario determinar el tiempo promedio de las actividades teniendo en cuenta los históricos y el concepto técnico de los técnicos de mantenimiento, que son quien han ejecutados los mantenimientos los últimos años. La estimación de tiempos promedio de intervención permitió estructurar frecuencias de mantenimiento coherentes con la capacidad operativa del área.

La tabla 19 presenta las frecuencias de mantenimiento definidas para los equipos, establecidas a partir del análisis de criticidad. Asimismo, la diferenciación entre los tipos de mantenimiento asegura una utilización eficiente de la capacidad del área de mantenimiento, priorizando los equipos que conforma la llave de proceso.

Tabla 19.*Frecuencias de mantenimiento definidas para los activos productivos.*

Categoría de criticidad	Tipo de mantenimiento	Frecuencia definida	Justificación técnica
A (Alta)	Predictivo	Mensual	Monitoreo de condición (vibraciones, temperatura, ruido) que permite anticipar fallas críticas y planificar intervenciones con menor impacto operativo para equipos llave de proceso
A (Alta)	Preventivo	Depende de la durabilidad técnica de los componente según sus fichas técnicas	Alta incidencia en la continuidad del proceso productivo y elevado historial de fallas; requiere inspección y ajuste frecuente para evitar paradas no programadas teniendo en cuenta las ficha técnica de la máquina y las fichas técnicas de los componentes.
B (Media)	Preventivo	Mensual	Equipos con impacto moderado en la producción; la frecuencia permite controlar el desgaste sin generar sobrecarga al área de mantenimiento.
B (Media)	Correctivo programado	Según condición	Intervención planificada cuando se detectan desviaciones operativas que no comprometen de forma inmediata la producción y permiten una calidad aceptable en el proceso
C (Baja)	Correctivo	Bajo demanda	Bajo impacto operativo y disponibilidad de equipos de respaldo; resulta más eficiente intervenir el activo posterior a la falla.

Una vez definidos los tipos de mantenimiento, se establecieron las frecuencias de intervención. Se realizó una exploración de los mantenimientos históricos, el pronóstico de operación de cada equipo y el tiempo de falla entre mantenimientos para identificar cada cuanto es necesario realizar la intervención.

Las frecuencias definidas para los tipos de mantenimientos, se estructuraron en intervalos semanales permitiendo un enfoque dinámico para la asignación de actividades del equipo y reduciendo interrupciones abruptas al proceso productivo.

6.1.5 Construcción de cronograma de mantenimiento preventivo

Con la información generada en las etapas anteriores se elaboró el plan de mantenimiento preventivo mediante un cronograma de trabajo para un periodo de doce (12) meses, el cual se presenta en la figura 16 como un pantallazo del cronograma de mantenimiento propuesto. El cronograma detallado de mantenimiento preventivo se presenta en el Apéndice I. Este cronograma se construyó a partir del número total de equipos inventariados, su clasificación por criticidad, el tipo de mantenimiento asignado y las frecuencias establecidas, permitiendo estructurar una planificación coherente con las necesidades reales del proceso productivo.

Figura 16.

Extracto del cronograma de mantenimiento preventivo propuesto para LAVCO.

CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTO																									
EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO	AREA	CRITICIDAD	ACTIVIDAD	TIPO	FRECUENCIA (SEMANAS)	DURACION ACTIVIDAD (HORAS)	ULTIMA EJECUCION	OPERARIO	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11	SEMANA 12	SEMANA 13	SEMANA 14	SEMANA 15	
T001	SUBSTACION ELECTRICA	TODA LA EMPRESA	A	Lubricación general según especificación	Mecánica	42	1		Tecnico LAVCO																
M059	TORNO CNC DOOSAN PUMA 400LC	MECANIZADO	A	SISTEMA DE AVANCE - Limpieza GENERAL guías lineales	Mecánica	5	0,5		Tecnico LAVCO				x						x						x
T007	COMPRESOR PISTON MECANIZADO	MECANIZADO	A	Cambio y llenado de aceite.	Hidráulica	9	1,5		Tecnico LAVCO									x							
T002	PLANTA GENERADORA CUMMINS	TODA LA EMPRESA	A	CALIBRACION - Calibración de inyectores	Mecánica	83	1,5		Proveedor externo																
M031	TORNO PARALELO UNIVERSAL CON COPA	MECANIZADO	A	SISTEMA ELECTRICO - Limpieza de tableros electricos	Eléctrica	5	0,5		Tecnico LAVCO					x					x						x
M047	TORNO PARALELO UNIVERSAL	MANTENIMIENTO	B	Verificación general de motores, contactores, protecciones y cableado	Eléctrica	9	1,5		Tecnico LAVCO									x							
T006	COMPRESOR DE PISTON	TODA LA EMPRESA	B	Revisión de cheques de aire, verificar estado de los resortes	Neumática	104	2		Tecnico LAVCO																
M037	TORNO PARALELO UNIVERSAL CON COPA	MECANIZADO	B	Limpieza profunda de viruta, bandejas, carenados y zona de trabajo	Mecánica	5	0,5		Tecnico LAVCO					z					z						z
F077	TURBINA HORNO PEQUEÑO	FUNDICION	B	Limpieza profunda de polvo, escoria, ductos y zonas perimetrales	Mecánica	5	0,5		Tecnico LAVCO																

El cronograma permitió visualizar de manera clara y cuantitativa la distribución temporal de las actividades de mantenimiento preventivo a lo largo del año, insumo clave para la identificación de necesidades de repuestos, fabricaciones y cargas de trabajo del área de mantenimiento. Asimismo permite la coordinación oportuna con las diferentes áreas

involucradas, de esta manera se busca reforzar la planificación y preparación de las actividades de mantenimiento.

Las frecuencias de ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo fueron ajustadas considerando la capacidad operativa real del área de mantenimiento, conformada por cinco operarios con una disponibilidad promedio de 54 horas semanales. Del total de la carga anual de mantenimiento, se estableció que el 70 % de las actividades sería ejecutado por los técnicos LAVCO, mientras que el 30 % restante correspondería a apoyo externo. Este ajuste permitió garantizar la viabilidad operativa del plan propuesto, manteniendo la coherencia con el cronograma anual y los recursos disponibles de la empresa y 30% corresponde a fabricaciones y mantenimiento correctivo.

Con el fin de complementar la información visual presentada en la figura 16 y facilitar el análisis cuantitativo del cronograma, en la tabla 20 se presenta un resumen del plan de mantenimiento preventivo propuesto, organizadas por área de trabajo y por su clasificación de la actividad (mecánica, eléctrica, neumática e hidráulica). Esta clasificación permitió relacionar la cantidad de actividades con la especialidad técnica requerida, considerando que, dependiendo del tipo de intervención recae principalmente en técnicos con especialidades específicas.

Tabla 20.

Resumen del cronograma de mantenimiento preventivo propuesto por área de trabajo y tipo de actividad.

Área de trabajo	Actividad mecánica	Actividad eléctrica	Actividad neumática	Actividad hidráulica	Total actividades prev/año
Mecanizado	420	180	95	60	755
Fundición	510	160	110	85	865

Línea industrial	120	90	45	30	285
Mantenimiento	95	70	25	15	205
Toda la empresa	80	65	25	20	190
Total general	1225	565	300	210	2300

Nota. Elaboración propia a partir de los datos del cronograma de mantenimiento preventivo propuesto

El resumen presentado en la tabla 20 permitió evidenciar que las áreas de fundición y mecanizado concentran la mayor cantidad de actividades de mantenimiento preventivo programadas durante el año, lo cual es coherente con el número de equipos presente en estas áreas y su importancia dentro del proceso productivo. Este resultado indica que estas áreas requieren mayor atención por parte del área de mantenimiento para asegurar su correcto funcionamiento.

Asimismo, se observa que las actividades de tipo mecánico representan la mayor proporción del mantenimiento preventivo en todas las áreas analizadas, reflejando la naturaleza de los equipos industriales utilizados en la empresa.

Este análisis sirvió como base para la asignación de responsabilidades entre los técnicos de área y para el fortalecimiento de la planeación del mantenimiento, contribuyendo a una gestión más organizada y alineada con los objetivos de disponibilidad y continuidad del proceso productivo.

6.1.6 Medición de trabajo

Una vez estructurado el cronograma de mantenimiento preventivo como herramienta principal para la planificación de las actividades del área de mantenimiento, se incorporó la medición del trabajo como una herramienta de apoyo adicional para mejorar la ejecución de algunas actividades representativas.

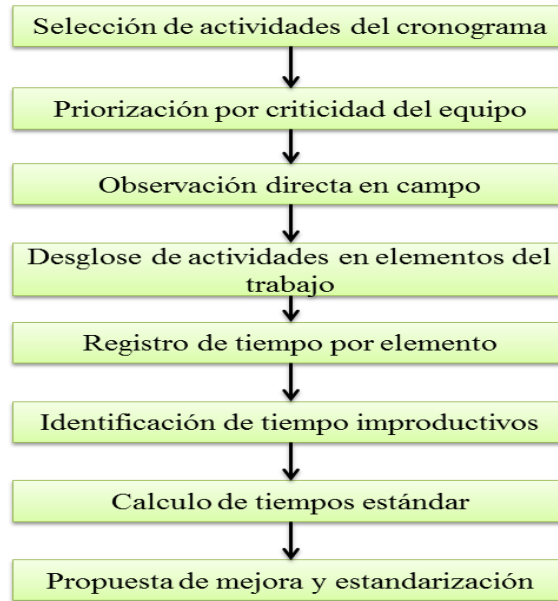
Esta herramienta se utilizó con el propósito de analizar la forma en que se desarrollan ciertas tareas de mantenimiento preventivo y contribuir a la reducción de tiempos improductivos. La medición del trabajo es una herramienta propia de la ingeniería industrial que permite estudiar los tiempos requeridos para la ejecución de una actividad, identificar oportunidades de mejora en el método de trabajo y proponer estandarizaciones que faciliten una ejecución eficiente.

