TPM como estrategia de mantenimiento en LEMANS GROUP: Una estrategia para mejorar la eficiencia y reducir costos en los procesos del taller

Alejandro Areiza Hurtado

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Semestre de Industria

Asesor

Sebastian López Gómez, Magíster (MSc) en Ingeniería

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita	(Areiza, 2025)
Referencia **Estilo APA 7 (2020)**	Areiza, (2025). TPM como estrategia de mantenimiento en LEMANS GROUP [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

creative commons BY NC SA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Vicerrectoría de Docencia

Sistema de Bibliotecas

Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: http://bibliotecadigital.udea.edu.co

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Más que este trabajo le quiero dedicar todos mis esfuerzos, trasnochos, estresadas a mi madre, por la cual he luchado para tener este diploma, incluso más que por mí, agradecerle por todos los trabajos que tuvo que pasar, todos los esfuerzos para que nunca me faltara nada y mi única preocupación fuera estudiar, gracias por el apoyo incondicional y por tu amor. Agradecerles a otras personas que hicieron que mi vida universitaria fuera mejor, me ayudaron cuando tenía dudas y siempre me dieron una mano. Por último, pero no menos importante, dedicarle este trabajo a doña María Soledad Vélez, sin ella no hubiera iniciado este viaje y por siempre estaré agradecido.

Agradecimientos

Le agradezco a la Universidad de Antioquia por abrirme sus puertas y formarme como un profesional integro, gracias por todas las exigencias académicas porque eso hace que seamos una de las mejores facultades de ingeniería de Colombia. Le agradezco a mi asesor de prácticas Sebastian López por el acompañamiento de este trabajo, a los profesores, porque, aunque uno no lo ve en el momento, todas sus exigencias son necesarias para ser un gran profesional.

Tabla de contenido

Resumen 10

Abstract 11

1. Introducción 12

2. Objetivos 14

2.1 Objetivo general 14

2.2 Objetivos específicos 14

3. Marco teórico 15

3.1 Orígenes del TPM 15

3.1.1 Orígenes y derivaciones del TPM 15

3.2. Mantenimiento autónomo 15

3.2.1 Pasos secuenciales del mantenimiento autónomo 15

3.2.2 Análisis de criticidad para mantenimiento autónomo 16

3.3. Mantenimiento planeado 17

3.3.1 Pasos secuenciales del mantenimiento planeado 17

3.3.2 Análisis de criticidad para mantenimiento planeado. 17

3.4 Estándar LILA 18

3.4.1 Componentes del estándar LILA 18

3.5 Desarrollo de calendario de mantenimiento 18

3.5.1 desarrollo de calendarios de mantenimiento autónomo y planeado. 18

3.6 Capacitación de operarios 19

3.6.1 Ventajas de la capacitación 19

3.7 Principio de funcionamiento y descripción de las máquinas. 20

4. Metodología 22

4.1 Desarrollo de los principios de funcionamiento. 22

4.1.1. Elevadores Hidráulicos *22*

4.1.2 Compresor de Aire *24*

4.1.3 Soldadora Kaser SM 10T *26*

4.2 Socialización de los principios de funcionamiento con los operarios. 29

4.2.1. Capacitaciones Presenciales *29*

4.2.2 Demostraciones Prácticas *29*

4.2.3 Talleres de Preguntas y Respuestas *30*

4.2.4 Seguimiento y Evaluación *30*

4.2.5 Capacitación Continua *30*

4.3 Desarrollo del mantenimiento planeado 30

4.3.1 Plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos *31*

4.3.2 Puntos Clave de la Programación *34*

4.4 Identificación y selección de los 3 equipos críticos de la empresa 34

4.4.1 Desarrollo de la Matriz de Criticidad *35*

4.4.2 Niveles de criticidad *36*

4.4.3 Matriz de frecuencia *37*

4.4.4 Matriz de riesgo *38*

4.4.5 Puntaje por nivel *38*

4.4.6 Clasificación de equipos según criticidad. *39*

4.4.7 Sistema de monitoreo y control del estado de los equipos *40*

4.5 Implementación del estándar LILA 41

4.5.1 Desarrollo del estándar de limpieza, inspección, lubricación y ajuste en cada equipo *41*

4.5.2 Creación de procedimientos estandarizados basados en el LILA para las *43*

tareas de mantenimiento planeado. *43*

4.5.3 Duración y Frecuencia: *44*

4.5.4 Elaboración de las cartas de lubricación específicas para cada equipo *45*

4.5.5 Desarrollo del calendario LILA *46*

4.5.6 Registro capacitación *47*

5. Resultados 49

5.1 Identificación de los equipos críticos *49*

5.2 Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo *49*

5.3 Capacitación a operarios *50*

6. Conclusiones 50

7. Referencias 52

8. Anexos 52

Lista de tablas

Tabla 1. Características elevador hidráulico 23

Tabla 2. Características compresor de aire 25

Tabla 3. Características soldadora.....28

Tabla 4. Cronograma mantenimiento preventivo.....34

Tabla 5. Encuesta criticidad. 36

Tabla 6. Niveles de criticidad.....36

Tabla 7. Valores de ocurrencia.....37

Tabla 8. Rangos de frecuencia. 37

Tabla 9. Matriz de frecuencia.....38

Tabla 10. Matriz de riesgo.....38

Tabla 11. Matriz de criticidad. 38

Tabla 12. Formato monitoreo.....40

Tabla 13. Calendario semanal LILA. 46

Tabla 14. Asignación personal LILA. 47

Lista de figuras

Figura 1. LUP elevador hidráulico.....22

Figura 2. Elevador hidráulico.....23

Figura 3. Sistema de seguridad elevadores hidráulicos 24

Figura 4. LUP compresor de aire 25

Figura 5. Tanque de aire comprimido 26

Figura 6. Red de aire comprimido.....26

Figura 7. Soldadora 27

Figura 8. LUP soldadora 28

Figura 9. Charla de capacitación estándar LILA 47

Figura 10 Presentación charla 48

Figura 11 Firmas asitencia capacitación 49

Siglas, acrónimos y abreviaturas

APA	American Psychological Association
mm.	Milímetros
bar	Bares
MPa.	Mega Pascales
MSc	Magister Scientiae
UdeA	Universidad de Antioquia
FF	Frecuencia de Fallas
IP	Impacto en la Producción
CM	Costo de operación
CR	Costo de Reparación
IS	Impacto en la Seguridad
MA	Medio ambiente
BC	Backup

Resumen

En las prácticas académicas se busca implementar dos de los pilares del TPM en la empresa Le Mans Gruppe, un taller automotriz de autos de lujo en la ciudad de Medellín. Se busca desarrollar un plan de mantenimiento preventivo y autónomo a las máquinas críticas de la empresa, con esto se buscará que los equipos no tengan parones inesperados que interrumpan el servicio, generando costos elevados.

Debido a que en el momento no cuentan con ningún plan de mantenimiento se desarrollará el pilar del TPM del plan de mantenimiento planeado, ya que este permite estructurar un sistema preventivo, el cual busca que en el taller ocurran la menor cantidad de parones repentinos posibles y así aumentar la productividad de este.

A medida que se desarrolle el sistema de mantenimiento planeado, se implementará el mantenimiento autónomo con el objetivo de que los operarios asuman tareas básicas de mantenimiento, como la lubricación, inspección, limpieza y ajuste, siguiendo el estándar LILA. Esto permitirá que los operarios desempeñen un rol más activo en el cuidado de los equipos, fomentando una mayor responsabilidad y reduciendo la ocurrencia de fallas inesperadas.

Palabras clave: mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo, estándar LILA, TPM.

Abstract

In the academic practices, the goal is to implement two of the pillars of TPM in Le Mans Gruppe, a luxury automotive workshop located in the city of Medellín. The aim is to develop a preventive and autonomous maintenance plan for the company's critical machines. This will help ensure that the equipment does not experience unexpected downtimes that could interrupt services and generate high costs.

Since the company currently lacks any maintenance plan, the planned maintenance pillar of TPM will be developed, as it allows for the structuring of a preventive system aimed at minimizing sudden breakdowns in the workshop and increasing its productivity.

As the planned maintenance system is developed, autonomous maintenance will be implemented with the goal of having operators take on basic maintenance tasks, such as lubrication, inspection, cleaning, and adjustments, following the LILA standard. This will enable operators to play a more active role in equipment care, fostering greater responsibility and reducing the occurrence of unexpected failures.

