

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2026,  
Volumen 10, Número 1.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v10i1](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i1)

## **IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA TPM Y SLP PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL SECTOR METALMECÁNICO**

**IMPLEMENTATION OF TPM AND SLP TOOLS TO IMPROVE  
EFFICIENCY IN THE METALWORKING SECTOR**

**Ernesto Altamirano Flores**

Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

**Elvira Cáceres Cayllahua**

Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

**Jhon Pérez Ayala**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

**María Fernanda Delgado Pucurimay**

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú

**Valeria Francia Quispe**

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú

## Implementación de la Herramienta TPM y SLP para Mejorar la Eficiencia en el Sector Metalmeccánico

**Ernesto Altamirano Flores<sup>1</sup>**

[ealtamirano@lamolina.edu.pe](mailto:ealtamirano@lamolina.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-8634-9689>

Universidad Nacional Agraria La Molina  
Lima - Perú

**Elvira Cáceres Cayllahua**

[ecaceres@lamolina.edu.pe](mailto:ecaceres@lamolina.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-5089-9996>

Universidad Nacional Agraria La Molina  
Lima - Perú

**Jhon Pérez Ayala**

[jp1806perez@gmail.com](mailto:jp1806perez@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0009-6282-6362>

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Lima - Perú

**María Fernanda Delgado Pucurimay**

[u201711216@upc.edu.pe](mailto:u201711216@upc.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0003-1121-6125>

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas  
Lima-Perú

**Valeria Francia Quispe**

[u20181e304@upc.edu.pe](mailto:u20181e304@upc.edu.pe)

<https://orcid.org/0009-0001-8329-9006>

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas  
Lima- Perú

### RESUMEN

En el dinámico entorno de la industria manufacturera, la eficiencia operativa es un factor clave para la competitividad, especialmente en el sector metalmeccánico, donde la presión por optimizar recursos y reducir desperdicios es creciente. En este contexto, la presente investigación se desarrolló en una empresa dedicada a la fabricación de cajas portamedidoras monofásicas, donde se detectó un bajo nivel de eficiencia operativa, alcanzando apenas un 68.41 %, frente al 75.98 % del promedio del sector. Resolver esta brecha no solo era crucial para mejorar la eficiencia, sino también para asegurar la sostenibilidad y competitividad a largo plazo de la empresa. Para ello, se adoptó un enfoque Lean Green, mediante la implementación de herramientas como 5S, SLP, SMED y TPM, enfocadas en la mejora continua de procesos y la reducción del impacto ambiental. Este enfoque no solo permitió optimizar tiempos y espacios, sino también reducir significativamente el impacto ambiental mediante la creación de un circuito cerrado en el área de pintado, evitando la contaminación del entorno y promoviendo un uso más eficiente de los recursos. La validación se realizó mediante pruebas piloto (para 5S y SMED) y simulaciones en el software Arena (para SLP y TPM). Como resultado, se logró una mejora sustancial: el OEE se elevó al 87 %, el tiempo de set-up y la distancia recorrida se redujeron en 21.05 % y 26.35 %, respectivamente, y la evaluación 5S alcanzó un 64 %. Estos resultados evidencian que la brecha de eficiencia fue cerrada exitosamente y que la metodología Lean Green aplicada puede replicarse en otros entornos industriales con características similares, constituyendo una alternativa efectiva para mejorar el desempeño productivo de manera sostenible.

**Palabras clave**—Eficiencia, Lean Green, TPM, SMED, SLP

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [ecaceres@lamolina.edu.pe](mailto:ecaceres@lamolina.edu.pe)

# Implementation of TPM and SLP Tools to Improve Efficiency in the Metalworking Sector

## ABSTRACT

In the dynamic environment of the manufacturing industry, operational efficiency is a key factor for competitiveness, especially in the metalworking sector, where the pressure to optimize resources and reduce waste is increasing. In this context, this research was conducted in a company dedicated to the manufacture of single-phase meter boxes, where a low level of operational efficiency was detected, reaching only 68.41%, compared to the sector average of 75.98%. Addressing this gap was not only crucial for improving efficiency but also for ensuring the company's long-term sustainability and competitiveness. To this end, a Lean Green approach was adopted, through the implementation of tools such as 5S, SLP, SMED, and TPM, focused on continuous process improvement and reducing environmental impact. This approach not only optimized time and space but also significantly reduced environmental impact by creating a closed-loop system in the painting area, preventing environmental contamination and promoting more efficient resource use. Validation was performed through pilot tests (for 5S and SMED) and simulations using Arena software (for SLP and TPM). As a result, substantial improvements were achieved: OEE increased to 87%, setup time and distance traveled were reduced by 21.05% and 26.35%, respectively, and the 5S assessment reached 64%. These results demonstrate that the efficiency gap was successfully closed and that the applied Lean Green methodology can be replicated in other industrial environments with similar characteristics, constituting an effective alternative for sustainably improving production performance.

**Keywords:** Efficiency, Lean Green, TPM, SMED, SLP

*Artículo recibido 22 diciembre 2025  
Aceptado para publicación: 26 enero 2026*



## INTRODUCCIÓN

El sector de la metalmecánica es uno de los pilares más relevantes en las economías industrializadas del mundo, ya que provee componentes esenciales para múltiples industrias, como la automotriz, la construcción y la energética. En América Latina, este sector ha experimentado un crecimiento constante, generando empleo y oportunidades económicas, aunque enfrenta desafíos importantes como la competencia extranjera, la necesidad de modernización tecnológica y la adopción de prácticas sostenibles [1]. Se estima que este sector representa entre el 10% y el 15% del PBI regional, lo que evidencia su relevancia estratégica [2]. En el Perú, la industria metalmecánica ha tenido un impacto económico significativo. De acuerdo con [19], en 2023 este sector alcanzó una producción de S/68,707 millones, lo que equivale al 12.9% del PBI nacional [18]. Esta participación resalta su importancia no solo como motor económico, sino también como eje clave en la industrialización y en la transición hacia modelos de desarrollo más sostenibles y tecnológicamente avanzados.

A pesar de su relevancia, una de las principales problemáticas que afecta al sector es la baja eficiencia operativa en los procesos productivos, lo cual se refleja en el incumplimiento de plazos de entrega y un uso subóptimo de los recursos [3]. Esta situación se agrava con la creciente exigencia de los mercados nacionales e internacionales, que demandan estándares más altos de eficiencia, calidad y sostenibilidad. Para enfrentar estos retos, es crucial adoptar enfoques integradores como *Lean Manufacturing*, y su evolución hacia modelos *Lean-Green*, que permiten optimizar los procesos, reducir desperdicios y minimizar el impacto ambiental [4].