La aplicación de la medición del trabajo se realizó durante un periodo de catorce (14) días, en concordancia con el cronograma de implementación. Durante este tiempo se llevaron a cabo observaciones directas en campo, revisión de documentación existente y análisis de registros históricos de mantenimiento, priorizando actividades preventivas asociadas a equipos de alta y media criticidad, debido a su relevancia en la continuidad del proceso productivo y su característica programable.

Con el fin de estructurar de manera ordenada la aplicación de la medición del trabajo como herramienta de apoyo, se definió una metodología sencilla como se muestra en la figura 17. Esta metodología basada en la observación directa, registro de tiempos y análisis de oportunidades de mejor permitió orientar el trabajo de campo realizado durante el tiempo de implementación.

Figura 17.

Metodología de medición del trabajo.



Nota. Elaboración propia

Para el desarrollo del estudio se utilizó la técnica de estudio de tiempos, de acuerdo con la literatura de ingeniería industrial como una herramienta para medición de actividades repetitivas o periódicas (Freivalds y Niebel, 2003). Esta técnica permitió descomponer las actividades de mantenimiento estudiadas en elementos de trabajo específico, medir su duración y analizar la presencia de estudio de tiempos improductivos tales como esperas, desplazamientos innecesarios, reprocesos o interrupciones durante la ejecución de las tareas.

El estudio de tiempos se aplicó mediante observación directa de las actividades de mantenimiento preventivo ejecutadas por los técnicos, registrando los tiempos de cada elemento del trabajo y realizando varias observaciones para asegurar la representatividad de los datos obtenidos y en el alcance propuesto para esta sección de la implementación. Adicionalmente, se tuvo en cuenta la variabilidad propia de las intervenciones de mantenimiento dado que estas pueden verse influenciadas por condiciones del equipo, accesibilidad, disponibilidad de herramientas e insumos y condiciones de seguridad.

Con base en lo anterior, se adaptó un formato base de estudio de tiempos a las condiciones del área de mantenimiento de LAVCO, el cual permitió registrar de manera estructurada la información necesaria para el análisis. Este formato incluyó aspectos como el tipo y clasificación del mantenimiento, la descripción general de la actividad, el desglose de los elementos de trabajo, los tiempos observados, el número de observaciones, la estimación del tiempo normal y del tiempo estándar, así como la identificación de tiempos improductivos y observaciones relevantes para la mejora del método.

En la tabla 21 presenta el estudio de tiempos consolidados para una actividad representativa, donde se descompone la intervención en elementos del trabajo específico.

Tabla 21.

Estudio de tiempos consolidados - Actividad de mantenimiento preventivo en torno convencional área mecanizado.

Tipo de mantenimiento		Preventivo							
Naturaleza de la actividad		Actividad rutinaria							
Descripción de la actividad		Inspección, lubricación y ajuste general de torno convencional							
Nº	Elemento del trabajo	Nº de observaciones	Tiempo promedio observado (min)	Calificación del desempeño (R)	Tiempo normal, Tn (min)	Suplementos (%)	Tiempo estándar, Te (min)	Tiempo improductivo identificado	Observaciones
1	Preparación del puesto de trabajo	3	6,0	1,00	6,0	15%	6,9	Espera por herramienta (1,2 min)	Falta orden del puesto
2	Recolección de herramientas y lubricantes	3	8,5	1,00	8,5	15%	9,8	Desplazamiento innecesario (1,5 min)	Requiere carro de herramientas
3	Inspección visual de componentes	3	7,2	1,00	7,2	15%	8,3	Interrupción por consulta (0,8 min)	Estandarizar checklist
4	Lubricación de guías y husillos	3	12,0	1,00	12,0	15%	13,8	Limpieza previa no planificada (1,0 min)	Incluir limpieza en procedimiento

								min)	
5	Verificación y ajuste de holguras	3	9,0	1,00	9,0	15%	10,4	Ajuste repetido (0,7 min)	Uso de herramienta adecuada
6	Limpieza del área intervenida	3	5,5	1,00	5,5	15%	6,3	Acumulación de residuos (0,6 min)	Definir orden de limpieza
7	Registro de la actividad	3	4,0	1,00	4,0	15%	4,6	Búsqueda de formato (0,5 min)	Digitalizar registro
Duración total estimada de la intervención: 60,1 min									

Nota. Elaboración propia a partir de los datos tomados en la observación de campo.

Para cada elemento de trabajo se realizaron tres (3) observaciones, las cuales permitieron calcular un tiempo promedio representativo, considerando la variabilidad propia de las actividades. Este número de observaciones se definió acorde con el carácter exploratorio de la medición del trabajo y con el tiempo disponible para la ejecución del trabajo.

Tabla 22.

Resumen de actividades de mantenimiento preventivo analizadas mediante medición del trabajo.

N°	Área de trabajo	Equipo / tipo de equipo	Actividad de mantenimiento preventivo	Clasificación de la actividad	Criticidad equipo	Justificación de selección
1	Mecanizado	Torno convencional	Inspección, lubricación y ajuste general	Mecánica	A (Alta)	Actividad periódica y representativa del mantenimiento mecánico en mecanizado
2	Mecanizado	Torno CNC	Verificación de sistemas mecánicos y limpieza funcional	Mecánica / Eléctrica	A (Alta)	Equipo crítico con alta frecuencia de intervención preventiva
3	Fundición	Centrifugadora	Inspección mecánica y lubricación de componentes	Mecánica	A (Alta)	Equipo llave del proceso productivo
4	Fundición	Horno de fundición	Revisión general de elementos mecánicos y auxiliares	Mecánica	A (Alta)	Alta incidencia en la continuidad del proceso
5	Toda la empresa	Sistema de aire comprimido	Revisión de puntos críticos y drenajes	Neumática	B (Media)	Actividad repetitiva con presencia de tiempos improductivos

Nota. Elaboración propia teniendo en cuenta los criterios de criticidad.

La tabla 22 presenta el resumen de las actividades de mantenimiento preventivo seleccionadas para la aplicación de la medición del trabajo. La selección se realizó priorizando actividades periódicas con alto impacto en la operación y con potencial de mejora en la ejecución.

Los resultados obtenidos a partir del estudio de tiempos fueron utilizados como insumo para proponer ajustes en los tiempos estándar de algunas actividades de mantenimiento preventivo incluidas en el cronograma, así como para sugerir mejoras en la forma de ejecución y en la documentación de los procedimientos. Estas propuestas estuvieron orientadas principalmente a la estandarización de tareas repetitivas y a la reducción de desperdicios de tiempo, contribuyendo a una ejecución más organizada de las actividades de mantenimiento.

Tabla 23.

Comparativo de tiempos de mantenimiento preventivo antes y después de la medición del trabajo.

Nº	Área de trabajo	Equipo / tipo de equipo	Actividad de mantenimiento preventivo	Tiempo promedio antes (min)	estándar propuesto después	Reducción estimada (min)	Reducción (%)
1	Mecanizado	Torno convencional	Inspección, lubricación y ajuste general	68	60	8	11,80
2	Mecanizado	Torno CNC	Verificación de sistemas mecánicos y limpieza funcional	75	67	8	10,70
3	Fundición	Centrifugadora	Inspección mecánica y lubricación de componentes	62	56	6	9,70
4	Fundición	Horno de fundición	Revisión general de elementos mecánicos y auxiliares	85	76	9	10,60
5	Toda la empresa	Sistema de aire comprimido	Revisión de puntos críticos y drenajes	48	43	5	10,40
Promedio general				67,6	60,4	7,2	10,64

Nota. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el análisis de medición de trabajo.

La tabla 23 presenta la comparación de los tiempos promedio de ejecución de las actividades de mantenimiento realizadas, antes y después de la aplicación de la medición de trabajo. Los tiempos iniciales corresponden a la duración estimada de las actividades con base a la práctica habitual del área de mantenimiento, mientras que los tiempos propuestos se obtuvieron a partir del estudio de tiempos y la reducción de tiempos improductivos identificados durante la observación.

Los resultados muestran una reducción del 10,64% en la duración de las actividades analizadas, lo cual se atribuye principalmente a mejoras en la organización del puesto de trabajo, la disponibilidad de herramientas, la estandarización de tareas y la definición clara de los elementos del trabajo, permitiendo establecer que una ejecución más ordenada y eficiente en las actividad es una potencial de mejora existente. Los resultados completos de la medición de trabajo realizada antes y después de la implementación se presentan en el Apéndice J.

Es importante resaltar que la medición de trabajo, en el marco de este trabajo de grado, no busca optimizar de manera exhaustiva cada actividad de mantenimiento, sino servir como una herramienta de apoyo que permita fortalecer la planificación establecida y aportar mejoras practicas basadas en observaciones reales de campo. De esta manera, su aplicación se integra al plan de mantenimiento preventivo como un complemento que aporta valor desde la perspectiva de la ingeniería industrial.