*Keywords***:** autonomous maintenance, preventive maintenance,, LILA standard, TPM

1. Introducción

La eficiencia de las operaciones en las empresas depende, en la actualidad, de su nivel de sostenibilidad, lo que deriva a la vez de la correcta gestión del mantenimiento de sus equipos. El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una estrategia que se implementará para maximizar la productividad de los equipos mediante la integración del personal de todos los niveles, esto buscando prevenir fallas, reducir tiempos de inactividad y mejorar la productividad total de la organización (Nakajima, 1988). El TPM es una metodología de mantenimiento que busca la mejora continua en los procesos y la productividad de los equipos de la empresa. Su misión es eliminar los parones inesperados, tiempos de inactividad gracias a un plan preventivo y proactivo que involucra a todo el personal. Le Mans Gruppe es una empresa ubicada en la ciudad de Medellín, la cual se desempeña en el sector industrial, específicamente en el sector automotriz, dedicado a la reparación, asistencia técnica y mantenimiento general de automotores, actualmente el taller enfrenta la falta de procesos de mantenimiento internos de la empresa para sus equipos críticos, como lo son los cuatro elevadores de piso, los tres elevadores de torre, un compresor de aire comprimido, equipos de soldadura y diversos más herramientas, las cuales son usados por los operarios día tras día. La carencia de un plan de mantenimiento ha generado interrupciones imprevistas en la operación, lo que conlleva a aumentar los gastos de la empresa, como también reduce la eficiencia y la seguridad en el taller. En el trabajo se buscará implementar dos pilares del TPM, siendo estos el mantenimiento planeado y el mantenimiento autónomo, para así buscar soluciones para mitigar los problemas descritos. Al diseñar e implementar un sistema de mantenimiento basando en los pilares mencionados anteriormente, se busca garantizar el correcto funcionamiento de los equipos de Le Mans, mejorando así su disponibilidad y la vida útil de las máquinas. El mantenimiento planeado permitirá establecer un cronograma en el que se establezca la frecuencia a realizar las acciones de mantenimientos preventivo, y el mantenimiento autónomo involucrará a los operarios en tareas básicas de cuidado y revisión del equipo y herramientas que tenga a cargo, promoviendo una responsabilidad operativa mayor y desarrollar una cultura de cuidado y mejora continua. Buscando desarrollar el proyecto se escogerán cuáles son los equipos críticos de la empresa para así poder identificar las necesidades de cada uno en el área de mantenimiento. Según esta información, se desarrollarán los planes de mantenimiento, que tendrán un calendario detallado de intervenciones preventivas y capacitaciones para el personal. Se

analizarán los resultados obtenidos al momento de empezar a implementar los planes de mantenimiento y se realizarán ajustes según los resultados obtenidos, siguiendo un ciclo de mejora continua de acuerdo con los principios de Kaizen. Se buscará también fortalecer el área de ingeniería dentro del taller, formando las bases para una gestión de los equipos que asegure la continuidad operativa, permitiendo reducir las fallas imprevistas y mejorar la calidad del servicio que ofrece la empresa.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Implementar los primeros pasos de los pilares de mantenimiento planeado y mantenimiento autónomo para el taller automotriz Le Mans a través del desarrollo de cronogramas que evidencien la frecuencia con la que se deben realizar las tareas, a su vez para el mantenimiento autónomo se buscará capacitar a los operadores y que logren completar las actividades que plantea el estándar LILA.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar una matriz de criticidad, esto permitirá identificar y priorizar los equipos principales del taller y establecer un sistema para definir cuáles requieren mayor atención en las ramas de mantenimiento autónomo y planeado.
- Establecer un cronograma de mantenimiento preventivo para los equipos escogidos según la matriz de criticidad, donde se buscará definir las actividades, la frecuencia de la inspección y revisión técnica.
- Desarrollar un sistema de monitoreo y control del estado de los equipos, en el que se registren los usos, intervenciones previas y el análisis de fallas, servirá para anticipar y programar mantenimientos eficientemente.
- Capacitar a los operarios para el uso de las herramientas bajo el estándar LILA (Limpiar, Inspeccionar, Lubricar, Ajustar) para que se puedan realizar las tareas de mantenimiento.
- Desarrollar estándares operativos para los equipos principales del taller para así evidenciar su principio de funcionamiento, su correcta forma de uso y mantenimiento básico.

3. Marco teórico

3.1 Orígenes del TPM

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una metodología cuyo objetivo es lograr la mayor eficiencia posible, esto se logra buscando tener las menores pérdidas posibles relacionadas con fallos de los equipos, defectos de estos y parones. El concepto del TPM se desarrolló en Japón a través de los años 70 por el Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM), este desarrollo buscaba responder a la necesidad que había en la época de aumentar la productividad en el sector industrial (Nakajima, 1988). A diferencia de las formas de hacer mantenimientos comunes, el TPM busca involucrar al personal de la empresa, desde operarios hasta ejecutivos en mantenimiento, para tener una mejora continua (Wireman, 2004).

3.1.1 Orígenes y derivaciones del TPM

El TPM surge del desarrollo del mantenimiento preventivo y productivo, para incluir al personal operativo en el mantenimiento de los equipos (Chan et al., 2005). Con el tiempo, esta metodología se ha popularizado, siendo ampliamente usada en la industria, sus principales características son el mantenimiento planeado, mantenimiento autónomo y los procesos de mejoras continuas bajo el principio de Kaizen (Tsarouhas, 2013). Todas estas prácticas conllevan al aumento de la disponibilidad de los equipos y a la reducción de costos asociados a los fallos (Wireman, 2004).

3.2. Mantenimiento autónomo

El mantenimiento autónomo es uno de los pilares del TPM, esto debido a que busca capacitar a los operarios para que así, estén más involucrados en el mantenimiento básico de los equipos que usan día tras día, realizando actividades como limpieza, inspección, lubricación y ajuste. El objetivo de este tipo de mantenimiento es que los operarios logren detectar y solucionar problemas menores, para que así no se presenten fallas inesperadas (Nakajima, 1988).

3.2.1 Pasos secuenciales del mantenimiento autónomo

Para desarrollar este tipo de mantenimiento en el taller Le Mans se desarrollará de la siguiente manera:

1. Limpieza inicial: todos los operarios realizarán una limpieza profunda en los equipos del taller para así identificar fuentes de contaminación y suciedad que estén afectando el funcionamiento normal de las máquinas.
2. Eliminación de fuentes de contaminación: las fuentes de contaminación y suciedad identificas en el paso uno se eliminará para así, facilitar futuras labores de mantenimiento.
3. Establecimiento de estándares de limpieza y lubricación: se establecerán procedimientos para la limpieza y lubricación de los equipos.
4. Inspección general: se capacitará a los operarios para que puedan identificar posibles fallos en los componentes del equipo al momento de realizar una inspección visual.
5. Inspección autónoma: se capacitará a los operarios para que puedan realizar inspecciones autónomas detalladas y así poder detectar posibles problemas que se puedan convertir en fallos graves en un futuro.
6. Estandarización y formalización: se estandarizarán los procedimientos para que se siga de manera periódica por todos los operarios.

3.2.2 Análisis de criticidad para mantenimiento autónomo

Al no existir un historial de fallos en el taller Le Mans se buscará realizar un análisis de criticidad utilizando estas dos herramientas:

1. Encuestas semiestructuradas: se entrevistará de forma ordenada a los operarios para obtener información sobre cuáles creen ellos son los equipos más críticos del taller. Estas encuestas son importantes porque recogen experiencias sobre el historial del uso de los equipos, el tipo de fallas que presentan más frecuentemente y la percepción de los operarios sobre el impacto de cada máquina en la operación general (Creswell, 2014).
2. Matrices de criticidad: metodología que permite identificar los equipos que generan más impacto sobre la operación, costes y seguridad de una manera cuantitativa y estructurada.

3.3. Mantenimiento planeado

Esta rama del TPM se enfoca en programar intervenciones para realizar un mantenimiento preventivo, esto para reducir los fallos inesperados y tener la máxima disponibilidad de los equipos. Para lograr esta planificación se necesita crear un calendario tanto de inspecciones como reparaciones preventivas basándose en el monitoreo continuo del estado de las máquinas (Wireman, 2004).

3.3.1 Pasos secuenciales del mantenimiento planeado

Para desarrollar el mantenimiento planeado en el taller Le Mans se seguirán los siguientes pasos:

1. Recolección de datos iniciales: por medio de inspecciones visuales se identificará el estado actual de los equipos críticos.
2. Desarrollar planes de mantenimiento preventivo: se desarrollarán planes de mantenimiento que cuente con tareas como cambio de lubricantes, revisión de componentes hidráulicos y ajustes.
3. Programación de mantenimiento: se creará un calendario detallado para la ejecución de las tareas establecidas para el mantenimiento preventivo, las frecuencias de estas serán basadas en la recomendación del fabricante y de los resultados obtenidos en el análisis de criticidad.
4. Monitoreo y ajustes del plan: se realizará un seguimiento constante sobre el estado de los equipos para así ir ajustando los planes de manteniéndote según los resultados obtenidos.

3.3.2 Análisis de criticidad para mantenimiento planeado.

Para determinar la criticidad y así realizar el mantenimiento planeado se seguirán los siguientes pasos:

1. Identificación de equipos: se listarán todos los equipos disponibles en el taller.
2. Evaluación del impacto: se estudiará las consecuencias si alguno de estos equipos llega a fallar en términos de seguridad, producción y costos.
3. Calificación por criticidad: se clasificarán los equipos como alta, media o baja criticidad según el impacto que genere si llegan a fallar en la operación del taller.

4. Priorización de recursos: los equipos de más alta criticidad recibirán más atención en los planes de mantenimiento que aquellos con bajo nivel de criticidad.

3.4 Estándar LILA

El estándar LILA es desarrollado en Japón como complemento a la filósofa del TPM, este se enfoca en actividades como limpieza, inspección, lubricación y ajuste (Nakajima, 1988), permitiendo que los equipos operen en las mejores condiciones posibles minimizando la probabilidad de fallos (Tsarouhas, 2013).

3.4.1 Componentes del estándar LILA

1. Limpieza: para un correcto funcionamiento de los equipos estos se deben mantener limpios y así lograr identificar problemas antes de que ocurran un fallo grave.
2. Inspección: se debe realizar inspecciones regularmente para así detectar signos de desgaste o fallas potenciales.
3. Lubricación: una correcta lubricación es parte esencial del correcto funcionamiento de los elementos de una máquina, mejorando así la productividad y la duración de sus componentes.
4. Ajuste: pequeños ajustes deben ser aplicados en los componentes para garantizar que los equipos funcionen dentro de los parámetros que ofrece.

3.5 Desarrollo de calendario de mantenimiento

Para garantizar una correcta implementación del mantenimiento autónomo y el mantenimiento preventivo es necesario crear los calendarios de mantenimiento, en particular los calendarios LILA son esenciales para así garantizar la limpieza, inspección, lubricación y ajuste del sistema (Wireman, 2004).