En los últimos años, la transformación digital, la automatización de procesos y el enfoque en la sostenibilidad han ganado protagonismo a través de paradigmas como la *Industria 4.0* y el *Smart Manufacturing*, que integran tecnologías avanzadas para elevar la competitividad del sector [5]. Sin embargo, muchas empresas peruanas aún no logran incorporar estas herramientas de forma eficiente.

La presente investigación tiene como principal motivación mejorar la eficiencia operativa mediante la aplicación de herramientas Lean en una empresa dedicada a la fabricación de productos metálicos, tanto acabados como semiacabados. Se propone un modelo de mejora continua que permita elevar la eficiencia del 68.41% actual al promedio sectorial del 75.98% tal como menciona [2]. En el caso particular de la empresa estudiada, esta ineficiencia genera pérdidas equivalentes al 16.35% de su



facturación total, es decir, aproximadamente S/949,317.39. Disminuir este margen de pérdida resulta fundamental para asegurar su sostenibilidad financiera, mejorar su competitividad y cerrar la brecha técnica respecto al promedio del sector. Asimismo, permitirá fortalecer su posicionamiento en el mercado nacional y avanzar hacia estándares internacionales, alineados con los principios de la industria moderna.

Finalmente, este artículo se divide en cuatro secciones: Estado del Arte, Aporte, Validación y Conclusiones.

## **ESTADO DEL ARTE**

### **Lean Green para una Producción Sostenible**

La producción a grandes masas de productos pertenecientes a la industria metalmecánica genera residuos y un alto impacto medioambiental. Por ello, las industrias están buscando no solo la optimización de sus recursos hoy en día sino brindarle a su producto un enfoque medioambiental para preservar el ecosistema. Lean y Green son dos enfoques que su principal finalidad es reducir los desperdicios y utilizar eficientemente los recursos. Debido a los grandes beneficios de estos dos se fusionó brindando un enfoque llamado “Lean Green”. Este enfoque ha brindado resultados exitosos como el ahorro de costos en las empresas, minimizar mermas y el impacto que estas puedan generar [5].

### **TPM para mejorar el mantenimiento preventivo**

El TPM es una herramienta que se utiliza para maximizar la eficiencia de los equipos, con una correcta gestión del personal para llevar un mantenimiento eficiente y evitar demoras por fallas mecánicas [6]. Cuando mencionamos TPM para la aplicación de esta metodología en una empresa se debe tener en cuenta que para su adecuado desarrollo en la gestión se debe recurrir a la optimización del personal y recursos financieros. El TPM cuenta con ocho pilares, los cuáles son: el mantenimiento autónomo, el mantenimiento planificado, la mejora enfocada, la formación y educación, la gestión inicial, la seguridad, salud y medio ambiente, la calidad mantenible, y la eficiencia administrativa [7].

### **SMED para disminuir las paradas por set up**

La herramienta Single Minute Exchange of Die (SMED) tiene como objetivo principal reducir los tiempos de preparación y cambio de herramientas, facilitando transiciones más ágiles entre procesos o actividades y minimizando las interrupciones y los periodos de inactividad. [8] [9]. La implementación



de SMED ha permitido analizar y optimizar las actividades entre procesos, obteniendo mejoras significativas, ya que, en estudios previos realizados por [8] se logró una reducción del 56.2% en los tiempos de cambio, una disminución del 36% en los tiempos de configuración y una reducción del 43% en los movimientos durante los procesos de cambio. Además de acortar los tiempos de preparación, esta herramienta aumentó la eficiencia en el uso de los recursos al reducir los tiempos de espera.

### **SLP y 5s para mejorar el diseño de la planta**

La herramienta Systematic Layout Planning (SLP) permite optimizar el diseño y la distribución de los espacios físicos en una empresa, con el fin de mejorar la eficiencia operativa y reducir tiempos de transporte, costos y movimientos innecesarios. La implementación de esta herramienta, en conjunto con la metodología 5S, ha demostrado generar resultados exitosos, como se evidencia en investigaciones previas realizadas por [10] [11], donde se alcanzó una mejora del 66% en el área laboral y una reducción de costos del 15%. Es importante destacar que los espacios desordenados afectan significativamente la economía de la empresa, por lo que herramientas como SLP resultan esenciales para mitigar estos problemas.

### **APORTE**

#### **Fundamentos**

En la Figura 1 se observa el modelo conceptual propuesto, en el cual se integran las herramientas 5S, SLP, TPM y SMED, las cuales se apoyan en la literatura revisada para asegurar el éxito de dichas herramientas.

Tal como menciona [10] y [12], la herramienta SLP permite reducir los tiempos improductivos, reducir los costos, mejorar el uso del espacio, así como también reorganizar las plantas para obtener una mayor eficiencia. Por otro lado, [8] y [9], coinciden en que la herramienta SMED, permite reducir los tiempos de configuración al máximo, y mejoran la flexibilidad en procesos de manufactura, además permite que el flujo del trabajo sea más fluido al reducir los tiempos improductivos, lo que se traduce en una mayor eficiencia en las operaciones, y en nuestro caso, en el proceso de pintado.



## Modelo propuesto

Luego de analizar la empresa metalmecánica en estudio, se identificó que el problema principal era la baja eficiencia en el proceso de pintado, esta empresa presenta una brecha técnica del 7.57% en comparación al estándar del sector metalmecánico.