6.2 Propuesta 2. Implementación 5S's

Durante el diagnóstico inicial del área de mantenimiento se identificaron deficiencias relacionadas con el orden, la limpieza y la disposición de herramientas y materiales, los cuales generaban tiempos improductivos en la ejecución de las labores y condiciones de seguridad poco favorables para el desarrollo normal de las actividades diarias de los técnicos de mantenimiento.

Junto con la ejecución de un plan de mejoramiento fue necesario la implementación de metodologías de lean manufacturing para acondicionar los espacios de trabajo y así crear entornos seguros y ágiles. Por esta razón, y como complemento al plan de mantenimiento integral, se implementó la metodología 5S en el área de trabajo de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S., con el propósito de mejorar las condiciones del entorno de trabajo y facilitar la ejecución de las actividades programadas.

La implementación se desarrolló durante el periodo de práctica empresarial y conto con la participación directa del personal del área, lo que permitió adaptar la metodología a condiciones reales del taller y evidenciar los retos propios de un entorno industrial pesado.

Para incorporar la metodología 5S en el área de mantenimiento fue necesario realizar una capacitación sobre la metodología al jefe de mantenimiento. Explicando cada una de las etapas de la implementación y los objetivos de estas. Se enfatizó en el compromiso individual de cada integrante de mantenimiento para culminar con éxito la etapa de implementación y su continuación para que sea integrado dentro de la cultura organizacional del área.

Esta implementación se desarrolló durante un periodo de 30 días, en donde se implementaron las 5 etapas de la metodología como complemento al plan integral de mantenimiento, reconociendo que el desorden, la falta de señalización y la ubicación idónea de las herramientas e insumos impactan negativamente en los tiempos de ejecución de las tareas.

El alcance de la implementación comprendió inicialmente el taller del área de mantenimiento y las zonas de almacenamiento de herramientas y repuestos críticos, teniendo en cuenta que son áreas estratégicas para el desarrollo de actividades de mantenimiento.

Se inició con la conformación del comité 5S en donde se reunió con los técnicos de mantenimiento y el jefe de área para la presentación de los objetivos, alcance y los recursos

necesarios para llevar a cabo la actividad, de igual manera se listo el personal asignado y la disponibilidad horaria para la ejecución de cada una de las 5 etapas y los responsables en cada etapa del proceso.

Posteriormente se realizó capacitación del personal de mantenimiento mediante la presentación de carteleras que explicará la teoría de la metodología. Del mismo modo se fijó ayudas visuales en cada puesto de trabajo que les permita recordar la implementación de esta en su día a día.

La figura 18 presenta un registro fotográfico de esta jornada de socialización, la cual fue clave para generar apropiación de la metodología y reducir la resistencia inicial al cambio.

Figura 18.

Socialización de la metodología 5S y conformación del comité 5S con el personal de mantenimiento de LAVCO.



La implementación la metodología 5S permitió la reducción en tiempos de búsqueda de herramientas e insumos, aumenta la visibilidad de las zonas de trabajo y reduce el riesgo a la ocurrencia de accidente en el área de trabajo. La evidencia fotográfica correspondiente a la implementación de la metodología 5S se presenta en el Apéndice K.

6.2.1 Clasificación

Como primera fase de la implementación se realizó una identificación y clasificación de objetos innecesarios en los puestos de trabajo y de las zonas de tránsito de personal en el área de mantenimiento. Esta actividad se llevó a cabo mediante recorridos en el taller junto con los técnicos de mantenimiento, quienes aportaron su experiencia para determinar la utilidad real de cada elemento, se destinó de un tiempo de 8 horas para que cada técnico realizara la identificación con una etiqueta roja y posterior eliminación de los elementos innecesarios de cada área. Hirano (1995) resalta que la primera “S” es la base para reducir desperdicios y liberar espacio de trabajo.

Dentro de este tiempo cada técnico se debía encargar de identificar las herramientas e insumos presentes en su puesto de trabajo teniendo cuenta 3 preguntas ¿Qué uso diariamente?, ¿Qué falta? y ¿Qué sobra? De esta manera se generó un checklist por puesto de trabajo que permitió un inventario corto para determinar las herramientas, repuestos o materiales que son de uso diario, semanal, mensual o rara vez y su estado actual (útil o desechar).

Como resultado de esta actividad, se logró reducir la cantidad de elementos innecesarios en los puestos de trabajo y liberar espacios que anteriormente dificultaban la movilidad y el acceso a herramientas de uso frecuente. La tabla 24 resume los principales elementos clasificados y las acciones ejecutadas, como se puede evidenciar en el primer avance de mejorar el orden y aprovechar el espacio del área.

Tabla 24.

Resultados de la jornada de Seiri en el área de mantenimiento.

Tipo de elemento identificado	Cantidad identificada	Acción realizada	Observaciones relevantes
Herramientas duplicadas (llaves, martillos, alicates)	22	Reubicación y descarte parcial	Se conservaron las de mejor estado y mayor uso

Herramientas deterioradas u obsoletas	18	Descarte	Riesgo para la seguridad y baja funcionalidad
Repuestos metálicos en desuso (hierro gris y acero)	26	Reubicación a chatarra	Material acumulado de mantenimientos antiguos
Piezas fabricadas sin identificación	12	Revisión técnica y descarte	No se identificó equipo asociado
Elementos oxidados (tornillería, pernos)	19	Descarte	Afectados por residuos metálicos y humedad
Insumos contaminados con viruta y aceite	14	Descarte	No aptos para reutilización
Elementos de plástico deteriorados	9	Descarte	Por el tiempo de fabricación no son aptos para reutilización
Total de elementos clasificados			120
Total de elementos retirados del área		72	Representa 60% del total
Total de elementos reubicados		48	Reubicados en zonas definidas o chatarra

Nota. Elaboración propia a partir de la jornada de clasificación realizada en el área de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S.

6.2.2 Orden

Después de determinar cuáles elementos no eran necesarios en cada puesto de trabajo se realizó la ubicación correcta de acuerdo a las actividades frecuentes del personal, de esta manera las herramientas de mayor frecuencia de utilización quedaran más cerca del técnico.

Al finalizar de ubicar correctamente las herramientas necesarias en cada puesto de trabajo se realizó delimitación de las áreas de trabajo, esto permite que se conserven las ubicaciones. Se reorganizó la estantería y cajones por tipo de herramienta (eléctricas, de corte, de medición) de igual manera, se realizó con los repuestos que son de alta frecuencia que se encuentran en los puestos de trabajo de los técnicos.

Para esto fue necesario pintar o señalar las áreas de almacenamiento y tableros de herramientas para facilitar ubicación y devolución de estas. Con los elementos de menor tamaño como o ring, esferas metálicas, entre otros se ubicaron en recipientes plásticos con nombre de piezas se finalizó con la delimitación de las áreas diferenciadas para equipos grandes (prensa, taladro, torno).

Como efecto inmediato de esta etapa, se evidencio una reducción significativa en los tiempos de búsqueda de herramientas, especialmente durante los mantenimientos no programados. Los técnicos de mantenimiento manifestaron una mayor facilidad para identificar la ubicación de los elementos necesarios para ejecutar sus labores así como un mayor espacio disponible para la ubicación de los repuestos durante una intervención. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 25.

Tabla 25.

Comparación del tiempo promedio de búsqueda de herramientas antes y después de la implementación de la metodología 5S.

Herramienta de uso frecuente	Tiempo promedio de búsqueda antes de 5S (min)	Tiempo promedio de búsqueda después de 5S (min)	Reducción del tiempo (%)
Llaves combinadas	6,5	3,8	41,5 %
Martillo	4,2	2,5	40,5 %
Alicates	5,0	3,0	40,0 %
Destornilladores	6,0	3,5	41,7 %
Flexómetro	7,8	5,2	33,3 %
Extractores mecánicos	9,5	6,8	28,4 %
Promedio general	6,5	4,1	36,9 %

Nota. Elaboración propia a partir de mediciones realizadas durante el periodo de implementación del trabajo de grado en el área de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S.

6.2.3 Limpieza

Se realizaron dos jornadas de limpieza para eliminar los elementos innecesarios, la suciedad y dejar limpios los ambientes como: mesas, suelos, herramientas, máquinas y áreas comunes). Durante esta fase se eliminaron residuos, se limpiaron superficies de trabajo y se organizaron zonas comúnmente descuidadas, como rincones y áreas de almacenamiento secundarias. Esta actividad se desarrolló con la participación de los técnicos del área, promoviendo la responsabilidad compartida sobre las condiciones del entorno de trabajo.

Es importante resaltar que, debido a la naturaleza industrial de LAVCO, las actividades de limpieza implican un esfuerzo considerable. Los residuos generados por los procesos de mecanizado y fundición, que es el ambiente compartido de trabajo al que se está expuesto, son denso como la viruta metálica, el polvo del óxido del hierro y resto de lubricantes, los cuales se adhieren con facilidad a las superficies, equipos y pisos, dificultando el trabajo de limpieza tanto en la jornada de 5S como en las actividades diarias de mantenimiento.

La figura 19 muestra el estrado inicial del área de mantenimiento previo a la ejecución de la etapa de limpieza, evidenciando las condiciones reales del entorno industrial.

Figura 19.