Los calendarios pretenden que todas las actividades de mantenimiento se programen regularmente, previniendo así la probabilidad de fallos menores que puedan convertirse en problemas más graves.

3.5.1 desarrollo de calendarios de mantenimiento autónomo y planeado.

Para crear los calendarios de mantenimiento para el taller Le Mans se seguirán los |siguientes pasos:

1. Identificación de tareas: se realizará un listado de las necesarias para realizar un correcto mantenimiento para los equipos críticos.
2. Frecuencia de actividades: se le asignará una frecuencia a cada actividad de mantenimiento (diaria, semanal, mensual) ya sea en el área de mantenimiento preventivo o autónomo dependiendo de las recomendaciones del fabricante de cada equipo, condiciones operativas y la criticidad del equipo.
3. Asignación de responsabilidades: se le asignará tareas específicas a cada operario dentro del mantenimiento autónomo, mientras que, para el mantenimiento preventivo se hará un plan para realizarlo con equipo de mantenimiento especializado.
4. Registro y seguimiento: es importante tener un registro visual y digital en el que los operarios documenten que se completaron las tareas programadas y también para el registro de los problemas identificados durante el mantenimiento.

3.6 Capacitación de operarios

La correcta capacitación de los operarios es parte crucial para el desarrollo del mantenimiento autónomo, en esta capacitación se buscará que el personal sea capaz de detectar y corregir problemas menores antes de que se conviertan en fallas graves. Otro objetivo de la capacitación es desarrollar un mayor compromiso y responsabilidad en el cuidado de los equipos.

3.6.1 Ventajas de la capacitación

La capacitación de operarios cuenta con múltiples ventajas, entre ellas se encuentran:
1. Reducción de fallos: al poder identificar problemas menores, tales como fugas de aceite o componentes desgastados se reduce la probabilidad de que se conviertan en fallos graves, reduciendo así el tiempo de inactividad de los equipos.
2. Mayor responsabilidad: al estar involucrados en el ámbito de mantenimiento de los equipos, se promueve un mayor sentido de pertenencia y de responsabilidad sobre el cuidado de estos, a la vez que aumenta la vida útil de los equipos.
3. Mejora de la productividad: al tener los equipos en condiciones en mejores condiciones y contar con menos tiempo de inactividad, la productividad en el taller

Le Mans aumentará.

3.7 Principio de funcionamiento y descripción de las máquinas.

En el taller Le Mans se cuentan con un conjunto de equipos como lo son los elevadores hidráulicos, un compresor de aire OKS Otto Klein GmbH y una soldadora Kaser SM 10T, a continuación, se describirá el principio de funcionamiento de cada uno.

- Sistema hidráulico de elevación: el fluido se encuentra en un depósito el cual, bombeado hacia un cilindro, esto permite generar la presión necesaria para que el pistón sea levantado. La presión generada depende de la cantidad de fluido desplazado y sobre la fuerza ejercida sobre el pistón.

El flujo del fluido es controlado mediante válvulas que permiten que se desplace tanto de forma ascendente como descendente, esto también permite contar con la seguridad de que el sistema no va a realizar un descenso accidental. En el taller Le Mans cada elevador cuenta con un panel de control el cual con medio de botones da la orden de que ascienda o descienda el vehículo y también de que quede bloqueado (hay un elevador que no cuenta con botón de bloqueo).

Generalmente, los elevadores hidráulicos en los talleres soportan entre 2,5 y 5 toneladas y alcanzan una altitud máxima de 2m.

En el taller Le Mans se encuentran cuatro elevadores hidráulicos, los cuales se usan para diferentes tareas, el elevador hidráulico 1 es al que se le da más uso diario debido a que es aquel que se usa para los carros que llega para revisión rápida, por lo tanto es el más crucial d el taller, el elevador dos se usa para los momentos en los que hay más de un turno y el elevador hidráulico 1 está ocupado. Los elevadores 3 y 4 al estar más al fondo del taller se usan para prestar servicios a los carros que se deben dejar en el taller.

La lubricación de los pistones, inspeccionar las mangueras y componentes eléctricos, y ajustar los sistemas de seguridad son las labores de mantenimiento que necesita este tipo de máquina.

- 2. Compresor OKS Otto Klein GMbH: su función principal es alimentar con aire comprimido las herramientas neumáticas en el taller como lo son las pistolas de aire, sistemas de pintura, etc. el modelo OKS Otto Klein GmbH es del tipo pistón, esto quiere decir que trabaja con la comprensión aire atmosférico, el cual después se almacena en un tanque presurizado.

Su principio de funcionamiento es tomar aire del ambiente y comprimirlo mediante el movimiento de un pistón en un cilindro, después se pasa el aire a un espacio más pequeño, esto aumenta su presión, de ahí se distribuye por tuberías a donde sea necesario. Este modelo puede trabajar a una presión máxima de 11 bares, cuenta con una capacidad de 500 L y trabaja en un rango de temperaturas de -10 °C a 80 °C.

Las tareas de mantenimiento constan de la limpieza de los filtros de aire, inspección de válvulas y lubricación de los componentes móviles.

- 3. Soldadora Kaser SM 10T: está máquina permite soldar con los procesos MIG y MAG,

en ambos procesos se usa gas protector y electrodo consumible. El principio de funcionamiento de la soldadora se basa en convertir la corriente alterna (AC) en corriente continua (DC) la cual es usada para generar el arco eléctrico. Está soldadora puede trabajar hasta a 300 A y con un electrodo entre 0.8 y 1.2 mm, el gas de protección que se usa es una mezcla entre argón y CO2.

Su forma de hacerle mantenimiento es realizarles la limpieza a las boquillas, el ajuste de los sistemas de control y la inspección de los cables de alimentación.

4. Metodología

La implementación del TPM se realizará en el taller Le Mans siguiendo una metodología específica, a través de un enfoque sistemático, se busca no solo minimizar las fallas y los tiempos de inactividad, sino también maximizar la vida útil de los equipos mediante prácticas de mantenimiento efectivas.

A continuación, se detallan cada uno de estos pasos que forman parte de la metodología.

4.1 Desarrollo de los principios de funcionamiento.

El mantenimiento productivo total (TPM) se basa en describir el principio de funcionamiento de las máquinas ya que permite que todos los trabajadores, especialmente operarios y el personal de mantenimiento comprendan cómo funcionan los equipos para que cuando se presente un fallo sea más fácil solucionarlo.

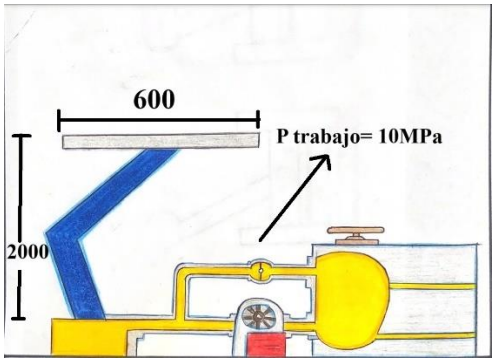
Se explicará el principio de funcionamiento de una manera sencilla de las máquinas con las que cuenta el taller, esto se hace para que los operarios puedan entenderlo y que así las puedan cuidar adecuadamente

4.1.1. Elevadores Hidráulicos

Estas máquinas se usan para levantar los vehículos y que así sea más fácil trabajar en su parte inferior, su funcionamiento es el siguiente:

1. Entrada del fluido hidráulico: los elevadores cuentan con un tanque que almacena un fluido, en este caso se llama aceite hidráulico, cuando se activa el elevador una bomba toma este fluido y lo empuja hacia un cilindro, en la **Figura 1** se ilustra la LUP del elevador, para que así sea más fácil entender el funcionamiento de la máquina.

Figura 1.
LUP elevador hidráulico



2. Presión en el cilindro: al fluido hidráulico entrar al cilindro, este genera una presión sobre un pistón que se mueve hacia arriba, provocando así que se pueda levantar el vehículo, en la **Figura 2** se muestra una foto real del elevador hidráulico operando en el taller Le Mans. Existen algunas variaciones de elevadores, por lo que en la **Tabla 1** se mostrarán sus especificaciones técnicas.

Figura 2.
Elevador hidráulico



Tabla 1.
Características elevador hidráulico

DATOS TÉCNICOS	VALOR
Capacidad carga	3500 [kg]
Altura de elevación	2000 [mm]
Largo plataforma	1400 [mm]
Ancho plataforma	600 [mm]
Presión trabajo	10 [MPa]

3. Control de movimiento: el elevador hidráulico cuenta con unas válvulas que regula la cantidad de fluido que entra y sale del cilindro, si se quiere subir el vehículo la válvula dejará pasar más fluido hacía el cilindro, mientras que, si se desea bajarlo, la válvula extrae fluido y lo lleva hacía el tanque, provocando así que el pistón descienda.
4. Sistema de seguridad: los elevadores cuentan con un sistema de bloqueo mecánico el cual evita que el vehículo baje de manera inesperada, provocando así un accidente, por lo tanto, es de vital importancia asegurarse siempre que el sistema de bloqueo este activado. En la **Figura 3** se observa el sistema de seguridad que emplean los elevadores.