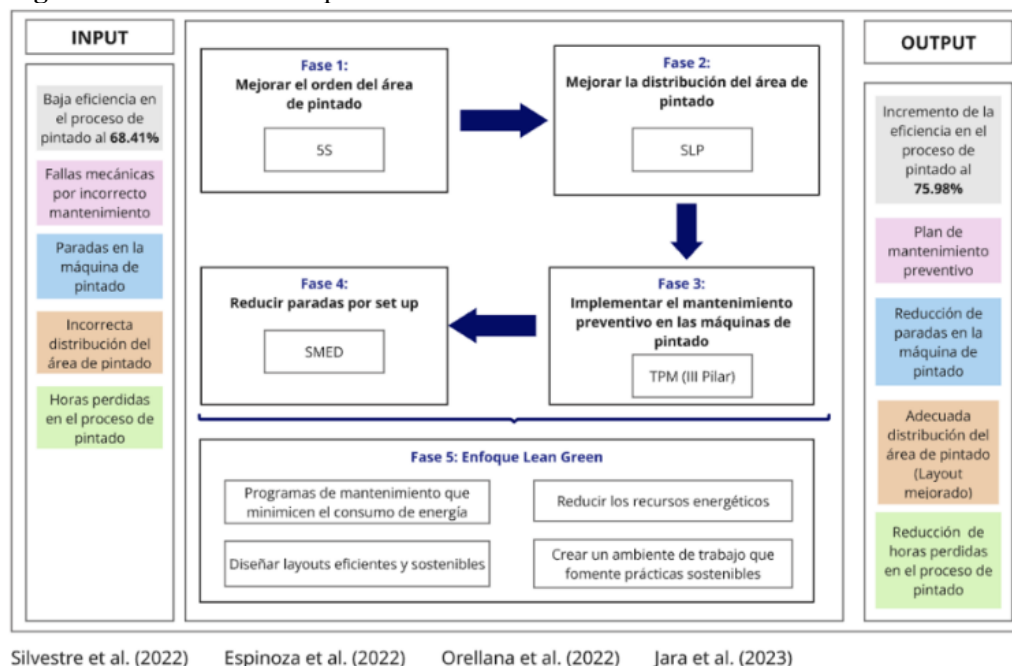
Este análisis inicial realizado, mostró 3 causas raíz principales: (1) Incorrecto Mantenimiento Preventivo de las máquinas de pintado, el cual representa el 45.23%, (2) las paradas por set up que representan el 22.47%, y el área de pintado desordenada con un 23.72%, los cuales suman más del 80% de las causas, por lo cual serán las causas que intentaremos resolver a lo largo de esta investigación.

Los objetivos que planteamos son implementar el mantenimiento preventivo en las máquinas de pintado, reducir las paradas por set up mediante la herramienta SMED y, por último, mejorar la distribución del área de pintado con ayuda de la herramienta SLP.

El modelo macro de la solución está enfocado en incrementar la eficiencia en el proceso de pintado, para ello, el modelo propuesto contiene ideas exitosas de diferentes modelos conceptuales. En el caso de [12], incluyó en su modelo las herramientas 5S y SLP, demostrando la efectividad de las herramientas en conjunto y los resultados que tienen como la reducción de desperdicios y un mejor orden y disposición de layout. Por otro lado, [13] desarrolló un modelo el cual es dividido en 4 fases, en este caso utilizaron las herramientas 5S y TPM en conjunto, esto también demuestra su idoneidad. Mientras que el tercer modelo, [9], propuso un modelo en el que integraban las herramientas SMED, TPM y 5S, demostrando que estas 3 herramientas pueden dar excelentes resultados como por ejemplo la reducción de tiempos muertos, tiempos de cambio y una mayor seguridad y orden en el área de trabajo.

Una vez recopilados los ejemplos de modelos propuestos, procedimos a evaluarlos para identificar oportunidades de mejora y adaptarlos a nuestra realidad.

**Figura 1.**Modelo de la Propuesta de Solución



Como resultado, Nuestro modelo se estructura en 5 fases, cada una diseñada para implementar una herramienta específica, con el objetivo de presentarlo de la manera más clara posible.

### Detalle del modelo

La primera fase del modelo mostrará la forma de implementación de las 5S. Según [15] destacaron que la metodología 5S mejora la sostenibilidad y fomenta un entorno de trabajo organizado, mientras que [16] resaltó su impacto en la eficiencia y cultura organizacional de la industria. Para que las 5S se implemente de la forma adecuada se debe seguir los siguientes pasos:

- Realizar una auditoría interna, es decir, un check-list de llenado por parte de los operarios, donde los resultados puedan visualizarse mediante un diagrama de Radar.
- Clasificar las herramientas, gestionar los materiales a través de la identificación de tarjetas rojas, limpiar espacios y organizar repuestos.
- Disponer los elementos necesarios de manera lógica (ubicación, uso de etiquetas, colores o marcas visuales, diseño funcional del espacio e implementación de carros de materiales)
- Identificar problemas potenciales mediante la limpieza diaria de máquinas, mantenimiento de herramientas, limpieza de áreas comunes e identificación de causas de suciedad.

- Estandarizar los procedimientos para mantener la limpieza, orden y organización óptimos. Para ello se necesita: creación de estándares visuales como etiquetas, colores, señales y diagramas y procedimientos documentados a través de manuales y checklists.
- Capacitación continua para asegurar que todo el personal entienda y aplique las normas establecidas, rondas de supervisión y uniformidad en la implementación
- Ofrecer incentivos como premios o reconocimientos para los equipos que demuestren un alto compromiso con la 5S y capacitaciones continuas.
- Realizar una auditoría interna para visualizar si hubo una mejora a comparación del diagnóstico inicial.

La segunda fase del modelo tiene por objetivo mejorar la distribución del área de pintado mediante la herramienta SLP, para ello, se requieren realizar una serie de pasos para la correcta implementación:

- Análisis inicial de la Situación Actual de la empresa: Permite evaluar las ubicaciones de maquinarias, herramientas, almacenes, entre otros.
- Diagrama de recorrido actual para la fabricación de una caja portamedidora monofásica: Sirve para determinar la distancia que deben recorrer los operarios.
- Diagrama relacional de actividades: Se deberán evaluar la proximidad de las áreas.
- Diagrama de recorrido propuesto
- Propuesta – Mejora de la distancia recorrida

Como tercera fase tenemos al TPM esta herramienta según [7] indica que es importante su aplicación ante fallas constantes de maquinarias. Para ello se debe seguir una secuencia de pasos:

- Cálculo de la OEE: Es importante primero conocer el estado actual en lo que respecta a la productividad de la empresa en estudio. Se obtuvo una OEE de 75.63% como primer cálculo.
- Desarrollar un plan orientado a maximizar la disponibilidad de los equipos, mejorar la calidad del producto final y garantizar la seguridad operativa. Para su correcta implementación, se capacitará al personal con apoyo de especialistas y se emplearán registros adecuados para su seguimiento



- Implementación del mantenimiento autónomo: Para su implementación se utilizará una lista de tareas en un lugar visible del área de trabajo y así los operarios tengan conocimiento
- Implementación del mantenimiento preventivo planificado: Se hará uso de un calendario de mantenimiento preventivo semanal y mensual para tareas avanzadas
- Inspeccionar los sensores en puntos críticos y monitorear regularmente sus resultados.
- Evaluación de la OEE: Se evaluará nuevamente el cálculo de la OEE en búsqueda de un resultado de mejora ante los micro pasos implementados.