Estado del área de mantenimiento antes de la implementación de la etapa de limpieza (Seiso).



Durante la implementación de esta etapa se puede evidenciar que la limpieza no correspondía a una actividad estética, sino a un proceso extenuante que gasto tiempo, esfuerzo físico y el uso de herramientas y elementos de apoyo adecuados.

Adicional a las jornadas de limpieza general propuestas para 1 vez cada mes, se priorizo en crear rutinas diarias de limpieza de 10 minutos de manera que cada técnico antes de finalizar la jornada realice retiro de viruta de la máquina, limpieza de los residuos de los operaciones del día, limpieza de la herramienta y su puesto de trabajo.

Se instalaron recipientes diferenciados para aceites y basura común. Los residuos metálicos se almacena en sacos para que la empresa de reciclaje realice su recolección cada 15 días.

La implementación de Seiso contribuyó a mejorar la percepción del entorno laboral y a reducir riesgos asociados a accidentes por desorden o suciedad como se observa en la figura 20.

Figura 20.

Estado del área de mantenimiento después de la implementación de la etapa de limpieza (Seiso).



6.2.4 Estandarización.

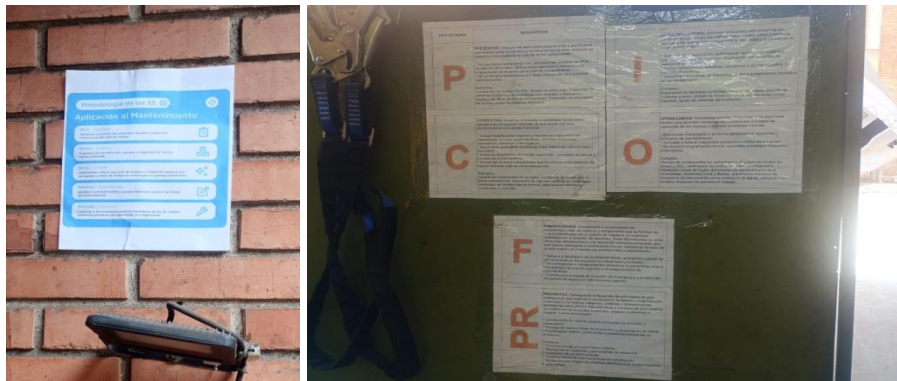
Una vez consolidadas las tres primeras etapas, se generaron las políticas de orden junto con la gerencia, jefe y técnicos de mantenimiento donde se establece los lineamientos necesarios para conservar y mantener los espacios cómodos y seguros para la ejecución de actividades de mantenimiento. La estandarización permite mantener resultados a largo plazo y el control contribuye a tener inventario más concretos y de mayor valor en talleres metalmecánicos. (Botero, 1991).

Para ello, se elaboraron señalizaciones visuales sencillas y listas de verificación adaptadas a las condiciones reales del talle, evitando el uso de formatos extensos o complejos que dificultan su aplicación por parte de los técnicos. Los elementos estandarizados fueron documentados, permitiendo contar con un registro que facilitara el seguimiento y evaluación del cumplimiento de las 5S.

La figura 21 presenta un registro fotográfico de la señalización instalada en el área de mantenimiento, la cual sirvió como apoyo visual, especialmente considerando la necesidad de recordatorios claros y prácticos en el entorno de trabajo.

Figura 21.

Señalización instalada en el área de mantenimiento sobre 5S.



Adicionalmente, durante esta etapa se identificó que la adopción de nuevas prácticas asociadas a la metodología 5S y el uso de formatos de seguimiento representan un reto para el personal del área. La edad promedio de los técnicos es cercana a los 50 años y gran parte de su experiencia se ha desarrollado bajo esquemas de trabajo tradicionales, regularmente empírico, lo cual generó inicialmente resistencia al uso de los formatos y auditorias.

No obstante, a través del acompañamiento durante las actividades, la explicación práctica de los beneficios y la adaptación de los formatos a un nivel compacto y funcional, fue posible lograr la participación de los técnicos y una aceptación progresiva de los cambios implementados.

La estandarización es un paso fundamental para el proceso de mantenimiento, ya que este corresponde a una de las principales falencias a nivel general en los procesos permitiendo la reducción de tiempos improductivos

6.2.5 Disciplina

Se estableció un plan de seguimiento que incluyó realizar auditorías semanales durante el mes de implementación y un plan de auditorías mensuales durante los próximos 6 meses posteriores para fomentar la cultura de mejora continua.

El seguimiento se realizó durante el periodo de implementación del trabajo de grado, utilizando listas de chequeo y evaluaciones visuales que permitieron obtener porcentajes de cumplimiento por etapa. Los datos fueron recolectados mediante observación directa y mediciones simples, acordes con el alcance y la modalidad de la práctica empresarial y se presentan en la tabla 26, evidenciando un nivel de cumplimiento medio-alto.

Tabla 26.

Resultados de la auditoria 5S en el área de mantenimiento.

Etapa 5S	Criterios evaluados	Puntaje obtenido (%)	Nivel de cumplimiento	Observaciones relevantes
Seiri (Clasificación)	Eliminación de elementos innecesarios, identificación de herramientas útiles	78%	Medio – Alto	Se retiró aprox. el 60 % de los elementos clasificados; aún se identifican materiales pendientes de depuración
Seiton (Orden)	Ubicación definida de herramientas, accesibilidad y señalización básica	82%	Alto	Reducción del tiempo de búsqueda de herramientas cercana al 37 %
Seiso (Limpieza)	Limpieza de áreas, equipos y superficies	74%	Medio	La generación constante de residuos metálicos exige jornadas periódicas de limpieza
Seiketsu (Estandarización)	Uso de señalización, listas de verificación y estándares visuales	76%	Medio – Alto	Señalización instalada; se requiere reforzar su uso continuo
Shitsuke (Disciplina)	Cumplimiento sostenido de las prácticas 5S	70%	Medio	Apropiación progresiva por parte del personal; requiere seguimiento
Promedio general	76%			Medio – Alto

Nota. Elaboración propia a partir de la auditoria 5S realizada durante el periodo de implementación del trabajo de grado en el área de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S.

Los resultados permitieron evidenciar avances graduales en la apropiación de la metodología por parte del personal, aunque también se identificaron oportunidades de mejora que deberán ser abordadas a mediano y largo plazo en cabeza del jefe de mantenimiento.

Al finalizar esta etapa se concluyó con la retroalimentación y el reconocimiento del esfuerzo del trabajo con pequeños incentivos como diplomas internos que reconozcan la zona de mantenimiento mejor organizado.

Si bien la metodología 5S no impacta directamente indicadores como disponibilidad o la confiabilidad de los equipos, su aplicación permite facilitar la ejecución de las actividades de mantenimiento de los equipos y contribuyó de manera indirecta a la mejora de los indicadores del área, los cuales se analizan en el capítulo de resultados.

6.3 Propuesta 3. Modificación de formatos para recolección de información

Durante el diagnóstico inicial del área de mantenimiento de LAVCO. Se identificó que la información relacionada con las fallas de los equipos, las actividades de mantenimiento y las solicitudes de fabricación se registraban de manera incompleta, y en algunos casos, únicamente de forma verbal. Esta situación dificultaba la trazabilidad de los mantenimientos realizados, el análisis y seguimiento de fallas y la toma de decisión futuras basadas en información confiable.

Como complemento al plan integral de mantenimiento y pro de mejorar gestión documental y del conocimiento se realizaron unas modificaciones a formatos existentes y creación de nuevos formatos para el registro y toma de datos necesarios en el proceso.

Como primera etapa de la implementación, se realizó una revisión de los formatos y registros que venían utilizando en el área de mantenimiento. Adicionalmente, se realizaron entrevistas semiestructuradas con el jefe de mantenimiento y los técnicos responsables, con el propósito de identificar las falencias de los formatos.

Esto permitió evidenciar que los formatos existentes no permitían registrar de manera estructurada los repuestos utilizados, los tiempos reales de intervención ni las causas de las fallas, lo cual dificultaba la generación de históricos confiables.

En la tabla 27 se presentan en resumen la caracterización de los formatos implementados en el área de mantenimiento.

Tabla 27.

Caracterización de los formatos implementados en el área de mantenimiento de LAVCO.

Formato	Tipo	Información registrada	Uso dentro del proceso de mantenimiento	Beneficio para la gestión del mantenimiento
Registro y análisis de fallas	Digital	Equipo afectado, descripción de la falla, fecha, tiempo de parada	Permite documentar y analizar las fallas presentadas en los	Mejora la trazabilidad de las fallas y apoya la

		no programada, solicitud de mantenimiento asociada	equipos, facilitando el seguimiento histórico y la identificación de recurrencias	toma de decisiones para reducir paradas no programadas
Solicitud de fabricación	Físico	Descripción de la fabricación, cantidad requerida, materiales utilizados, tiempos de fabricación, plano o representación gráfica y observaciones	Controla las fabricaciones internas de herramientas y repuestos necesarios para los mantenimientos	Facilita la documentación técnica, reduce reprocesos y fortalece la planoteca del área de mantenimiento
Solicitud de mantenimiento (modificado)	Físico	Actividades realizadas, repuestos utilizados, tiempos de intervención y observaciones posteriores al mantenimiento	Registra de manera detallada las intervenciones realizadas a los equipos	Mejora la calidad de la información registrada y proporciona datos confiables para el análisis de la gestión del mantenimiento

Nota. Elaboración propia a partir de la implementación de los formatos en el área de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S.