Figura 3.
Sistema de seguridad elevadores hidráulicos



4.1.2 Compresor de Aire

compresor de aire comprimido es usado para generar el aire comprimido que se distribuye a través de todo el taller para operar herramientas neumáticas, tales como, pistolas de pintura o llaves de impacto, su funcionamiento se explica a continuación:

1. Toma de aire: lo primero es succionar el aire del ambiente, se cuenta con un filtro para evitar que entre partículas de suciedad.
2. Compresión del aire: para comprimir el aire se toma del ambiente, este es pasado a través de un pistón que lo comprime dentro de una cámara, esto funciona gracias al modelo físico que establece que al reducir el volumen del aire su presión aumenta, el sistema se ilustra mejor en la **Figura 4**, mostrando la LUP del compresor de aire, así como sus datos técnicos en la

Figura 4.
LUP compresor de aire

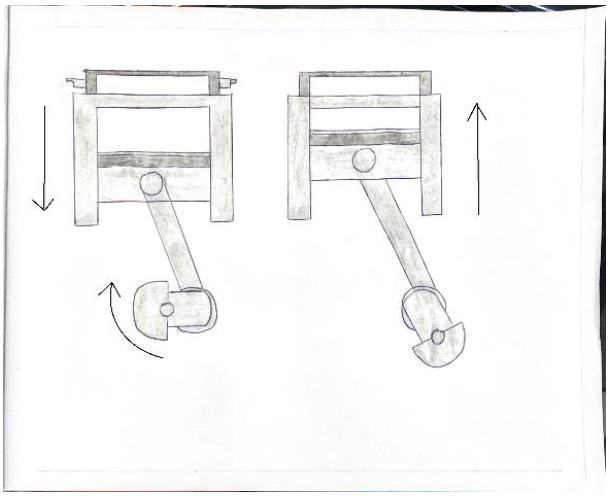


Tabla 2.

Características compresor de aire

DATOS TÉCNICOS	VALORES
Presión máxima de trabajo	11 [bar]
Capacidad	500 [L]
Temperatura mínima de trabajo	-10 [°C]
Temperatura máxima de trabajo	80 [°C]

3. Enfriamiento del aire: el aire al ser comprimido se calienta, el compresor cuenta con un sistema de enfriamiento el cual reduce la temperatura del aire antes de almacenarlo.
4. Almacenamiento en el tanque: el aire al ser comprimido se almacena en un tanque presurizado hasta que se necesita. El tanque ubicado en el taller Le Mans se muestra en la **Figura 5**.

Figura 5.
Tanque de aire comprimido



5. Distribución del aire comprimido: el aire que se encuentra almacenado en el tanque viaja a través de mangueras las cuales están conectadas a las diferentes herramientas neumáticas en el taller, estas se muestran en la **Figura 6**.

Figura 6.
Red de aire comprimido



4.1.3 Soldadora Kaser SM 10T

La soldadora es la máquina que se usa para unir dos piezas metálicas a través del calor, el modelo Kaser SM 10T permite trabajar en los procesos MIG (Metal Inert Gas) y MAG (Metal Active Gas). El taller Le Mans cuenta con una en sus instalaciones (**Figura 7**) Su funcionamiento se describe a continuación:

Figura 7.
Soldadora



1. Fuente de corriente: se conecta la máquina a la corriente eléctrica y la utiliza para crear un arco eléctrico entre un electrodo y la pieza de metal que se va a soldar.
2. Un soldador eléctrico de arco cuenta con un transformador, el cual tiene como función convertir un voltaje de entrada de 220V a un voltaje de salida que se encuentra entre los 20V a 40V, la energía se suministra a través de bobinas de alambre que están alrededor de un núcleo magnético, normalmente se cuenta con dos bobinas, siendo la primera conectada a la fuente de 220V y la secundaria al circuito de soldadura.
3. Este transformado trabaja por medio del principio de la ley de Faraday, el cual establece que el flujo de corriente alrededor de la bobina primaria induce el voltaje en la bobina secundaria. En la soldadora las espiras en la bobina secundaria son menores que las espiras en la primaria, el resultado es que se presenta una pérdida de voltaje. La tensión de salida de la bobina secundaria es menor que la tensión de entrada de la fuente de alimentación, esto es lo ideal debido a que en la soldadura proporciona una energía que puede sostener un arco, para entender mejor este principio de funcionamiento se usa la LUP de la soldadora (**Figura 8**). Las especificaciones técnicas de la soldadora se muestran en la **Tabla 3**.

Figura 8.
LUP soldadora

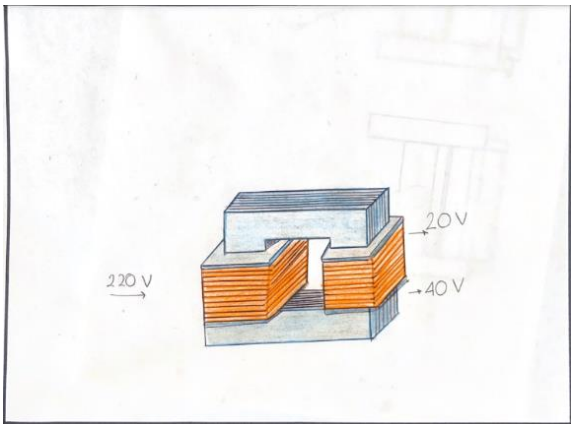


Tabla 3.
Características soldadora

DATOS TÉCNICOS	Valor
Presión máx de trabajo	11 [bar]
Capacidad	500 [L]
Temp trabajo máx	80 [°C]
Temp trabajo min	-10 [°C]
Tiempo de trabajo al día	2.5 [h/día]

4. Generación del arco eléctrico: al formarse el arco eléctrico se genera un calor intenso el cual empieza a fundir el electrodo y parte del metal de la pieza, al dejarlos enfriar, ambos se solidifican y ocurre la unión.
5. Protección del área de soldadura: en el proceso de la soldadura se libera un gas de protección que cubre el área del trabajo, esto para que la calidad de la soldadura no se vea afectada por la contaminación del aire generando poros o fisuras que pueden terminar en un fallo de la pieza.
6. Sistema de alimentación de hilo: para que la soldadura se lleve a cabo es necesario contar con un electrodo, este es un hilo el cual se alimenta continuamente desde un carrete, a

medida que el arco eléctrico lo derrite, la máquina va avanzando el hilo parta que no haya parones en la operación.

7. Ajustes de soldadura: el proceso de soldadura permite ajustar varios parámetros, tales como la velocidad del hilo, cantidad del gas, intensidad de la corriente y el voltaje, todo esto depende del tipo de metal que se vaya a soldar y su espesor.

4.2 Socialización de los principios de funcionamiento con los operarios.

En esta fase se le explicará al personal el funcionamiento de las máquinas para que así, el principio del TPM se desarrolle de acuerdo con lo planeado, por lo tanto, es necesario explicar detalladamente cada punto para que la comprensión de los principios de funcionamiento, características y el cuidado que necesitan los equipos sea claro. Esta etapa se realizará de manera estructurada y se asegurará que todo el personal lo entendiera de manera detallada, las actividades que se realizarán son las siguientes:

4.2.1. Capacitaciones Presenciales

- Sesiones informativas: el personal capacitado en TPM o el equipo técnico dará charlas en sesiones grupales en las cuales se explicarán los principios de funcionamiento de cada máquina y las LUPs correspondientes.
- Lenguaje sencillo y ejemplos prácticos: debido a que lo primordial es que todo el personal entienda sin dudas el funcionamiento de cada máquina, se usará un lenguaje sencillo con términos simples y con ejemplos del día a día en el taller, para que así los operarios logren relacional fácilmente la teoría explicada con su trabajo práctico.
- Duración y periodicidad: las sesiones se enfocaran en una máquina o un conjunto de máquinas como pueden ser los 4 elevadores hidráulicos como un conjunto, cada sesión tendrá una duración de 30 a 60 minutos.
- Carteles y señalización en el taller: en las máquinas y herramientas necesarias se pondrán carteles que describan los puntos clave de mantenimiento de este, así como sus LUPs.

4.2.2 Demostraciones Prácticas

- En el lugar de trabajo: un técnico encargado dará la demostración práctica de como identificar las LUPs y de la manera correcta de realizar las tareas básicas de mantenimiento,

como lo son limpiar el dispositivo o inspeccionar alguna parte de la máquina antes de que ocurra un fallo.

- Interacción directa: los operarios realizarán tareas con la supervisión de los técnicos, esto sirve para tener la oportunidad de que en las sesiones prácticas se corrijan errores comunes y así asegurarse de que entienden bien los procedimientos.

4.2.3 Talleres de Preguntas y Respuestas

- Resolución de dudas: durante cada sesión se abrirá un espacio para que los operarios realicen preguntas sobre dudas que pueden ir surgiendo sobre los principios de funcionamiento y las LUPs.
- Casos reales: se discutirán situaciones reales que hayan ocurrido en el taller para relacionarlas con los conceptos aprendidos.

4.2.4 Seguimiento y Evaluación

- Evaluación inicial: se aplicarán cuestionarios o dinámicas entre los operarios para evaluar que tan claro quedaron los conceptos explicados en la sesión.
- Supervisión en el día a día: todos los días los técnicos observarán a los operarios haciendo sus labores para así poder asesorarlos o corregirlos en algún proceso de mantenimiento explicado en las charlas.

4.2.5 Capacitación Continua

- Refrescamiento periódico: cada tres meses inicialmente se realizarán sesiones de refuerzo, en las cuales se recordará a los operarios los principios de funcionamiento y las LUPs. La frecuencia de estas charlas cambiará cuando el equipo de mantenimiento lo encuentre adecuado.
- Nuevos empleados: al entrar un empleado nuevo al taller se le incluirá la capacitación del principio de funcionamiento de máquinas y LUPs como parte de su proceso de inducción.

4.3 Desarrollo del mantenimiento planeado

El mantenimiento planeado se enfocará en los equipos críticos, los cuales son los elevadores hidráulicos 1 y 2, el compresor de aire OKS Otto Klein GmbH y la máquina para soldar Kaser SM 10T, se implementará un plan de mantenimiento planeado para así garantizar el funcionamiento óptimo de las máquinas, lo que deriva en que no ocurran fallos inesperados y por lo tanto se prolongue su vida útil.