Como cuarta fase, se tiene por objetivo reducir las paradas por set up mediante la herramienta SMED, la cual tiene ciertos procedimientos específicos:

- Identificar las actividades que generan las paradas por set up en la empresa en estudio.
- Desglosar las actividades, paso a paso, así como también realizar una toma de tiempos de cada uno de estos.
- Clasificar las actividades ya sean internas o externas.
- Identificar actividades internas que puedan convertirse en actividades externas, con la finalidad de reducir el mayor tiempo posible y de esa manera no retrasar la producción.
- Eliminar desperdicios de las actividades
- Estandarizar los nuevos procedimientos.

### **Indicadores del modelo**

En esta sección, detallaremos los indicadores que utilizaremos para calcular las causas raíz y posteriormente compararlo con el estándar del sector.



**Tabla 1.**resultados esperados (indicadores)

| Indicador               | As is  | To be  | Variación |
|-------------------------|--------|--------|-----------|
| Eficiencia              | 68.41% | 75.98% | 7.57%     |
| OEE                     | 75%    | 85%    | 10%       |
| Tiempo de cambio (min)  | 76     | 47     | 29        |
| Evaluación Inicial (5S) | 41.33% | 66%    | 24.67%    |
| Distancia recorrida (m) | 31     | 23     | 8         |

Para hallar cada uno de los indicadores, usamos las siguientes fórmulas:

$$Eficiencia = \frac{Producción\ real}{Producción\ óptima} \times 100$$

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

$$TC = \sum Tiempo\ de\ cambio$$

$$Evaluación\ 5S = \frac{Puntuación\ actual}{Puntuación\ ideal}$$

$$DR = \sum Distancia\ recorrida$$

Cada una de estas fórmulas han sido utilizadas por diferentes autores.

## VALIDACIÓN

### Fundamento

Para validar nuestro proyecto de investigación, se optó por dos tipos de validación: Prueba Piloto y Prueba por Simulación. En el caso de las herramientas SMED y 5S, serán validadas mediante pruebas piloto, con una duración de tres y cuatro meses respectivamente. Esta elección se fundamenta con lo señalado por [14] , [21] y [25], quienes recomiendan aplicar estas herramientas directamente en la empresa, ya que su implementación no requiere una alta inversión y puede evaluarse eficazmente en áreas específicas de operación. Por otro lado, las herramientas TPM y SLP, serán validadas mediante simulación utilizando

el Software Arena, ya que de acuerdo con [12] , [20] y [26], estas herramientas implican cambios más complejos y costosos, por lo que la simulación resulta ser una alternativa eficiente que permite analizar impactos a mayor escala sin comprometer los recursos de la empresa. En base a estas referencias y estudios previos, se definieron los métodos de validación más adecuados para cada herramienta aplicada en el proyecto.

### **Modelo Propuesto**

Antes de iniciar la fase 1 de la metodología 5S, se realizó una auditoría inicial , tal como lo explica [42], en el área de pintado para diagnosticar el estado de orden, limpieza y estandarización, obteniendo un cumplimiento del 41.33%. A partir de ello, se desarrollaron capacitaciones dirigidas por líderes del proyecto y se aplicó la primera “S” (Seiri). Luego, con Seiton, se ordenaron los elementos codificándolos y ubicándolos estratégicamente. En la etapa de Seiso, se implementaron rutinas de limpieza con inspección visual. Finalmente, con Seiketsu, se estableció un procedimiento estandarizado que garantiza la sostenibilidad de las buenas prácticas a través de responsables. En un inicio se esperó un incremento en el puntaje del 59.68%.

Para mejorar la eficiencia operativa en la producción de cajas portamedidoras monofásicas, se implementará la herramienta Systematic Layout Planning (SLP), enfocándose especialmente en el área de pintado, una de las menos eficientes actualmente. A través del rediseño del layout y la creación de un circuito cerrado, se proyecta una reducción de 8 metros en los desplazamientos dentro del proceso productivo. Esta redistribución permitirá ahorrar espacio al eliminar un área de secado y optimizar el flujo de materiales, lo que se traduce en una mejora estimada del 25.81% en la eficiencia de recorrido del operario. Esta herramienta también facilitará una disminución de la contaminación ambiental y un uso más racional de los recursos disponibles [30], [11] y [36].

Por otro lado, la implementación del tercer pilar del TPM, mantenimiento preventivo, busca reducir las fallas mecánicas en secadoras, equipos electrostáticos y hornos. Actualmente, el OEE es 75.63%, basado en una disponibilidad del 79.45%, rendimiento del 96.61% y calidad del 98.53%. Tras 6 meses de aplicar un plan de mantenimiento preventivo con capacitaciones, listas de verificación, mantenimiento autónomo y monitoreo con sensores, se proyecta aumentar el OEE a 85.58%, mejorando la

disponibilidad a 80.33%, el rendimiento a 98% y la calidad a 99%, lo que reducirá costos y paradas inesperadas.

Para reducir los tiempos de set up que generan paradas en la producción se utilizó la herramienta SMED. Se identifican 6 actividades que causaban interrupciones, se estima que para medir sus tiempos con cronómetro para distinguir actividades internas y externas. Se tendrán que convertir tareas internas, como la preparación y transporte de pintura, en externas, y así se reducirá el tiempo de recarga en 3.2 minutos por recarga. Con dos recargas por lote y 10 lotes diarios, esto representa un ahorro diario de 64 minutos y anual de 256 horas. En total, se espera que la implementación permita una reducción del 38.16% en los tiempos de set up, optimizando la continuidad y eficiencia del proceso productivo.

### **Puesta en marcha**

#### **Implementación Herramienta 5S**

Para el modelo, se aplicó la metodología 5S en el área de pintado, enfocándose en las máquinas de aplicación. Se eliminaron materiales innecesarios alrededor de las máquinas (clasificar), se organizaron herramientas cercanas al equipo (ordenar), se implementó limpieza rutinaria en las superficies y boquillas (limpiar), se estandarizaron las tareas de preparación y mantenimiento (estandarizar) y se capacitó al personal técnico para mantener estas condiciones (disciplinar). Esto permitió mejorar el acceso a las máquinas y reducir tiempos de alistamiento.