6.3.1 Registro y análisis de fallas

El área de mantenimiento presentaba una falencia en el registro y análisis de las fallas en los equipos. Esta situación generaba que no se identificara la periodicidad de fallas en un equipo, la cantidad de tiempo muerto por inoperatividad de las máquinas y la causalidad de cada falla.

Con base en la información recolectada, se diseñó de manera física y digital un formato para que los operarios puedan reportar a los técnicos de mantenimiento cuando se presente una falla y esta quede registrada sobre un número consecutivo. El formato incluyó campos para identificar el equipo afectado, la descripción de la falla, los tiempos de parada no programada y el número de solicitud de mantenimiento relacionado.

Durante el periodo de prueba del formato, se registraron aproximadamente 9 eventos de falla, como se puede apreciar en la figura 22, lo que permitió validar la funcionalidad del formato y realizar los ajustes en los campos para facilitar su diligenciamiento por parte de los técnicos y operarios.

Figura 22.

Ejemplo de diligenciamiento del formato de registro de fallas.

		HOJA PARA EL REGISTRO DE FALLAS							VERSION 0			
FECHA												
# DE FALLA	EQUIPO	FECHA DE REPORTE DE FALLA	HORA DE REPORTE	QUIEN REPORTA	DESCRIPCION GENERAL DE LA FALLA	OBSERVACION	FUE PARADA NO PROGRAMADA	#DE SOLICITUD	FECHA PUESTA EN MARCHA	HORA DE ENTREGA	LA FALLA AFECTO EL PROCESO DE PRODUCCION	
0001	M033	29/01/2024	02:00 p.m.	KEVIN RIOS	VELOCIDAD INTERMEDIA NO FUNCIONA, NO ENTRA	.	SI	41760	02/02/2024	02:00 p.m.	SI	
0002	M017	14/01/2024	11:00 a.m.	GUNTHER TREMEL	BOMBA DE REFRIGERANTE CON FUGA	.	SI	41737	14/01/2024	11:40 a.m.	NO	
0003	F085	04/03/2024	02:00 p.m.	OSCAR	FUGA DE AGUA EN CANAL DEL SISTEMA DE APAGACHISPAS	.	NO	0013	07/03/2024	02:00 p.m.	NO	
0004	M084	04/03/2024	01:00 p.m.	JOSE LUIS RODRIGUEZ	REALIZAR CAMBIO DE RODAMIENTOS A PUERTA PRINCIPAL DE LA MAQUINA M084	.	NO	0019			NO	
0005	F085	04/03/2024	02:00 p.m.	OSCAR MANTILLA	REVISAR Y CORREGIR FUGA DE AGUA EN CANAL DE SISTEMA APAGACHISPAS	.	NO	0020	07/03/2024	02:00 p.m.	NO	
0006	M042	05/03/2024	08:00 a.m.	ARMANDO CACERES	CAMBIO DE TORNILLO Y TUERCA EN MANDRIL DE CORTE	.	NO	0022	06/03/2024	12:30 p.m.	NO	
0007	M031	05/03/2024	08:00 a.m.	JUAN CARLOS RUEDA	CORREGIR FUGA DE ACEITE DE LA MAQUINA	.	NO	0023	14/03/2024	05:00 p.m.	NO	
0008	M031	09/03/2024	07:00 a.m.	JUAN CARLOS R	CAMBIO DE RODAMIENTOS, RECTIFICADO	.	NO	0060	11/03/2024	11:40 a.m.	NO	
0009	M054	08/03/2024	07:00 a.m.	SEBASTIAN GARCIA	SE ENCONTRO TORRETA PORTA-HERRAMIENTAS CAIDA 4 DECIMAS. REQUIERE INTERVENCION	.	SI	0032	11/03/2024		SI	

Nota. Formato diligenciado durante el periodo de prueba en el área de mantenimiento.

6.3.2 Solicitud de fabricación

De manera complementaria, se diseñó un formato específico para las solicitud de fabricación de herramientas e insumos requeridos para los mantenimientos en las maquinas o su funcionamiento. Anteriormente, este tipo de solicitudes se realizaban en el formato solicitud de mantenimiento, lo que generaba falencias en la información ya que los campos existentes no permiten registrar los diferentes procesos que involucra una fabricación así como la representación gráfica de la misma.

El nuevo formato incluyó información básica como la descripción de la fabricación, la cantidad requerida, los materiales utilizados, los tiempos de fabricación y una sección para observaciones y/o recomendaciones. Así mismo, se dejó un espacio para escribir el número de plano relacionado o su representación gráfica para realizar posteriormente el plano y archivarlo en el sistema. El formato de solicitud de fabricación diseñado se presenta en el Apéndice L.

Tras su implementación, se logró diferenciar entre los tiempos promedios de las intervenciones realizadas a las maquinas (solicitud de mantenimiento) y los tiempos promedios de las fabricaciones de herramientas (solicitud de fabricación).

Adicionalmente, permitió una mayor facilidad en la obtención de datos necesarios como material utilizado y medidas finales para la elaboración de planos correspondiente a las piezas fabricadas enriqueciendo la planoteca de mantenimiento, reduciendo los errores en la elaboración de piezas y mejorando el control sobre las solicitudes realizadas.

6.3.3 Solicitud de mantenimiento

Como parte de la implementación de la propuesta, se realizó la modificación del formato de solicitud de mantenimiento existente. Los principales cambios consisten en ampliar el espacio destinado a la descripción de las actividades realizadas, así como la inclusión de campos para el registro de repuestos utilizados y observaciones relevantes posteriores a la intervención.

Adicionalmente, se eliminó la copia en papel químico del formato, permitiendo utilizar el respaldo de la hoja para el registro completo de la información y facilitando su posterior digitalización y archivo.

Esta modificación permitió mejorar la calidad de los registros y aumentar la disponibilidad de información útil para el análisis de la gestión de mantenimiento. El formato de solicitud de mantenimiento propuesto se presenta en el Apéndice M.

6.3.4 Socialización y puesta en marcha de los formatos

Una vez diseñados y ajustados los formatos, se realizó una jornada de socialización con el personal del área de mantenimiento. Durante esta actividad se explicó el objetivo de cada formato, la forma correcta de diligenciamiento y la importancia de registrar la información de manera completa y oportuna.

Posteriormente, los formatos fueron puestos en marcha realizando un seguimiento cercano, permitiendo resolver dudas y ajustes menores derivados de la práctica diaria.

La figura 23 presenta un registro fotográfico de la jornada de socialización realizada con el grupo de mantenimiento.

Figura 23.

Socialización de los formatos implementados con el personal del área de mantenimiento.



Nota. Jornada de socialización de los nuevos formatos de registro realizada con el personal del área de mantenimiento de Industrias LAVCO SAS

Como resultado de la implementación de los formatos de registro de información, se evidenciaron los siguientes logros:

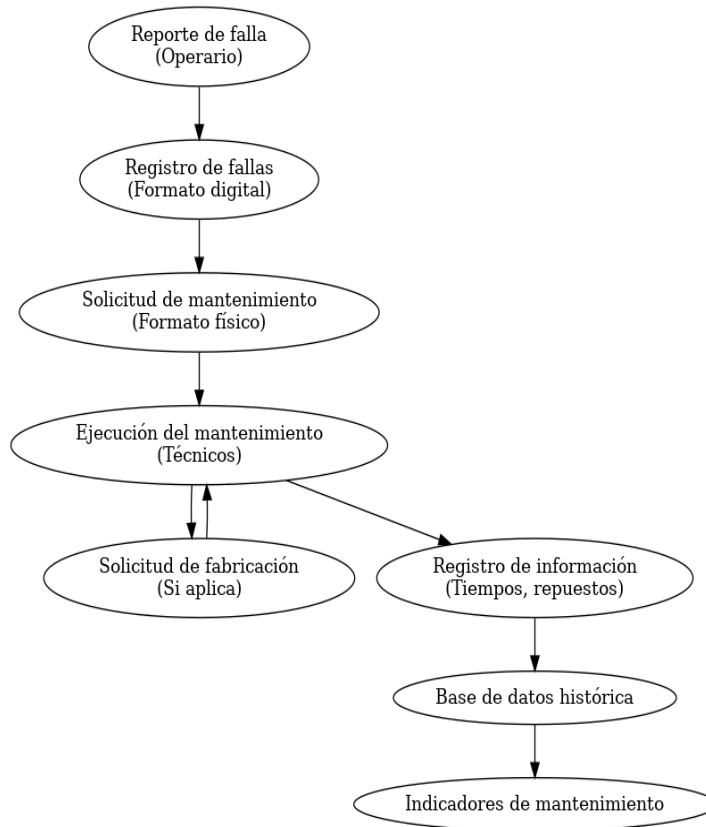
- Mejora en la trazabilidad de las actividades de mantenimiento realizadas.
- Consolidación de un histórico de fallas para los equipos.
- Mayor control sobre el uso de repuestos y materiales.
- Facilidad para identificar fallas recurrentes y oportunidades de mejora.
- Base documental para el cálculo de indicadores de mantenimiento.

Durante el periodo de prueba, se observó un incremento en la cantidad y calidad de la información registrada, lo que permitió apoyar la toma de decisión del área e iniciar con la correcta implementación de indicadores de gestión.