4.3.1 Plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos

El plan de mantenimiento preventivo necesita seguir ciertas actividades para que se lleve a cabo, a continuación, se mostrarán cuáles son:

Para los equipos críticos se llevarán a cabo una serie de inspecciones técnicas, reemplazo de piezas, cambio de lubricantes y unas verificaciones generales, las actividades para cada una se describirán en la **Tabla 4**.

Elevador hidráulico

1. Inspecciones Técnicas:
    - Se revisará que los niveles de aceite hidráulico estén en el punto recomendado y si todavía tienen la calidad adecuada.
    - Se inspeccionará las mangueras hidráulicas y sellos para así detectar fugas o grietas que puedan generar un parón en las actividades del taller.
    - Se verificará el estado de los sistemas de bloqueo para así, asegurar la seguridad de los operarios.
2. Reemplazo de Piezas:
    - Se realizará el cambio de las mangueras hidráulicas cada 6 meses o antes si se identifican fugas. Se programarán cada seis meses ya que estos elementos sufren desgaste cada seis meses por la presión constante, el cambio preventivo evita fugas y posibles parones en el taller.
3. Cambio de Lubricantes:
    - Hacer renovación del aceite hidráulico cada 6 meses. Este establece un intervalo semestral debido a que el aceite hidráulico mantiene su efectividad si se usa en ambientes controlados como el taller automotriz. Se recomienda realizar el cambio cada seis meses para prevenir la degradación del lubricante, la contaminación y el desgaste acelerado de los componentes.
4. Verificaciones Generales:
    - Se hará una revisión del sistema alineación y del estado de las guías del pistón.

Compresor de Aire OKS Otto Klein GmbH:

1. Inspecciones Técnicas:
    - Se busca verificar la presión con la que opera el tanque y la funcionalidad de las válvulas de seguridad.
    - Se revisarán los filtros de entrada de aire y que las mangueras estén conectadas correctamente.
2. Reemplazo de Piezas:
    - Cada 3 meses se cambiarán los filtros de aire. Se estima este tiempo debido a que los filtros de aire se obstruyen rápidamente gracias al polvo y otras partículas presentes en el ambiente, por lo que no dejar tanto tiempo entre cambio y cambio mantiene constante la eficiencia del compresor.
    - Anualmente se sustituirán las válvulas de control. Se programan anualmente para así garantizar que la presión y la seguridad del sistema no se vean comprometidas.
3. Cambio de Lubricantes:
    - El aceite se debe cambiar cada 3 meses. El compresor al operar en un ambiente con variación de temperatura y alta frecuencia de uso genera que el aceite se desgaste en un tiempo más corto de lo habitual, un cambio cada tres meses asegura que mantenga sus propiedades de lubricación y así proteja las piezas internas contra el desgaste y la corrosión.
4. Verificaciones Generales:
    - El tanque de aire se debe inspeccionar para detectar corrosión interna o externa.

Soldadora Kaser SM 10T

1. Inspecciones Técnicas:
    - Se debe revisar el sistema de alimentación del hilo y las conexiones eléctricas de la máquina.
    - Inspeccionar que el suministro del gas protector esté funcionando de manera constante, también se deben revisar las boquillas de la máquina.
2. Reemplazo de Piezas:
    - Cada 6 meses se debe sustituir las boquillas de soldadura para así garantizar que el proceso tenga una excelente calidad. Las boquillas se van desgastando a medida que se realiza alguna soldadura, por lo que su cambio continuo garantiza la calidad de esta y

previene fallas que pueden afectar el proceso y entregando un mal resultado a los clientes.

- Si el sistema de alimentación del hilo muestra desgaste se debe reemplazar.

3. Cambio de Lubricantes:
    - Mensualmente se deben lubricar las guías del sistema de alimentación de hilo. Se realiza cada poco tiempo ya que la soldadora es una de las máquinas que más se usan en el taller, por lo tanto, las guías sufren fricción constante, por eso una lubricación mensual es crítica para así evitar que se desgaste las piezas de manera prematura y poder mantener una alimentación de hilo continua.
4. Verificaciones Generales:
    - Constantemente se debe de calibrar los parámetros de la corriente y la velocidad de alimentación de hilo, esta revisión y ajuste frecuente es esencial para asegurar que la soldadura cumpla con los estándares de calidad y seguridad.

Tabla 4.
Cronograma mantenimiento preventivo.

EQUIPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ELEVADORES HIDRÁULICOS	Inspección técnica	Mensual	Técnico de mantenimiento 1
	Cambio de lubricantes y mangueras	Semestral	Técnico de mantenimiento
	Inspección de seguridad	Mensual	Supervisor
COMPRESOR DE AIRE	Inspección de presión	Quincenal	Técnico de mantenimiento 1
	Cambio de filtros de aire	Trimestral	Técnico de mantenimiento 2
	Cambio de lubricantes	Trimestal	Técnico de mantenimiento 2
	Inspección de válvulas	Semestral	Técnico de mantenimiento 1
MÁQUINA SOLDADORA	Inspección de boquillas	Mensual	Técnico de mantenimiento 1
	Lubricantes de guías	Mensual	Operario 1
	Remplazo de boquillas	Semestral	Técnico de mantenimiento 2
	Calibración del sistema	Mensual	Técnico de mantenimiento 1

4.3.2 Puntos Clave de la Programación

- Todas las actividades se programaron según la criticidad de cada equipo, así también con el desgaste esperado de cada uno.
- Las tareas se repartieron según su complejidad, ya sea que lo realicen operarios o técnicos de mantenimiento si la tarea es más avanzada.
- La programación se puede ajustar según las necesidades y resultados al realizar las inspecciones.

4.4 Identificación y selección de los 3 equipos críticos de la empresa

En el caso del taller automotriz Le Mans, se busca crear la matriz de criticidad debido a que aún no se cuenta con un plan de mantenimiento establecido en el taller, por lo que la matriz ayuda

a definir cuales equipos son prioritarios para el mantenimiento preventivo y autónomo, esto evita que haya fallas graves que conduzcan a parones inesperados.

La matriz también permitirá orientar los esfuerzos de la implementación del estándar LILA en los equipos que tienen una criticidad más alta, para que así, los operarios cuiden más los equipos que manejan y se vea un aumento en la productividad.

4.4.1 Desarrollo de la Matriz de Criticidad

Para el desarrollo de la matriz de criticidad se necesita determinar los criterios de criticidad, por lo tanto, se les preguntó a dos operarios, dos técnicos de mantenimiento y al ingeniero encargado que escogieran los factores más importantes a tener en cuenta para el mantenimiento del taller, entre las opciones estaban:

1. Impacto en la Producción (IP): indica que tanto se ve afectada la producción si el equipo falla.
2. Costo de Reparación (CR): como su nombre lo dice, indica cuánto cuesta reparar el equipo en caso de falla.
3. Costo de operación (CM): hace referencia a cuánto cuesta tener en funcionamiento un equipo todo un mes.
4. Impacto en la Seguridad (IS): indica si el equipo falla que tan riesgoso puede ser para los operarios.
5. Medio ambiente (MA): que tanto afecta al medio ambiente que la máquina esté en funcionamiento.
6. Backup (BC): qué posibilidad hay de que se pueda remplazar el equipo en caso de una falla.

Se les pidió a los participantes de la encuesta que dieran una valoración numérica según su criterio (**Tabla 5**), siendo 1 no tan importante y 5 muy importante, estos fueron los resultados:

Tabla 5.
Encuesta criticidad.

FACTOR	OPERARIO 1	OPERARIO 2	TÉCNCIO 1	TÉCNCIO 2	INGENIERO	TOTAL
Impacto en la producción	3	4	4	4	5	**20**
Costo de reparación	3	3	4	5	4	**19**
Costo de operación	2	3	3	3	2	**13**
Impacto en la seguridad	4	5	5	5	4	**23**
Medio ambiente	1	2	2	2	3	**10**
Backup	4	4	3	3	4	**18**

Se escogieron los 5 factores más relevantes para realizar la matriz, se observa que el impacto en la seguridad fue el que mayor puntaje obtuvo seguido del impacto en la producción y después el costo de reparación, los últimos dos factores fueron el backup y el costo de operación.

4.4.2 Niveles de criticidad

A cada factor seleccionado se le tendrán en cuenta los tres niveles de criticidad, alto, medio y bajo, por lo que se generarán casos hipotéticos y así explicar el factor (**Tabla 6**).

Tabla 6.
Niveles de criticidad.

FACTOR	CRITICIDAD ALTA	CRITICIDAD MEDIA	CRITICIDAD BAJA
IMPACTO EN LA SEGURIDAD	Alto riesgo para la seguridad del personal (pérdida de extremidades, quemaduras, etc.).	Riesgo moderado, (lesiones leves, como cortes o golpes).	Sin riesgo para la seguridad del personal o del equipo.
	25	**16**	**8**
IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN	Sin riesgo para la seguridad del personal o del equipo.	Retrasos en los procesos de entre 1 y 4 horas.	Retraso de menos de una hora.
	23	**15**	**8**
COSTO DE REPARACIÓN	Más de 5 millones de pesos por reparación o cambio de pieza	Entre 1 y 5 millones de pesos por reparación o cambio	Menos de 1 millón de pesos por ajustes o reparaciones simples.
	20	**13**	**7**
BACKUP	No existen sustitutos, y el equipo es crítico para la operación.	Existe un sustituto, pero con rendimiento inferior o disponibilidad limitada.	Hay sustitutos fácilmente disponibles con desempeño similar.
	18	**13**	**6**
COSTO DE OPERACIÓN	Más de 500 mil COP al mes.	Entre 500-250 mil COP al mes.	Menos de 250 mil COP al mes.
	17	**12**	**5**
SEVERIDAD TOTAL	**103**	**69**	**34**

4.4.3 Matriz de frecuencia

Se busca definir los valores de riesgo, para esto se cogen los valores de la severidad total encontrados en la **Tabla 6** para así realizar el producto con los niveles de ocurrencia, en este caso se definen tres niveles (1, 2 y 3) siendo 1 el de menor ocurrencia y 3 el de mayor ocurrencia, este último quiere decir que ocurren más de tres fallas al mes, afectando gravemente las operaciones, el nivel 2 significa que ocurren entre 1 a 3 fallas al mes y el nivel 1 quiere decir que la máquina falla una o dos veces al año, impactando mínimamente las operaciones. En la **Tabla 7** se muestran los valores de riesgo de cada nivel.