#### **Implementación Herramienta Systematic Layout Planning (SLP)**

Para implementar el modelo propuesto en el SLP, se deben utilizar tal como mencionan [33] y [35], los principales artefactos desarrollados, como el diagrama de relaciones, el layout optimizado y el diagrama de recorrido. A su vez, se eliminó un área de secado, lo que permitió reducir tiempos y se consolidaron las áreas de horneado y equipos electrostáticos en un solo espacio cerrado, lo que disminuyó el tiempo de operación en los equipos debido a mejores condiciones térmicas y de flujo. En la simulación se replicó el flujo de procesos, tiempos operativos y desplazamientos, considerando la propuesta de un circuito cerrado que facilite un flujo continuo y ordenado y se midieron indicadores clave como el tiempo total de producción, la distancia recorrida y la eficiencia por estación. Con base en los resultados obtenidos, 406.6 minutos de tiempo total y 31.5 metros de recorrido, se realizaron ajustes al diseño y se elaboró una propuesta para su implementación gradual en planta.[11] y [40]

### **Implementación Herramienta TPM – III Pilar**

Se intervinieron equipos críticos como la secadora, las dos máquinas de pintura electrostática y el horno de curado. Se aplicaron mantenimientos autónomos y preventivos para reducir fallas mecánicas recurrentes, como obstrucciones en boquillas y sobrecalentamiento del horno. Además, se capacitó al personal en inspecciones diarias y limpieza técnica. Estas acciones permitieron aumentar el OEE en un 18.5%, reflejando mejoras en disponibilidad y desempeño del proceso de pintado.

### **Herramienta SMED**

Para implementar el modelo SMED se utilizaron fichas de registro de set-up, cronometraje digital, tablas de clasificación y eliminación de actividades. Con estos, se identificaron y midieron las actividades que detenían la producción, logrando aumentar las actividades externas a un 21%. Además, se eliminaron ajustes innecesarios y se estandarizaron los nuevos procedimientos mediante talleres con fichas visuales. Esto permitió una reducción significativa en los tiempos de cambio y una mayor eficiencia en la producción[21].

### **Detalle del modelo**

#### **Proceso Propuesto – Herramienta 5S**

Como parte de la propuesta de mejora, el lunes 7 de abril se realizó una capacitación integral sobre la metodología 5S, dirigida a operarios, analistas, jefaturas y líderes de excelencia operativa. La jornada incluyó dinámicas grupales, asignación de roles y conformación del “Equipo 5S”, formalizando el compromiso con la mejora continua, así como las recomendaciones de [27],[28] y [29].

Durante la primera etapa, Seiri (Clasificar), se identificaron elementos innecesarios en el área de pintado, aplicando tarjetas rojas para su evaluación y traslado temporal. En la fase de Seiton (Orden), se asignaron ubicaciones específicas y se codificaron los materiales, facilitando su control y acceso.

La etapa de Seiso (Limpieza) implicó la implementación de rutinas periódicas, provisión de insumos adecuados y capacitaciones para crear una cultura organizacional enfocada en la limpieza y seguridad. Además, se integró la inspección visual como práctica preventiva.

Posteriormente, en Seiketsu (Estandarización), se establecieron procedimientos claros de orden y limpieza para mantener las condiciones óptimas de operación. Finalmente, con Shitsuke (Disciplina), se

promoverá el cumplimiento sostenido de estas prácticas mediante monitoreo continuo, auditorías internas y refuerzos positivos.

**Figura 2** Resultados obtenidos de la prueba piloto



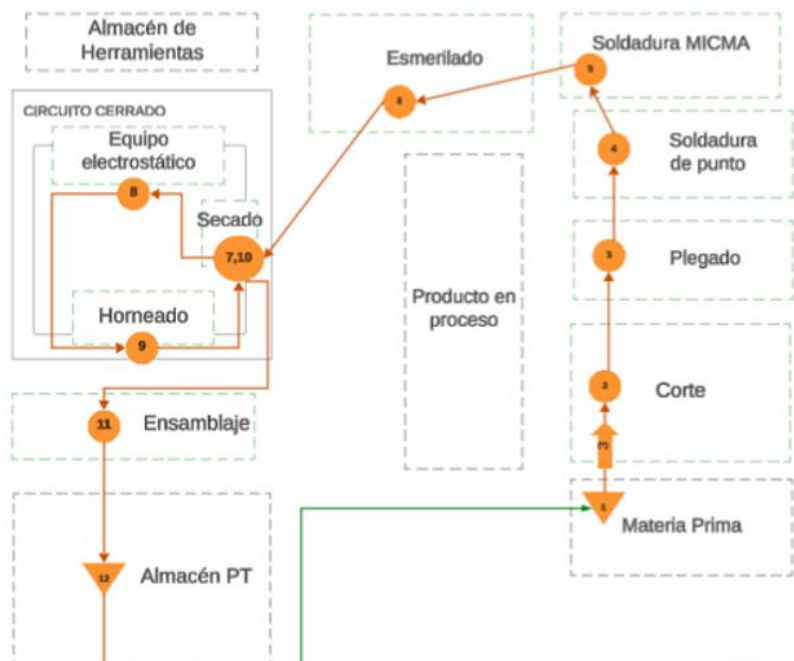
Gracias a esta implementación, se ha logrado una mejora significativa en el orden, la limpieza y la eficiencia del área, reflejando un cambio positivo en la cultura organizacional en un 54.84% de una auditoría inicial de 31 puntos a 48 puntos.

### **Proceso propuesto - Herramienta SLP**

Tras la implementación de la herramienta SLP y su validación mediante el software Arena, fue posible evaluar cuantitativamente los resultados del diagrama de recorrido propuesto y confirmar que la estrategia del circuito cerrado ofrecería buenos resultados operativos.[37]

En el escenario inicial, el proceso de fabricación de una caja porta medidora monofásica requería 406.6 minutos y un operario debía recorrer 31.5 metros para completar el ciclo. Ante esta situación, se propuso un nuevo diagrama de recorrido, optimizando la ubicación de las áreas, reduciendo distancias, mejorando la proximidad entre procesos y eliminando un área de secado.

**Figura 2.** Diagrama de recorrido propuesto



Como resultado, el tiempo de producción se redujo a 323.17 minutos y la distancia recorrida a 23.1 metros, lo que representa una mejora del 20.52% en tiempo y del 26.67% en desplazamiento. Esta implementación demuestra ser altamente beneficiosa para la empresa, al mejorar significativamente la eficiencia operativa y reducir costos asociados al tiempo y movimiento innecesario.

### Proceso propuesto - Herramienta TPM

Tras la implementación del mantenimiento preventivo bajo el enfoque del pilar TPM según [23] y [24] y la simulación del proceso de pintado mediante el software Arena, se logró evaluar de forma cuantitativa el impacto en la eficiencia operativa.