La figura 24 presenta el flujo de información del proceso de mantenimiento integrando los formatos implementados durante el desarrollo de la propuesta.

Figura 24.

Flujo de información del proceso de mantenimiento con formatos implementados.



Este flujo permite visualizar como la información generada desde el reporte de fallas hasta la ejecución se consolida en registros históricos y a su vez impacta la hoja de vida de los equipos y posteriores intervenciones.

La propuesta 3 se integra con las demás acciones planteadas con el trabajo de grado, aportando al objetivo general de disminuir los tiempos muertos mediante el fortalecimiento del sistema de mantenimiento al proporcionar herramientas documentales que soportan la planificación, ejecución y control de actividades. La estandarización de los registros contribuyó a

reducir la dependencia de información informal y permitió avanzar hacia una gestión más estructurada del mantenimiento.

7. Control y evaluación de los resultados obtenidos

Esta última etapa que está enfocada en el seguimiento y evaluación de las propuestas de mejora, se realiza al finalizar la implementación de las respectivas propuestas que fueron aprobadas por la gerencia. Su propósito fue verificar si las acciones desarrolladas durante la implementación contribuyen a atender las falencias identificadas en el diagnóstico inicial y a fortalecer la gestión del mantenimiento de LAVCO.

Este control se realizó mediante la definición e implementación de un sistema de indicadores, diseñado de acuerdo con la información disponible y el alcance propio de una práctica empresarial. Cabe resaltar que, previo al desarrollo de este trabajo, el área de mantenimiento no contaba con un sistema estructurado de medición, por lo que uno de los principales aportes de esta etapa fue establecer una base inicial para el seguimiento del desempeño del proceso.

Para finalizar se entregarán los resultados a la gerencia del mejoramiento realizado haciendo comparaciones con registros fotográficos e indicadores, permitiendo medir el impacto del trabajo de grado en el área de mantenimiento y sus procesos. Los resultados detallados del cálculo de los indicadores de mantenimiento se presentan en el Apéndice N.

7.1 Indicadores

Con el fin de evaluar el desempeño del área de mantenimiento en LAVCO y analizar el impacto de las propuestas de mejora formuladas en el presente trabajo de grado, se definió un conjunto de indicadores alineados con los lineamientos de la norma ISO 55000, la cual establece que la gestión de activos debe orientarse a generar valor para la organización, y con la norma ISO 14224, enfocada en confiabilidad y mantenimiento de equipos industriales.

Los indicadores seleccionados permiten evaluar de manera integral el comportamiento del sistema de mantenimiento, considerando aspectos clave como la disponibilidad de los equipos, confiabilidad operativa, el equilibrio entre mantenimiento preventivo y correctivo y el cumplimiento del plan preventivo.

El sistema de indicadores planteados permite el seguimiento y control teniendo en cuenta la realidad operativa de la empresa, la disponibilidad de información y las características propias del proceso.

7.1.1 Disponibilidad

La disponibilidad mide la probabilidad de que los equipos se encuentren en condiciones de operar durante un periodo de tiempo determinado. En el contexto de LAVCO, este indicador es especialmente relevante debido a la alta dependencia de la producción respecto a la continuidad operativa de los equipos críticos con el fin de maximizar el tiempo productivo de los activos críticos.

En la tabla 28 se presenta la ficha técnica del indicador de disponibilidad, donde se describen su objetivo, fórmula de cálculo, frecuencia de medición, fuente de datos y rangos de desempeño.

Tabla 28.

Ficha técnica del indicador de disponibilidad.

Ficha técnica			
Nombre del indicador	Disponibilidad		
Objetivo del indicador	Medir la probabilidad de que el equipo se encuentre disponible para operar durante un periodo determinado		
Tipo de indicador	De efectividad		
Formula de calculo	Numerador	Tiempo operativo	
	Denominador	Tiempo operativo + Tiempo de inactividad	X 100
Frecuencia de recolección	Mensual	Unidad	%
Fuente de datos	Solicitud de mantenimiento y registro de fallas		
Responsable	Técnicos de mantenimiento y jefe de mantenimiento		
Rango de desempeño	Optimo	Aceptable	Critico
	> 90%	80 % - 90 %	< 80 %

Durante el diagnóstico inicial se evidenció que las paradas no programadas afectaban de manera directa el flujo productivo y obligaban a realizar ajustes operativos, como el uso de horas extras para cumplir con compromisos de entrega.

Aunque el periodo de implementación del trabajo de grado es limitado, este indicador permitió establecer un punto de partida para el control de la disponibilidad de equipos, principalmente de criticidad alta.

7.1.2 Confiabilidad operativa

En el presente trabajo, la confiabilidad se evaluó en términos de confiabilidad operativa, expresada como porcentaje, con el fin de integrar tanto la frecuencia de fallas como la capacidad del sistema de mantenimiento para restablecer los equipos a condiciones operativas. Este enfoque fue necesario con la situación inicial de LAVCO, donde no se contaba con registros históricos completos que permitieran un análisis más extenso de confiabilidad.

En la tabla 29 se muestra la ficha técnica del indicador de confiabilidad operativa, donde se describen los criterios de cálculo, las variables involucradas, la frecuencia de medición y los rangos de evaluación establecidos para el área de mantenimiento.

Tabla 29.*Ficha técnica del indicador de confiabilidad operativa.*

Ficha técnica			
Nombre del indicador	Confiabilidad operativa		
Objetivo del indicador	Evaluar la probabilidad operativa de que una maquina realice su función si presenta fallas durante un tiempo determinado		
Tipo de indicador	De efectividad		
Formula de calculo	Numerador	MTBF	X 100
	Denominador	MTBF + MTTR	
Frecuencia de recolección	Mensual	Unidad	%
Fuente de datos	Solicitud de mantenimiento y registro de fallas		
Responsable	Jefe de mantenimiento		
Rango de desempeño	Optimo	Aceptable	Critico
	> 85%	70 % - 85 %	< 70 %

El análisis de este indicador permitió evidenciar de manera cualitativa una probabilidad de que los equipos permanezcan operativos en lapsos mayores. No obstante, se reconoce que la confiabilidad es un indicador que requiere seguimiento a mediano y largo plazo para obtener resultados más concluyentes.

7.1.3 Relación mantenimiento preventivo vs mantenimiento correctivo (MP vs MC).

Este indicador permitió evaluar el equilibrio entre las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, siendo un elemento clave para identificar el grado de madurez del sistema de mantenimiento. Mitigar de mantenimiento reactivo a preventivo.

Con el plan de mantenimiento propuesta y la definición de cronogramas, se observó una mayor participación del mantenimiento preventivo sobre el correctivo. Sin embargo, es importante aclarar que estos resultados pueden verse afectados negativamente por el historial apaga incendio de los mantenimiento, es decir aunque se tenga un plan de mantenimiento preventivo estructurado, pueden suceder mantenimiento correctivos que aparezcan antes de la programación inicial.

En la tabla 30 se presenta la ficha técnica del indicador de relación entre mantenimiento preventivo y correctivo (MP vs MC), la cual permite identificar la proporción del tiempo destinado a cada tipo de mantenimiento.

Tabla 30.

Ficha técnica del indicador de MP vs MC.

Ficha técnica			
Nombre del indicador	Relación de mantenimiento preventivo vs correctivo (MP vs MC)		
Objetivo del indicador	Determinar la proporción del tiempo empleado en mantenimiento preventivo frente al mantenimiento correctivo		
Tipo de indicador	De gestión		
Formula de calculo	Numerador	Horas de mantenimiento preventivo	
	Denominador	Horas totales de mantenimiento	
Frecuencia de recolección	Mensual	Unidad	%
Fuente de datos	Reporte individual de mantenimiento y solicitudes de mantenimiento		
Responsable	Jefe de mantenimiento		
Rango de desempeño	Optimo	Aceptable	Critico
	> 65%	50 % - 65 %	< 50 %

El objetivo planteado en el trabajo de grado con este indicador es reflejar la proporción de implementación de mantenimientos preventivos, no eliminando el mantenimiento correctivo sino haciendo una transición exitosa a un enfoque preventivo y posteriormente predictivo.

7.1.4 Cumplimiento mantenimiento preventivo

El cumplimiento del mantenimiento preventivo permitió evaluar el grado de ejecución del plan programado, reflejando la disciplina operativa del área de mantenimiento.

En la tabla 31 se expone la ficha técnica del indicador de cumplimiento del mantenimiento preventivo, en la que se especifican la forma de cálculo, la periodicidad de seguimiento y los criterios de evaluación definidos.

Tabla 31.*Ficha técnica del indicador de cumplimiento del mantenimiento preventivo.*

Ficha técnica			
Nombre del indicador	Cumplimiento del mantenimiento preventivo		
Objetivo del indicador	Medir el grado de cumplimiento de las actividades de mantenimiento preventivo programado en un periodo determinado		
Tipo de indicador	De eficacia		
Formula de calculo	Numerador	Actividades ejecutadas	X 100
	Denominador	Actividades programadas	
Frecuencia de recolección	Mensual	Unidad	%
Fuente de datos	Plan de mantenimiento preventivo, reporte individual de mantenimiento y solicitudes de mantenimiento		
Responsable	Técnicos de mantenimiento y jefe de mantenimiento		
Rango de desempeño	Optimo	Aceptable	Critico
	> 90 %	75 % - 90 %	< 75 %

Durante el periodo de implementación, el seguimiento a este indicador permitió identificar desviaciones en la programación, asociadas principalmente a la atención de fallas imprevistas. Sin embargo, el uso facilito la toma de decisión basada en daros, evitando la acumulación de actividades preventivas pendientes.