Tabla 7.
Valores de ocurrencia.

NIVELES DE OCURRENCIA	ALTO	MEDIO	BAJO
SEVERIDAD	103	69	34
OCURRENCIA	3	2	1
RIESGO	309	138	34

Para definir el rango de frecuencia se toma como base el valor de riesgo más alto, este valor se divide en tres, esto debido a que se establecieron tres niveles de criticidad (**Tabla 6**). Se debe encontrar el límite superior e inferior (**Tabla 8**) para cada nivel de criticidad, esto con el fin de luego clasificar cada factor en un nivel

Tabla 8.
Rangos de frecuencia.

NIVEL DE OCURRENCIA	ALTO	MEDIO	BAJO
Límite superior	309	206	103
Límite inferior	207	104	0

Con los límites ya establecidos se busca diseñar la matriz de frecuencia (**Tabla 9**), se establecerá un código de colores si es de criticidad alta, media o baja. La tabla se muestra a continuación.

Tabla 9.
Matriz de frecuencia.

3	103	207	309
2	69	138	206
1	34	69	103
RANGO DE INTERVALOS	34	69	103

4.4.4 Matriz de riesgo

Con todos estos valores calculados se procede a unir las **Tabla 5** y la **Tabla 9** para así tener la matriz de riesgo (**Tabla 10**), con esta se podrá evaluar las máquinas presentes en el taller Le Mans, para así, concluir en que rango de criticidad se encuentran.

Tabla 10.
Matriz de riesgo.

CONSECUENCIAS						FRECUENCIA		
NIVEL	IS	IP	CR	BC	CM	MATRIZ DE CRITICIDAD		
3	25	23	20	18	17	103	207	309
2	16	15	13	13	12	69	138	206
1	8	8	7	6	5	34	69	103

4.4.5 Puntaje por nivel

A continuación, se tomarán las máquinas presentes en el taller Le Mans y se le proporcionará un valor a cada factor escogido, esto se hará de acuerdo con la probabilidad de que uno de estos elementos ocurra, por ejemplo, los elevadores hidráulicos son potencialmente peligrosos para el personal, y aunque no se ha presentado ningún accidente de este tipo en el taller, se le pondrá el máximo valor en el tema de impacto a la seguridad. Los resultados de estos valores se mostrarán en la **Tabla 11**.

Tabla 11.
Matriz de criticidad.

Equipos	IS	IP	CR	BC	CM	Total
Elevador Hidráulico 1	25	22	18	5	17	87
Elevador Hidráulico 2	25	20	18	5	15	83
Elevador Hidráulico 3	25	18	18	5	13	158
Elevador Hidráulico 4	25	15	18	5	10	73
Compresor OKS Otto Klein GmbH	6	23	12	15	18	148

Soldadora Kaser SM 10T	6	15	10	13	13	114

4.4.6 Clasificación de equipos según criticidad.

Los resultados obtenidos en la **Tabla 11** muestra cómo se evaluaron cada uno de los elementos presentes en el taller automotriz considerando los cinco factores claves, impacto en seguridad (IS), impacto en la producción (IP), costo de reparación (CR), disponibilidad de backup (BC) y costo de operación manual (CM). La puntuación total refleja la criticidad de cada equipo, esto nos da una visión para priorizar el mantenimiento y la gestión de recursos.

Los valores más altos de criticidad se obtuvieron en los elevadores hidráulicos, con puntajes entre 87 y 73, siendo el elevado 1 el más crítico, esto debido a su alto impacto en la seguridad y la producción. La criticidad de los elevadores disminuye progresivamente desde el 1 hasta el 4, esto se debe a que no todos los elevadores son usados con la misma frecuencia, pues los principales son los elevadores hidráulicos 1 y 2, por lo tanto, tienen más nivel de criticidad que los otros dos. Se multiplico el valor calculado en el elevador hidráulico 3 no porque sea este el que falle específicamente, pero al mes alguno de los elevadores sí tiene una falla, por lo cual solo se cogió uno de los elevadores para hacer el cálculo.

El compresor de aire obtuvo una puntuación de 74, su principal impacto se ubica en la producción, ya que si falla puede generar retrasos significativos en las operaciones del taller, sin embargo, en los otros factores no tienen tanto impacto, pues el impacto a la seguridad no representa un impacto elevado. Este también presenta una una o dos fallas al mes, por lo cual su valor se multiplica por dos, esto debido a lo explicado en la **Tabla 7**.

Por último, el soldador, este obtuvo la puntuación más baja, con 57 puntos, lo que lo posiciona como el equipo de menor criticidad dentro del taller, esto se debe a que su impacto en la seguridad y la producción es moderado y su coste de reparación es relativamente bajo. También tiene una falla al mes generalmente, por lo cual se le aplico la ocurrencia dos.

Teniendo estos resultados se puede analizar que el mantenimiento preventivo debe enfocarse prioritariamente en los elevadores hidráulicos, para así asegurar su funcionamiento y reduciendo la probabilidad de que ocurran riesgos inesperados.

4.4.7 Sistema de monitoreo y control del estado de los equipos

Se proponen dos sistemas que permitan el registro de la información clave sobre el estado de los equipos, el primer formato que se crea se mantendrá de forma impresa al lado de la máquina correspondiente (**Tabla 12**). Este sistema facilitará la toma de decisiones, lo que permitirá anticipar problemas y programar el mantenimiento preventivo de manera más eficiente.

Se llevará un registro diario del uso de cada equipo para monitorear su carga de trabajo y desgaste, los datos a registrar serán:

- Fecha y hora de inicio y fin del uso.
- Tiempo total de operación (en horas).
- Tipo de trabajo realizado (elevación, soldadura, compresión de aire).
- Operario responsable del uso.

Tabla 12.
Formato monitoreo.

FECHA	EQUIPO	ENCARGADO	HORA INICIO	HORA FIN	HORAS TOTALES	TIPO DE TRABAJO
12/01/2025	Elevador hidráulico 1	Operario 1	8:00 a. m.	10:30 a. m.	2.5	Elevaciuón de vehículo
13/01/2025	Compresor de aire	Operario 3	9:00 a. m.	12:00 p. m.	3	Suministro de aire

El segundo registro que se propone es en forma virtual, en el cual se tendrán las fechas exactas de cuando se realizó algún tipo de mantenimiento a la máquina, se muestra cuando debería ser la próxima, así como un estado de alerta si se pasó el tiempo programado para realizar la tarea. El programa entero se presenta en los **Anexos.**

Anexo 1.
Registro de intervenciones

Equipo	Tarea mantenimiento	Último mantenimiento	Frecuencia (meses)	Próximo mantenimiento	Estado	Realizado
Elevador 1	Cambio lubricantes	1/01/2025	6	1/07/2025	⚠ Próximo	☐
Elevador 2	inspección de seguridad	15/03/2025	1	15/04/2025	⚠ Próximo	☐
Elevador 3	inspección técnica	8/10/2024	1	8/11/2024	✕ Vencido - Urgente	☐
Elevador 4	Cambio mangueras	26/02/2025	6	26/08/2025	⚠ Próximo	☐
Compresor	Cambio filtros de aite	3/04/2024	3	3/07/2024	✕ Vencido - Urgente	☐
Soldador	Remplazo de boquillas	15/06/2024	6	15/12/2024	✕ Vencido - Urgente	☐

Con este formato la idea es que se hagan revisiones semanales para que estén al tanto de cuando toca realizar una tarea de mantenimiento así prevenir cualquier tipo de parón en el taller. Cada equipo tendrá su propio archivo para almacenar su historial completo y que así se pueda analizar el manejo que se le está dando a la máquina y si el mantenimiento que se le está haciendo es el programado.

4.5 Implementación del estándar LILA

Al implementar el estándar LILA se buscaba que los operarios del taller Le Mans realicen acciones para el cuidado de los equipos, reduciendo así la probabilidad de fallos inesperados. Este estándar permite que los trabajadores identifiquen problemas menores a tiempo, esto se traduce en una disminución en los costos de reparación. Además, a los operarios estar involucrados en el mantenimiento básico se promueve una mayor responsabilidad y compromiso con los equipos que usan día a día.