En el escenario inicial, la producción simulada de un lote generó 387 unidades buenas y 40 defectuosas en un tiempo de 30.79 minutos, reflejando un nivel de calidad del 90.63%. Las máquinas clave del proceso presentaron niveles de disponibilidad entre 91.84% y 93.07%, siendo el horno el equipo con mayor cantidad de fallas y el menor MTBF (28 min), aunque con un tiempo promedio de reparación (MTTR) favorable de 2.48 minutos.

En contraste, la secadora mostró el mejor MTBF con 70 minutos, pero un MTTR más elevado (6.23 min), afectando su disponibilidad general. Estos resultados permitieron identificar puntos críticos y validar que la aplicación del TPM, junto con el soporte de simulación, es una estrategia efectiva para

reducir paradas no planificadas, mejorar la calidad del producto final y aumentar el rendimiento del proceso. Su OEE mejoró en un 13.33%.

**Figura 4.**Equipos evaluados en el TPM



### Proceso propuesto - Herramienta SMED

Tras la implementación del modelo SMED, se inició con la identificación de actividades que no agregaban valor dentro del proceso de cambio de formato. A partir de ello, se realizó un desglose detallado paso a paso, clasificando las tareas entre actividades internas y externas. En el diagnóstico inicial, se evidenció que el 100% de las actividades eran internas, lo que generaba tiempos de parada elevados.[13]

Con base en este análisis, se propusieron planes de acción concretos como se observa en la Figura 5, como adelantar actividades antes de detener la máquina, incorporar carros adicionales de herramientas cerca de las zonas con mayor frecuencia de configuración y reducir traslados innecesarios. Estas mejoras permitieron convertir varias tareas internas en externas, logrando un nuevo equilibrio del 79% de actividades internas y 21% externas.

**Figura 5.**Planes de acción para actividades que no agregan valor

|                                                                                     |  |                                             |  |  |                               |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------|--|--|-------------------------------|--|
|  |  | REGISTRO DE ACTIVIDADES INTERNAS / EXTERNAS |  |  | CÓDIGO: F - 05<br>VERSIÓN:001 |  |
| Fecha: 28/05/2018                                                                   |  | Hora: 15:40                                 |  |  | Área: Pintado                 |  |
| Responsable de la Inspección: Dg. Meyland Vargas                                    |  |                                             |  |  |                               |  |
| Categoría: Recarga de pintura                                                       |  |                                             |  |  |                               |  |

| N° | Descripción de la actividad                      | Duración (minutos) | Tiempo acumulado | Tipo de actividad | ¿Se puede convertir en externa? | Plan de acción / Observaciones           |
|----|--------------------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------------------|
| 3  | Preparación de recipientes de pintura a utilizar | 1.2                | 3.2              | Interna           | SI                              | Tener un carrito extra para la pintura y |
| 4  | Transporte de pintura a la estación              | 2                  | 5.2              | Interna           | SI                              | herramientas a utilizar en el área       |

Posteriormente, se estandarizaron los nuevos procedimientos mediante capacitaciones al personal operativo, destacando la importancia de la herramienta y los beneficios obtenidos. Gracias a esta implementación, el tiempo total de cambio se redujo de 76 minutos a 60 minutos, representando una mejora del 44.12% en eficiencia operativa.

## Indicadores del modelo

### Indicador de la Herramienta 5S

Luego de cuatro meses de aplicación de la herramienta 5S, se evidenció una mejora del 54.84% en las puntuaciones de las inspecciones internas, destacando avances importantes en las “S” de *Seiton* (orden), *Seiso* (limpieza) y *Shitsuke* (disciplina). Esta mejora se tradujo en una reducción significativa del tiempo de búsqueda de herramientas en el área de producción, especialmente en torno a la máquina secadora y las cabinas de pintura electrostática, así como en una optimización del espacio de trabajo, el cual comenzó con una puntuación de 31 hasta 48 puntos. El entorno se volvió más visualmente organizado, seguro y funcional, elevando el compromiso del personal con el mantenimiento de los estándares establecidos.

**Tabla 2** Mejora Porcentual 5s

| Herramienta 5s        | Actual | Tras la implementación | Mejora (%) |
|-----------------------|--------|------------------------|------------|
| Puntuación (Radar 5S) | 31     | 48                     | 54.84%     |

### Indicador de la Herramienta SLP

Tras tres meses de la implementación de la herramienta SLP, se observaron mejoras significativas en dos indicadores clave: el tiempo total de producción y la distancia recorrida por el operario durante el proceso. El tiempo total de producción se redujo en un 20.52%, mientras que la distancia recorrida disminuyó en un 26.67%. Estas mejoras reflejan no solo una mayor eficiencia en la ejecución de las tareas, sino también una optimización del flujo de trabajo y del uso del espacio.

**Tabla 3.** Mejora porcentual SLP

| Situación                    | Situación Actual | Tras implementación | Mejora |
|------------------------------|------------------|---------------------|--------|
| Tiempo (minutos)             | 406.6            | 323.17              | 20.52% |
| Distancia recorrida (metros) | 31.5             | 23.1                | 26.67% |
| Tendencia (%)                | 55.72%           | 44.28%              |        |

### Indicador de la Herramienta TPM

La implementación de TPM mejoró significativamente la eficiencia operativa. Se redujo el tiempo de ciclo en un 35%, y el OEE aumentó de 76.84% a 87.15%, gracias a mejoras en disponibilidad, calidad y rendimiento. Los equipos mostraron mayor confiabilidad (mayor MTBF) y tiempos de reparación más cortos (menor MTTR), lo que indica una reducción de fallas y respuestas de mantenimiento más efectivas. En conjunto, TPM optimizó el uso de los recursos, disminuyó las pérdidas y fortaleció la estabilidad del proceso productivo.

**Tabla 4.** Mejora Porcentual TPM

| Herramienta TPM | Actual | Tras la implementación | Mejora (%) |
|-----------------|--------|------------------------|------------|
| OEE             | 76.84% | 87.15%                 | 10.31%     |

### Indicador de la Herramienta SMED

Tras la implementación del modelo SMED, se logró una mejora significativa en el principal indicador evaluado: el tiempo de configuración. Inicialmente, el proceso requería 76 minutos para completar las seis actividades involucradas. Sin embargo, tras aplicar la metodología y ejecutar los planes de acción, este tiempo se redujo a 60 minutos, lo que representa una mejora sustancial en la eficiencia operativa. El análisis detallado permitió clasificar las actividades en internas y externas, encontrando que al inicio el 100% eran internas, lo que generaba paradas prolongadas del equipo. Luego de implementar mejoras como la anticipación de tareas, la reubicación estratégica de herramientas y la reorganización de los pasos, se logró transformar parte de las tareas internas en externas. Como resultado, las actividades internas disminuyeron a 79% y las externas aumentaron a 21%.