Estos son indicadores adicionales al tiempo de parada no programada y al costo de parada no programada que se llevan actualmente.

Si bien los resultados cuantitativos presentados corresponden a un periodo inicial de implementación, estos permiten establecer un punto de referencia para seguimiento del desempeño de mantenimiento en LAVCO y encontrar oportunidades de mejora hacia enfoques más modernos y rentables.

8. Resultados obtenidos y socialización

Como primer resultado del presente trabajo de grado, se puede evidenciar que el diagnóstico inicial del área de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S. constituyó el eje articulador para la formulación de las propuestas de mejora, al permitir identificar con claridad las brechas existentes entre la situación actual y las prácticas recomendadas por la literatura en gestión del mantenimiento. A partir del análisis documental, las entrevistas con los técnicos y personal involucrado y la revisión de los registros históricos de mantenimiento, se evidenció una mayor participación del enfoque correctivo, la ausencia de estandarización en los procedimientos y la carencia de indicadores que permitieran evaluar el desempeño del proceso.

El informe diagnóstico del estado actual de los procesos involucrados en el área de mantenimiento permitió reconocer variables críticas asociadas a la mano de obra, la maquinaria, el método y la medición, siguiendo el enfoque propuesto por el diagrama causa–efecto de Ishikawa (Gutiérrez Pulido, 2012). Como resultado del análisis de las solicitudes de mantenimiento del periodo 2022–2023, se identificó un promedio de 3,75 equipos no disponibles por mes, lo que representó aproximadamente una disminución del 20 % en las piezas terminadas que ingresaban a bodega mensualmente.

Adicionalmente, el diagnóstico evidenció que más del 65 % de las intervenciones correspondían a mantenimiento correctivo, situación que explicaba el incremento de horas extras y los sobrecostos operativos asociados a la atención de fallas imprevistas. Estos hallazgos permitieron priorizar las causas de mayor impacto y orientar el diseño de instrumentos

específicos como el inventario de activos, la actualización de la matriz de criticidad y los formatos de registro de información.

Como resultado del desarrollo e implementación de las propuestas formuladas permitió avanzar hacia la optimización de los procesos del área de mantenimiento, en coherencia con los objetivos específicos 2 y 3 del proyecto. En particular, la estructuración de un plan de mantenimiento integral para Industrias LAVCO S.A.S. contribuyó a mejorar la planeación, la ejecución y el control de las actividades de mantenimiento.

En el ámbito operativo, la definición de cronogramas de mantenimiento preventivo y la priorización de equipos según su criticidad permitieron mejorar la organización de actividades diarias del área de mantenimiento, especialmente en los procesos de fundición y mecanizado. Esta mejora se reflejó en una mayor estabilidad del proceso productivo, coherente con lo evidenciado en los indicadores definidos en el capítulo de control y evaluación.

Desde el punto de vista cuantitativo, la implementación del plan permitió incrementar progresivamente el porcentaje de mantenimiento preventivo ejecutado frente al correctivo. Durante el periodo de prueba, se evidenció un aumento del cumplimiento del mantenimiento preventivo, pasando de niveles cercanos al 40 % a valores superiores al 70 %, lo que redujo la recurrencia de fallas en equipos clasificados como críticos.

La estandarización de procedimientos y formatos de mantenimiento también generó beneficios medibles, al mejorar la trazabilidad de la información y reducir los tiempos de búsqueda de datos técnicos y repuestos. Estos resultados son coherentes con lo planteado por Heizer y Render (2015), quienes destacan que una adecuada gestión del mantenimiento incrementa la disponibilidad de los equipos y reduce los costos asociados a fallas imprevistas, así

como con Dounce (2014), al resaltar la importancia de la prevención sistemática para la confiabilidad de los activos industriales.

A partir de la experiencia de implementación del plan de mejoramiento, se desarrolló un sistema de indicadores orientado al seguimiento y medición de los procesos intervenidos, dando cumplimiento al objetivo específico 4. Este sistema permitió establecer métricas claras para evaluar el desempeño del área de mantenimiento en dimensiones clave como el aspecto económico, operativo y humano.

Antes de iniciar la practica el único resultado cuantitativo era el indicador de horas de parada no programada, el cual durante la revisión documental realizada en el diagnostico presente su pico más alto durante los primeros meses del año 2023, al igual que indicador de seguimiento de horas extras. De este modo se concluyó que existía una relación directa de causalidad entre los dos indicadores.

Después de estructurar las métricas correspondiente al sistema de indicadores establecido para el área de mantenimiento se realiza una revisión de los resultados obtenidos durante los meses de implementación en los dos indicadores anteriormente mencionados para analizar el impacto de las mejoras implementadas, como se puede observar en la tabla 32.

Tabla 32.

Resultados indicador de paradas no programadas y horas extras durante el periodo de implementación.

Mes	Indicador de horas de parada no programada	Indicador seguimiento horas extras
1	52	8.354 %
2	70	13.594%

3

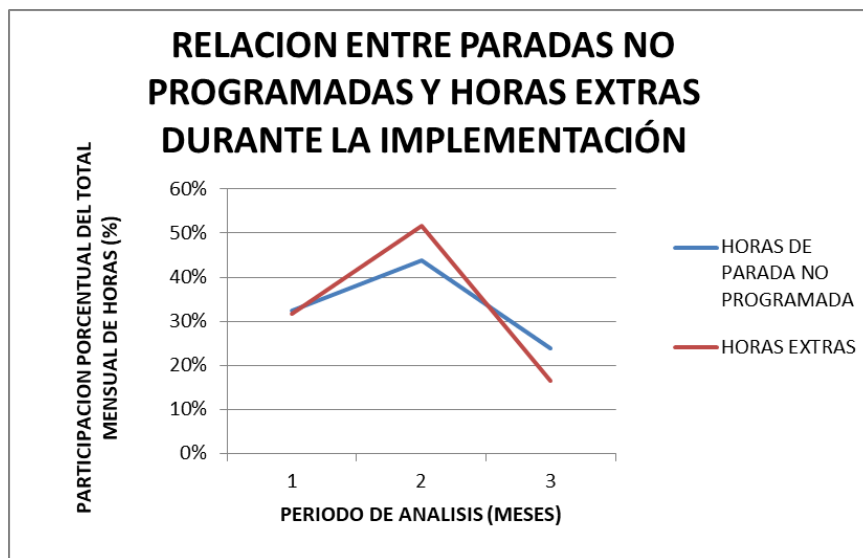
38

4.328%

El análisis de la figura 25 valida que la implementación del plan de mantenimiento preventivo y las propuestas de mejora asociadas disminuyen los costos productivos, mediante el aumento de la disponibilidad de equipos, que generan una disminución significativa en el indicador de horas de paradas no programadas y a su vez impacta en la dependencia de horas extras.

Figura 25.

Relación entre parada no programada y horas extras durante la implementación.



En el mes 2, la efectividad del plan de mantenimiento preventivo fue limitada por fallas en los equipos derivadas de la falta de trazabilidad documental. Al no contar con registros históricos y documentación técnica confiable, no es posible anticiparse a las fallas en una etapa prematura de la implementación, evidenciando la importancia de la fase de recolección de información para la gestión de conocimiento del área de mantenimiento. Estas fallas imprevistas

implican invertir tiempo disponible de los técnicos en mantenimiento correctivos quitándole capacidad operativa a los mantenimientos preventivos.

La socialización de los procesos y de las mejoras implementadas con los técnicos y personal de la organización constituyó un factor clave para la sostenibilidad del plan de mejoramiento. A través de jornadas de capacitación y acompañamiento, se logró involucrar al personal con el uso de los nuevos formatos, cronogramas y prácticas de trabajo.

Finalmente, el desarrollo del presente trabajo de grado permitió identificar retos importantes para sostenibilidad de las mejoras implementadas, entre los cuales se destacan la necesidad de fortalecer el seguimiento continuo a los indicadores, consolidar los registros históricos y mantener la disciplina en la ejecución de los mantenimientos preventivos para llevar las máquinas y equipos a un estado general aceptable.

9. Conclusiones

En el desarrollo del presente trabajo de grado se logró dar cumplimiento a los objetivos propuestos, evidenciando que la aplicación de herramientas de gestión del mantenimiento es viable desde el punto de vista técnico y organizacional, aun en contextos de recursos limitados como el de las empresas manufactureras del sector PYME en Colombia. La aplicación del diagnóstico inicial, el diseño del plan de mantenimiento integral y la construcción de un sistema de indicadores permitieron evidenciar mejoras medibles en la organización del proceso, en la planeación de actividades y en la toma de decisiones del área de mantenimiento.

Desde una perspectiva cuantitativa, los resultados obtenidos evidencian una reducción progresiva de la no disponibilidad de equipos, un aumento en el cumplimiento del mantenimiento preventivo y una disminución de la dependencia del mantenimiento correctivo, que inicialmente representaba más del 60 % de las intervenciones. Estos hallazgos confirman que la adopción de un enfoque preventivo y planificado contribuye a la estabilidad del proceso productivo, a la reducción de costos asociados a fallas imprevistas y a una mejor utilización de los recursos disponibles.