Para implementar el estándar LILA en el taller Le Mans se realizó lo siguiente:

1. Se capacitará a los operarios en las actividades de limpieza, inspección, lubricación y ajuste para cada máquina.
2. Se adaptará el estándar LILA para los equipos críticos como lo son los elevadores hidráulicos, el compresor y la soldadora, teniendo en cuenta sus características técnicas.
3. Se integrará el estándar LILA en los cronogramas de mantenimiento

4.5.1 Desarrollo del estándar de limpieza, inspección, lubricación y ajuste en cada equipo

Elevadores Hidráulicos:

- Limpieza: se basa en retirar la suciedad superficial y los restos del aceite acumulados en el exterior y en las guías del pistón. Se recomienda realizar la limpieza diariamente debido a que se acumula polvo, aceite y grasa en cada uso, si no se realiza con esta frecuencia se puede generar residuos que afecten el sistema hidráulico. Este tiempo teniendo en cuenta que se usen diariamente estos elevadores, de lo contrario se pueden realizar semanalmente.
- Inspección: se revisará semanalmente las mangueras hidráulicas para examinar que no tengan fugas, se verificará el nivel del aceite hidráulico y se le harán pruebas al sistema de bloqueo para comprobar su estado, esto debido a que pueden mostrar señales de desgaste o fugas, una inspección semanalmente permite detectar fallas antes de que sea peligroso. Si

el equipo trabaja en condiciones exigentes se recomienda hacer la inspección dos veces a la semana.

- Lubricación: se les aplicará grasa a las articulaciones para así evitar su desgaste. Se realizará quincenalmente debido a que las articulaciones no requieren grasa diaria, pero sí periódicamente para así evitar desgastes.
- Ajuste: se verificará los sistemas de bloqueo y las válvulas de control para así garantizar un funcionamiento seguro, ya que estos elementos pierden calibración lentamente, un ajuste mensual permite corregir desajustes antes de que afecten la seguridad

Compresor de Aire OKS Otto Klein GmbH:

- Limpieza: se realizará la limpieza de los filtros de entrada de aire y se retirará el polvo y suciedad en el exterior del compresor para así evitar sobrecalentamiento. Se recomienda realizarlo semanalmente para así evitar un parón en el taller, se puede volver quincenal si el entorno es limpio y el sistema tiene un uso moderado.
- Inspección: se comprobará el nivel de aceite del compresor y se verificará que las conexiones no tengan ninguna fuga, estas pueden aparecer con el uso continuo, por lo tanto, se recomienda revisar cada 15 días para así detectar condiciones anormales sin que se afecte el sistema.
- Lubricación: se realizará el cambio de aceite según las recomendaciones del fabricante y se lubricará los componentes móviles internos del compresor. Se escoge hacerlo mensualmente debido a las recomendaciones del fabricante, generalmente el aceite del compresor mantiene sus propiedades por varias semanas.
- Ajuste: se ajustará la conexión de las mangueras y los controles de presión para garantizar la correcta distribución del aire comprimido por toda la planta. Las conexiones se aflojan con la vibración de la misma máquina, ajustarla cada mes asegura que no hayan fugas de aire o perdidas de presión. Si el equipo está trabajando a altas presiones durante un tiempo prolongado se recomienda realizar el ajuste quincenalmente.

Soldadora Kaser SM 10T:

- Limpieza: se realizará la limpieza de las boquillas, los cables de alimentación y las conexiones para así garantizar que no hay residuos metálicos de un procedimiento realizado anteriormente. Este procedimiento se realiza cada vez que se use la máquina debido a que

la acumulación de residuos metálicos o salpicaduras afectan el funcionamiento de las boquillas y el sistema en general.

- Inspección: se revisará el estado del electrodo y se verificará que el suministro del gas protector este trabajando de manera constante. Debido a que los electrodos pueden presentar fallas si no se inspeccionan regularmente, se recomienda hacerlo cada mes si no hay un uso intenso, de lo contrario se recomienda hacerlo cada quince días.
- Lubricación: se lubricará los puntos móviles del sistema de alimentación del electrodo. Debido a que las partes móviles no sufren desgaste tan rápido, se recomienda una frecuencia mensual para asegurar un uso fluido sin malgastar lubricante.
- Ajuste: se ajustará la velocidad de alimentación del hilo, al igual que los parámetros de soldadura descritos anteriormente para el proceso de soldadura que se vaya a realizar, estos parámetros solo se recalibran si hay cambios en los procesos o en el material, no es necesario hacerlo constantemente.

4.5.2 Creación de procedimientos estandarizados basados en el LILA para las tareas de mantenimiento planeado.

Crear procedimientos estandarizados en el área de mantenimiento planeado permite llevar a cabo el estándar LILA de una forma más estructurada y garantizar que se van a llevar a cabo todas las tareas de este mismo, asegurando así que los operarios tengan una intervención especializada para prevenir fallas mayores y mantener los equipos de Le Mans en condiciones óptimas. La forma en la que se estructurarán los procedimientos se muestra a continuación.

1. Descripción de la tarea: se dará una breve explicación de la actividad a realizar.
2. Frecuencia: se indicará cada cuanto tiempo se realizará la tarea (diaria, semanal, mensual, trimestral).
3. Materiales y herramientas necesarias: se hará un listado de todos los materiales y herramientas que se necesitan para realzar una tarea.
4. Pasos detallados: se darán instrucciones claras para realizar la tarea.
5. Criterios de aceptación: se establecerán parámetros para asegurar que la tarea se realizó de manera correcta (ejemplo: presión ajustada a 8 bares, mangueras sin fugas, niveles de aceite en rango).

Para que el estándar LILA se lleve a cabo es de vital importancia que los operarios tengan una capacitación para asegurar que pueden realizar las tareas de limpieza, inspección, lubricación y ajuste en los equipos críticos del taller Le Mans. La propuesta de capacitación se desarrollará en las siguientes etapas:

1. Realizar la explicación a los operarios de los conocimientos técnico que deben de tener sobre el funcionamiento de los equipos.
2. Mostrarles cuales son las tareas específicas del estándar LILA y explicarles cómo van a ser adaptadas a cada máquina crítica.
3. Promover la responsabilidad de los operarios en el cuidado diario de los equipos.

La metodología para seguir será la siguiente:

1. Capacitaciones teóricas:
    - Dar la explicación de los principios del estándar LILA y su importancia en la filosofía del TPM.
    - Explicar los principios de funcionamiento de los equipos críticos del taller Le Mans.
    - Fomentar el uso de los materiales audiovisuales como los manuales, videos y LUPs para facilitar el aprendizaje.
2. Capacitaciones prácticas:
    - Se realizarán las charlas y talleres prácticos directamente en los equipos críticos donde los operarios van a realizar las tareas de limpieza, inspección, lubricación y ajuste, esto se hará bajo la supervisión de un técnico especializado.
    - Se harán simulacros de fallas para enseñarle a los operarios a identificar y reportar los problemas cuando estos de verdad ocurran.

4.5.3 Duración y Frecuencia:

- Duración inicial: se harán charlas de 2 horas diarias durante dos semanas. El tiempo irá cambiando de acuerdo con las indicaciones del equipo técnico y la evolución que le vean a los operarios.

- Capacitaciones de refuerzo: se realizarán reuniones trimestrales en las que se reforzaran conceptos dados anteriormente, así como también se podrá actualizar los procedimientos según las necesidades que se observen en el taller.

4.5.4 Elaboración de las cartas de lubricación específicas para cada equipo

Estos documentos son clave debido a que muestran cuales son los puntos para lubricar de cada máquina, así como el tipo de lubricante que se necesita, método correcto para hacerlo y la frecuencia con la que se debe realizar.

Es necesario realizar una carta de lubricación para cada equipo crítico del taller Le Mans.

1. Elevadores Hidráulicos

- Puntos para lubricar: se lubricarán los pistones hidráulicos, las guías del elevador y los puntos de articulación.
- Lubricante recomendado: se recomienda usar el lubricante ISO-46
- Frecuencia:
  - Pistón y guías: semanal.
  - Puntos de articulación: mensual.
- Método de aplicación: para la aplicación del lubricante se usará una pistola directamente en los puntos de articulación, en las guías y los pistones se realizará manualmente.

2. Compresor de Aire OKS Otto Klein GmbH

- Puntos para lubricar: los puntos a lubricar son la cámara de compresión, las válvulas y las juntas.
- Lubricante recomendado: se usará el aceite sintético ISO VG 46.
- Frecuencia:
  - Cambio de aceite: mensual.
  - Lubricación de juntas: trimestral.
- Método de aplicación: se llenará los depósitos de aceite hasta los niveles recomendados por el fabricante. Para las juntas se usará una jeringa.

3. Soldadora Kaser SM 10T

- Puntos para lubricar: se lubricarán las guías del sistema de alimentación de hilo.
- Lubricante recomendado: se usará un aceite ligero para maquinaria.

- Frecuencia: mensual.
- Método de aplicación: se aplicará con un paño en las guías y la boquilla, este proceso debe ser con cuidado para que no interfiera en el proceso de soldadura.

4.5.5 Desarrollo del calendario LILA

Desarrollar el calendario del estándar LILA permite organizar las tareas de limpieza, inspección, lubricación y ajuste de manera que los operarios sepan con exactitud qué días tienen que realizar cierta actividad.

En la **Tabla 13**, se presenta el calendario semanal que detalla las actividades del estándar LILA para los equipos principales del taller, con su respectiva frecuencia, responsable, tarea y notas para detallar la actividad a realizar.

Tabla 13.
Calendario semanal LILA.