**Tabla 5** Mejora Porcentual SMED

| Situación        | Situación Actual | Tras implementación | Mejora |
|------------------|------------------|---------------------|--------|
| Tiempo (minutos) | 76               | 60                  | 21.05% |
| Tendencia (%)    | 55.88%           | 44.12%              |        |

## DISCUSIÓN

### Principales resultados

Diversos autores como [22], [31] y [36] coinciden en que la integración de herramientas Lean bajo un enfoque sistémico permite mejorar significativamente los procesos industriales, especialmente en entornos como la industria metalmecánica. En el caso del proceso de pintado de cajas portamedidoras monofásicas, la implementación escalonada de herramientas como 5S, SLP, TPM y SMED, bajo el enfoque Lean Green, como menciona [37], permitió no solo validar muchas de estas afirmaciones, sino también cuestionar algunas de ellas en función de los resultados obtenidos en las pruebas piloto y por simulación.

En cuanto a la metodología 5S, [43] sugería que sus efectos eran más culturales que operativos, mientras que [10] y [11] defendían su impacto directo en la eficiencia si se refuerza con auditorías y seguimiento. La prueba piloto en el área de pintado demostró que, al aumentar el cumplimiento de 5S de 36.6% a 87.5%, se generó un entorno más seguro y organizado que influyó en una mejora del OEE. Esto coincide más con las posturas de [10] y [11] que con la de [27].

Por otro lado, respecto al SLP, [21] y [38] mencionan que una correcta redistribución del layout puede reducir tiempos logísticos y distancias recorridas hasta en un 20%, lo cual se superó en esta implementación: al simular un nuevo diseño de planta con ARENA, se obtuvo una reducción del 25% en la distancia recorrida y del 28% en tiempos muertos. Esto confirma que, tal como indican [34] y [38], el SLP sigue siendo una herramienta potente si se adapta adecuadamente a la lógica de flujo del proceso. Asimismo, con relación a la herramienta SMED, [10] argumentaba que la mayor parte de las mejoras en el tiempo de set-up provienen del rediseño de herramientas y no tanto de la separación de tareas internas y externas. Sin embargo, en la prueba piloto realizada en esta empresa, se aplicaron las etapas completas del SMED, y se logró reducir el tiempo de cambio de pintura de 489 minutos a 239 minutos, resultado que valida más bien lo planteado por [17], [22] y [26], quienes enfatizan la importancia de estandarizar tareas y preparar condiciones externas para reducir el tiempo improductivo.

En el caso del TPM, [35] y [39] destacaban que, cuando se implementa con mantenimiento autónomo y programado, incrementa la confiabilidad de los equipos y reduce paradas no planificadas. En esta investigación, tras validar TPM mediante simulación con el software ARENA, se corroboró un aumento



del MTBF y una disminución del MTTR, lo cual respaldó los argumentos de [39] y [42], y contrastó con lo dicho por [40], quien sostenía que los beneficios del TPM eran más visibles solo en líneas de producción continua. En cambio, aquí se demostró que incluso en un proceso por lotes como el pintado, los beneficios fueron evidentes.

Finalmente, bajo el enfoque Lean Green, [12] proponía que la aplicación conjunta de herramientas Lean con criterios ambientales podía reducir el impacto ecológico sin comprometer la productividad. A través de la matriz de Leopold, se evaluó el impacto de cada herramienta sobre factores ambientales, comprobando una reducción del 9.4% en el consumo energético del área de pintado. Este hallazgo refuerza lo planteado por [12], [24] y refuta parcialmente la postura de [15], quien indicaba que Lean Green tenía escasa aplicabilidad en procesos con uso intensivo de energía como el pintado electrostático. En conjunto, los resultados no solo validan muchas de las afirmaciones previas de la literatura, sino que también evidencian la importancia de adaptar e integrar estas herramientas de forma progresiva, mediante pruebas piloto y simulaciones, permitiendo así que las decisiones se fundamenten tanto en datos empíricos como en modelos predictivos. Además, la comparación de la eficiencia operativa con el estándar sectorial (75.98%) permitió constatar que la brecha inicial del 7.57% se redujo considerablemente, posicionando al proceso por encima del promedio del sector.

### Escenario vs Resultados

Finalmente, se presenta un cuadro comparativo que muestra la situación inicial de la empresa frente a la propuesta mejorada, permitiendo visualizar claramente las variaciones e incrementos en el desempeño de cada indicador. Los resultados reflejan el impacto positivo de las herramientas implementadas y evidencian la efectividad del proyecto, respaldando su viabilidad y valor para la organización.

**Tabla6.** Resultados Tras Implementación

| Indicador               | As is  | To be  | Variación |
|-------------------------|--------|--------|-----------|
| Eficiencia              | 68.41% | 75.98% | 7.57%     |
| OEE                     | 76.84% | 87.15% | 10.31%    |
| Tiempo de cambio (min)  | 76     | 60     | 16        |
| Evaluación inicial (5S) | 41.33% | 54.84% | 13.51%    |
| Distancia recorrida (m) | 31.5   | 23.1   | 8.4       |

Solo texto, comparacion con otros autores

Luego de ello, en la Tabla VI se presenta un cuadro resumen de los indicadores utilizados para cada una de las herramientas implementadas, así como el porcentaje de mejora obtenido en cada caso. Esta comparación permite visualizar de forma clara y cuantitativa el impacto de las soluciones propuestas sobre el desempeño operativo del proceso.

Además de los resultados cuantitativos derivados de las implementaciones, se obtuvieron datos económicos que respaldan su efectividad financiera. Para ello, se elaboró un flujo económico proyectado a 5 años, el cual permitió estimar el impacto económico del proyecto en el mediano plazo. A continuación, se detallan los principales resultados obtenidos:

**Tabla7.** Viabilidad Económica

| Indicador económico | Valor obtenido | Criterio de selección     |
|---------------------|----------------|---------------------------|
| VAN                 | S/ 377,128.91  | >0, entonces se acepta    |
| TIR                 | 57%            | > COK, entonces se acepta |
| RBC                 | 3.24           | > 1, entonces se acepta   |
| PRD                 | 2.53           | años                      |
| COK                 | 8.58%          |                           |

Según los resultados financieros presentados en la Tabla VII, el proyecto demuestra una alta viabilidad económica. Se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 377,128.91, lo que indica que la inversión generará una ganancia neta. Además, la Tasa Interna de Retorno (TIR) fue de 57%, superando ampliamente el Costo de Oportunidad del Capital (8.58%), lo cual refleja una rentabilidad atractiva.