El estudio permitió además evidenciar el rol del ingeniero industrial en el desarrollo de los procesos productivos y de mantenimiento dentro del contexto industrial santandereano. Más allá de la solución puntual de problemas técnicos, el ingeniero industrial actúa como un articulador entre la operación, la gestión y la mejora continua, integrando herramientas analíticas, criterios económicos y enfoque humano para fortalecer la sostenibilidad de las organizaciones. En entornos industriales como el de las PYMES manufactureras como Industrias LAVCO S.A.S, donde los recursos son limitados, esta capacidad de análisis integral resulta fundamental para impulsar procesos de industrialización más eficientes y competitivos, alineados con las necesidades reales del sector productivo regional.

Uno de los aportes más relevantes del trabajo fue el cambio de la perspectiva cortoplacista en la gestión del mantenimiento, tradicionalmente orientada a la atención inmediata de fallas, hacia una visión de mediano y largo plazo basada en la prevención. La implementación del plan de mantenimiento y del sistema de indicadores permitió a la organización comprender que la inversión en actividades preventivas genera beneficios cuantificables en términos de reducción de paradas no programadas, mayor confiabilidad de los equipos y control de los costos operativos. Este cambio cultural y técnico se alinea con los principios de mejora continua y

gestión por procesos propuestos por la norma ISO 9001:2015, y constituye un paso fundamental para la consolidación de una gestión del mantenimiento orientada a la sostenibilidad y al mejoramiento permanente de la producción.

Finalmente, el desarrollo de este trabajo de grado evidencia la importancia del vínculo entre la universidad y el sector empresarial, particularmente a través de la participación de estudiantes en modalidad de práctica empresarial. La presencia de estudiantes en las organizaciones permite refrescar conocimientos, introducir herramientas actualizadas de gestión y generar oportunidades de mejora alineadas con las necesidades reales de la empresa. De manera complementaria, el acompañamiento y la apertura de Industrias LAVCO S.A.S. facilitaron la aplicación de los conocimientos teóricos adquiridos durante la formación académica en un entorno práctico, enfrentando retos operativos reales que fortalecieron el criterio profesional y la capacidad de análisis de la autora.

10. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos durante el desarrollo del presente trabajo de grado, se identifican diversas oportunidades de mejora para el fortalecimiento del área de mantenimiento de Industrias LAVCO S.A.S., especialmente en lo relacionado con la consolidación del sistema de mantenimiento, la gestión de la información y el desarrollo del talento humano. Si bien la implementación del plan de mantenimiento integral permitió avanzar hacia un mayor control del mantenimiento preventivo y reducir la dependencia del mantenimiento correctivo, se recomienda

dar continuidad al proceso de planeación y programación, entendiendo que la madurez de un sistema de mantenimiento se construye de manera progresiva. En este sentido, resulta conveniente que la empresa continúe trabajando para alcanzar niveles de cumplimiento del mantenimiento preventivo cercanos o superiores al 80 %, valor recomendado en la literatura para sistemas consolidados (Wireman, 2009).

Desde el ámbito operativo, se recomienda fortalecer de manera gradual el análisis de confiabilidad de los equipos clasificados como críticos, incorporando herramientas como el análisis de modos y efectos de falla (AMEF). Durante el desarrollo de la práctica se evidenció que muchas fallas recurrentes son conocidas por los técnicos a partir de su experiencia, pero no siempre se encuentran documentadas. La formalización de este conocimiento mediante herramientas de análisis permitiría anticipar fallas, reducir las paradas no programadas y mejorar de forma sostenida la disponibilidad de los equipos.

No obstante, la implementación y sostenibilidad de estas mejoras conlleva retos importantes, asociados principalmente a la disponibilidad de recursos económicos, la alta carga operativa del personal técnico y la resistencia natural al cambio que se presenta en las organizaciones con una cultura históricamente correctiva. Durante el periodo de práctica se pudo evidenciar que estas condiciones dificultan la recolección sistemática de información y el seguimiento continuo de los indicadores. Por ello, se recomienda a la gerencia priorizar de manera gradual las inversiones en mantenimiento, enfocándose en aquellas acciones que generen mayor impacto en la reducción de fallas imprevistas, considerando que, como lo indica Dounce (2014), las intervenciones preventivas resultan más eficientes y sostenibles en el mediano plazo que las correctivas urgentes.

En relación con el talento humano, se recomienda fortalecer los procesos de capacitación técnica y de gestión del mantenimiento, reconociendo la diversidad de conocimientos, edades y experiencias del personal del área. Durante la práctica se evidenció que el intercambio de saberes entre técnicos con amplia trayectoria y personal más joven constituye una oportunidad valiosa para el aprendizaje colectivo. En este sentido, la formación continua en temas como planeación, análisis de indicadores y uso adecuado de los formatos implementados contribuiría no solo a mejorar la ejecución de las actividades, sino también a reducir la dependencia del conocimiento tácito concentrado en pocos colaboradores.

Finalmente, se recomienda que futuros trabajos o proyectos de mejora amplíen el alcance del presente estudio, profundizando, por ejemplo, en el análisis de costos del mantenimiento mediante la implementación de indicadores económicos más detallados que permitan evaluar la relación entre la inversión en mantenimiento preventivo y los ahorros derivados de la reducción de fallas. Asimismo, sería pertinente extender el enfoque de medición hacia otros procesos estratégicos de la empresa, como producción y calidad, con el fin de fortalecer la gestión integral por procesos y la toma de decisiones basada en datos. Estas acciones permitirán consolidar una cultura de mejora continua alineada con los lineamientos de la norma ISO 9001:2015 y con las necesidades reales de las empresas del sector industrial PYME.

Referencias Bibliográficas

- Botero, C. (1991). *Manual de mantenimiento* [Manual]. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).
- Burgos Puerta, G. E., & Ciendúa Monroy, A. C. (2016). *Metodología para implementar las 5S en empresas del sector metalmecánico del corredor industrial de Boyacá*. *Revista I3+*, 3(1), 60–71.
- Canahua Apaza, N. (2021). *Implementación de la metodología TPM–Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica*. *Industrial Data*, 24(1).
- Carabalí Valero, D. F., & Solano Prado, Y. V. (2018). *Mejoramiento del proceso de mantenimiento en la empresa Prodeca S. A.* [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional UIS. <https://repository.uis.edu.co>
- Castanyer Figueras, F. (1988). *Cómo mejorar la productividad en el taller*. Marcombo.
- Chang, R. Y. (1996). *Mejora continua de procesos: Guía práctica para mejorar procesos y lograr resultados medibles* (O. Fiser, Trad.; ed. ilustrada). Granica.
- Chiavenato, I. (2011). *Administración de recursos humanos*. McGraw-Hill.
- Dounce Villanueva, E. (2014). *La productividad en el mantenimiento industrial*. Grupo Editorial Patria.
- García Garrido, S. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Ediciones Díaz de Santos.
- Giraldo Santos, L. (2019). *Diseño e implementación de un programa de mantenimiento productivo total para el área de producción de la Cooperativa de Panificadores de*

- Santander – COOPASAN* [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander].
Repositorio Institucional UIS. <https://repository.uis.edu.co>
- González Fernández, F. J. (2012). *Reducción de costes y mejora de resultados en mantenimiento: La gestión mediante indicadores*. FC Editorial.
- González Fernández, F. (2004). *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión*. Ediciones Díaz de Santos.
- González Neira, L. (2004). *Propuestas para el mejoramiento de los procesos productivos de la empresa SERVIOPTICA LTDA* [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana].
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7118/tesis139.pdf>
- Gutiérrez Pulido, H. (2012). *Calidad total y productividad*. McGraw-Hill.
- Heizer, J., & Render, B. (2015). *Dirección de la producción y de operaciones: Decisiones tácticas* (10.^a ed.). Pearson Educación.
- Industrias LAVCO S.A.S. (2023). *LAVCO – Industria Metalmecánica*. <https://lavco.com.co/>
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO 55000:2014: Gestión de activos— Visión general, principios y terminología*. ISO.
- Joanidis, C. (2019). *Mejorar para ganar: La transformación basada en procesos paso a paso*. Pluma Digital.
- Manrique Pardo, A. T. (2022). *Mejoramiento de los procesos en el área de mantenimiento de la empresa Proyectos y Servicios LTDA, asociado a la implementación de un nuevo sistema de información computarizado* [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander].
Repositorio Institucional UIS. <https://repository.uis.edu.co>
- Montilla Montaña, C. (2019). *Mantenimiento industrial y su administración*. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://doi.org/10.22517/9789587223910>

- Navarro Elola, L., Pastor Tejedor, A. C., & Mugaburu Lacabrera, J. M. (1997). *Gestión integral de mantenimiento*. Marcombo.
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2003). *Ingeniería industrial y de métodos* (ed. ilustrada). McGraw-Hill.
- Organización Internacional de Normalización. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad— Fundamentos y vocabulario (ISO 9000:2015)*. ISO. <https://www.iso.org/standard/45481.html>
- Ortiz Pimiento, N. R. (2014). *Técnicas básicas para el análisis y mejoramiento de la productividad en procesos de manufactura*. Ediciones UIS.
- Palmer, R. D. (2019). *Manual de planificación y programación del mantenimiento* (4.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Wireman, T. (2009). *Mantenimiento productivo total*. Industrial Press.