DÍA DE LA SEMANA	EQUIPO	TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	NOTAS
LUNES	Elevador hidráulico 1	Limpieza	Diario	Operario 1	Limpiar guías y pistón después de uso
	Elevador hidráulico 1	Inspección	Semanal	Operario 1	Revisar mangueras y niveles de acite
	Compresor de aire	Limpieza	Semanal	Operario 3	Limpiar filtros y tanque de aire
	Soldadora	Limpieza	Después de uso	Operario 4	Limpiar boquillas y retirar residuos
MARTES	Elevador hidráulico 2	Limpieza	Diario	Operario 2	Rertirar aceite acumulado en guías
	Compresor de aire	Inspección	Quincenal	Técnico de mantenimiento	Revisar válvulas y fugas en mangueras
MIERCOLES	Elevador hidráulico 1	Lubricación	Quincenal	Técnico de mantenimiento	Engrasar puntos móviles y articulaciones
	Soldadora	Lubricación	Mensual	Técnico de mantenimiento	Lubricar guías de alimentación del hilo
JUEVES	Elevador hidráulico 2	Inspección	Semanal	Operario 2	Verificar sistema de bloqueo y aceite
	Compresor de aire	Limpieza	Semanal	Operario 3	Limpiar polvo acumulado
VIERNES	Compresor de aire	Lubricación	Mensual	Técnico de mantenimiento	Cambiar aceite y lubricar juntas
	Soldadora	Ajuste	Mensual	Técnico de mantenimiento	Calibrar velocidad hilo y gas
	Elevador hidráulico 2	Lubricación	Quincenal	Técnico de mantenimiento	Aplicar grasa en articulaciones

Asignar responsabilidades a cada operario y técnico de mantenimiento hace que el trabajo este bien distribuido y que cada uno sepa con claridad que tareas tiene que realizar día a día, buscando así que se lleve a cabo el estándar LILA de una manera eficaz (**Tabla 14**).

Tabla 14.
Asignación personal LILA.

EQUIPO	TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	PLAZO MÁXIMO
ELEVADOR HIDRÁULICO 1	Limpieza	Diario	Operario 1	Al final de cada turno
	Inspección	Semanal	Operario 1	Lunes de cada semana
	Lubricación	Quincenal	Tecnico de mantenimiento 1	Día 15 y último día del mes
	Ajuste	Mensual	Técnico de mantenimiento 1	Última semana del mes
ELEVADOR HIDRÁULICO 2	Limpieza	Diario	Operario 2	Al final de cada turno
	Inspección	Semanal	Operario 2	Martes de cada semana
	Lubricación	Quincenal	Tecnico de mantenimiento 2	Día 15 y último día del mes
	Ajuste	Mensual	Tecnico de mantenimiento 2	Última semana del mes
COMPRESOR DE AIRE	Limpieza	Semanal	Operario 3	Cada viernes
	Inspección	Quincenal	Técnico de mantenimiento 1	Día 10 y día 25 del mes
	Lubricación	Mensual	Técnico de mantenimiento 2	Último viernes del mes
	Ajuste	Trimestal	Técnico de mantenimiento 2	Última semana del trimeste
SOLDADORA	Limpieza	)espués de cada us	Operario 4	Inmediatamente después del uso
	Inspección	Semanal	Operario 4	Cada jueves
	Lubricación	Mensual	Técnico de mantenimiento 1	Última semana del mes
	Ajuste	Mensual	Técnico de mantenimiento 1	Última semana del mes

Se le recomienda a cada operario o técnico revisar el calendario diariamente para que estén al día en las actividades que deben realizar.

- Cada operario o técnico es responsable de cumplir con las tareas asignadas en el equipo que usa o mantiene.
- Se recomienda que se realicen las tareas en el plazo asignado para evitar retrasos en el mantenimiento.

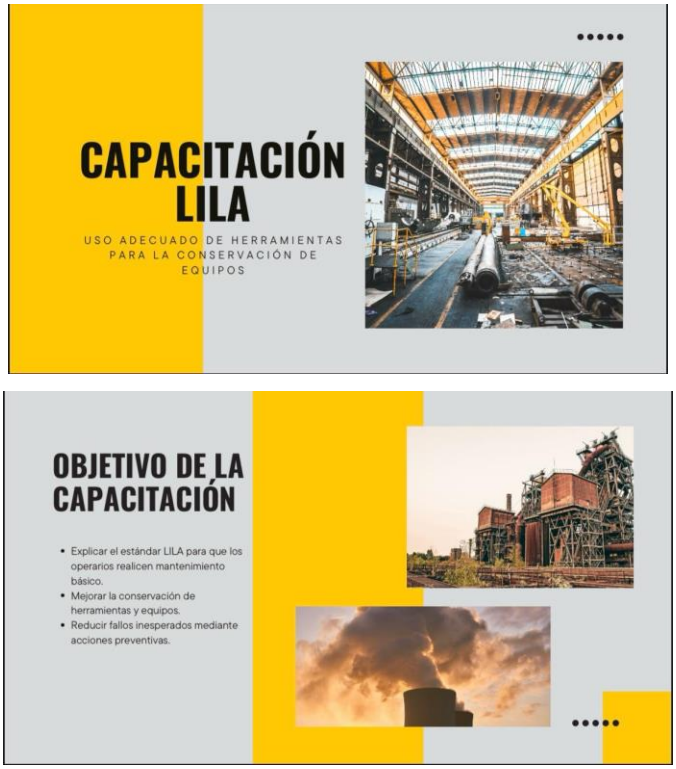
4.5.6 Registro capacitación

Se realizó una charla en el taller Le Mans donde se capacitó a los operarios en el uso de las herramientas bajo el estándar LILA y que así puedan realizar tareas de mantenimiento (**Figura 9**). Se preparó una presentación, algunas de las diapositivas se muestran en la **Figura 10**.

Figura 9.
Charla de capacitación estándar LILA

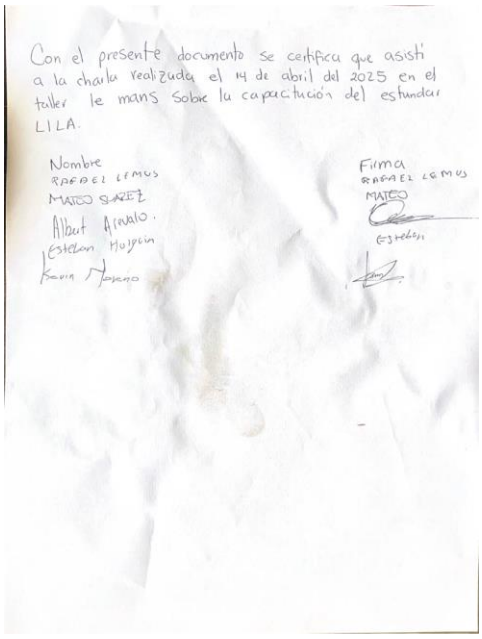


Figura 10.
Presentación charla



Para llevar un registro de que el personal estuvo en la capacitación sobre el estándar LILA fue importante documentar la asistencia de manera clara a través de un formulario (**Figura 11**). Los datos que se registraron fueron nombre y firma.

Figura 11.
Firma asistencia capacitación



5. Resultados

5.1 Identificación de los equipos críticos

Se evaluaron cinco factores en la matriz de criticidad, impacto en seguridad, impacto en producción, costo de reparación, costo de operación y backup. Como resultado del análisis se seleccionaron tres equipos críticos:

- Elevador hidráulico 3
- Compresor de aire
- Soldadora

5.2 Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo

Se elaboró un cronograma en el que se especifica que actividades se deben realizar a cada equipo, en estas se programaron tareas como:

- Cambio de lubricantes
- Revisión de filtros y válvulas
- Verificaciones técnicas
- Ajustes periódicos.

5.3 Capacitación a operarios

Se realizó una capacitación presencial con una charla sobre el funcionamiento y las tareas del estándar LILA, también se desarrolló un sistema de monitoreo donde se tendrá un control del uso y mantenimiento de los equipos, este se creo tanto físico como virtual, los datos que se registraron fueron los siguientes:

- Fecha de uso.
- Equipo que se usó.
- Encargado.
- Hora de inicio y final del mantenimiento.
- Tipo de trabajo realizado.
- Tiempo de intervención.
- Fecha del próximo mantenimiento.
- Estado del equipo, tareas pendientes o vencidas con alertas visuales.

6. Conclusiones

- Se aplicó la matriz de criticidad a los 7 equipos del taller y se determinó que los equipos que presentan una criticidad media son el elevador hidráulico 3 con 158 puntos, el compresor de aire con 148 y el soldador con 114. Esta evaluación cuantitativa facilita la priorización técnica para enfocar las tareas de mantenimiento.
- La capacitación del personal permitió que los operarios puedan realizar más del 80% de las tareas de mantenimiento sin necesidad de depender de la intervención de los técnicos. Esto es un paso importante para el área de mantenimiento del taller y mejora la disponibilidad operativa del taller.
- En total se desarrollaron 24 tareas de mantenimiento siguiendo el estándar LILA distribuidas de la siguiente manera:

a) 4 tareas para los elevadores hidráulicos: limpieza diaria, inspección semanal, lubricación quincenal y ajuste mensual. Como en total son 4 elevadores eso hace que en elevadores haya 16 tareas.
b) 4 tareas para el compresor de aire, con limpieza semanal, inspección, lubricación y ajuste mensual.
c) 4 tareas para la soldadora, con limpieza después de cada uso, inspección y lubricación mensual y ajuste semestral.

Estas actividades se organizaron en un calendario semanal y mensual, asignándole a los operarios responsabilidades específicas y permitiendo el fortalecimiento del mantenimiento autónomo.

7. Referencias

Chan, F. T. S., Lau, H. C., Ip, R. W., Chan, H. K., & Kong, S. (2005). *Implementation of total productive maintenance: A case study.International Journal of Production Economics.* (https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.10.021).

Imai, M. (1986). Kaizen: *The key to Japan's competitive success*. McGraw-Hill.

Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM). (2010*). TPM excellence awards criteria.* JIPM.

Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total productive maintenance*. Productivity Press.

Tsarouhas, P. H. (2013*). Evaluation of overall equipment effectiveness in the beverage industry: A case study. International Journal of Production Research*. (https://doi.org/10.1080/00207543.2012.676682).

Wireman, T. (2004). *Total productive maintenance*. Industrial Press.

8. Anexos

Anexo 1: Tablas de trabajo de grado.