También se calculó un índice beneficio/costo de 3.24, lo que significa que por cada sol invertido se obtendrán S/ 3.24 en beneficios. Finalmente, el Plazo de Recuperación Descontado (PRD) fue de 2.53 años, confirmando que la inversión se recuperará en un tiempo razonable. En conjunto, estos indicadores respaldan la implementación del proyecto como una solución que también es financieramente rentable y sostenible para mejorar la eficiencia del área de pintado.

Adicionalmente, se llevó a cabo una evaluación de impactos no económicos, considerando diversos factores internos y externos que podrían incidir en el desarrollo y la sostenibilidad del proyecto.

Para el análisis de riesgos, se empleó una matriz de evaluación, la cual permitió identificar, clasificar y priorizar posibles amenazas en función de su probabilidad de ocurrencia y el nivel de impacto asociado.



En cuanto al componente ambiental, se aplicó la matriz de Leopold, una herramienta metodológica que facilita la identificación y valoración cualitativa de los potenciales efectos sobre el medio ambiente derivados de la ejecución del proyecto.

**Figura 3.** Factor de riesgo - Viabilidad no económica

| N° | RIESGO                                     | CATEGORÍA    | PROB | GRAVEDAD | PUNTAJE | MITIGACIÓN                                                  |
|----|--------------------------------------------|--------------|------|----------|---------|-------------------------------------------------------------|
| 1  | Resistencia al cambio                      | Personal     | 4    | 5        | 20      | Comunicar los beneficios del proyecto y al ambiente laboral |
| 2  | Personal no apto                           | Personal     | 3    | 4        | 12      | Realizar capacitaciones en cada etapa del proyecto          |
| 3  | Desinterés de los operarios                | Personal     | 1    | 4        | 4       | Certificados y reconocimientos a los trabajadores           |
| 4  | Mala comunicación entre equipos de trabajo | Organización | 2    | 4        | 8       | Establecer responsables para cada área                      |
| 5  | Recolección de información deficiente      | Organización | 3    | 4        | 12      | Capacitar sobre la correcta recolección de datos            |

En lo que respecta al análisis del factor de riesgos del proyecto, se han identificado cinco riesgos principales, tanto a nivel del personal como a nivel organizacional. No obstante, los que presentan mayores niveles de criticidad según la evaluación realizada son: la resistencia al cambio con 20 puntos, personal no apto y la deficiente recolección de información, ambos con 12 puntos.

**Figura 4.** Matriz de Leopold - Viabilidad no económica

| FACTORES             |                 |                        |                  |                 |        |                        |            |   |                      |
|----------------------|-----------------|------------------------|------------------|-----------------|--------|------------------------|------------|---|----------------------|
| ACCIONES             | Consumo Energía | Generación de residuos | Calidad del aire | Uso de recursos | Ruido  | Cumplimiento normativo | Afectación |   | Impacto del agregado |
| Implementación 5S    | 1<br>6          | 4<br>7                 | 1<br>4           | 1<br>5          | 0<br>2 | 3<br>7                 | 5          | 0 | 64                   |
| Aplicación SMED      | 3<br>5          | 3<br>6                 | 0<br>3           | 1<br>5          | 3<br>7 | 2<br>6                 | 5          | 0 | 71                   |
| Implementación TPM   | -2<br>6         | 1<br>5                 | -1<br>4          | -2<br>6         | 3<br>8 | 3<br>7                 | 3          | 3 | 22                   |
| Implementación SLP   | 3<br>5          | 6<br>5                 | 5<br>4           | 4<br>4          | 4<br>7 | 3<br>6                 | 6          | 0 | 127                  |
| Enfoque Lean Green   | 7<br>8          | 6<br>9                 | 7<br>8           | 5<br>8          | 2<br>2 | 5<br>9                 | 6          | 0 | 255                  |
| Afectaciones         | 4               | 5                      | 3                | 4               | 4      | 5                      |            |   |                      |
|                      | 1               | 0                      | 1                | 1               | 0      | 0                      |            |   |                      |
| Impacto del agregado | 80              | 135                    | 76               | 54              | 77     | 117                    |            |   |                      |

El análisis con la Matriz de Leopold indica que los impactos ambientales del proyecto son en su mayoría positivos, sin afectaciones negativas significativas. El Enfoque Lean Green destaca como la herramienta con mayor beneficio ambiental (impacto total: 255), especialmente en la reducción de residuos, consumo energético y cumplimiento normativo. Los factores más favorecidos son: generación de residuos (135 puntos), cumplimiento normativo (117 puntos) y ruido (77 puntos). Aunque SLP, SS y SMED también

aportan mejoras, su impacto es menor. Solo se identificaron dos impactos negativos leves, lo que reafirma la viabilidad ambiental del proyecto.

### **Trabajos futuros**

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se identifican diversas oportunidades para ampliar y profundizar el estudio en futuras investigaciones:

- Automatización del proceso de pintado: Evaluar la viabilidad técnica y económica de incorporar sistemas automatizados o robóticos que permitan mejorar la uniformidad, reducir el tiempo de pintado y minimizar errores humanos.
- Integración de tecnologías de la Industria 4.0: Implementar sensores IoT para monitorear en tiempo real variables como temperatura, humedad, consumo energético y espesores de pintura, lo que permitiría tomar decisiones preventivas y optimizar el proceso.
- Integración del proceso de pintado al sistema de producción Just InTime (JIT): Analizar cómo adaptar el área de pintura a los principios JIT para minimizar inventarios intermedios, lotes grandes y tiempos muertos entre lotes.
- Aplicación de Lean Six Sigma para control de calidad en pintura: Diseñar un proyecto DMAIC orientado a reducir defectos por mala aplicación, contaminación o errores de mezcla, integrando herramientas estadísticas avanzadas.

Asimismo, se sugiere ampliar este modelo de solución a otras líneas de producción dentro del sector metalmecánico, como áreas de soldadura, ensamblaje y mecanizado, ya que también presentan desafíos relacionados con tiempos improductivos, flujos de trabajo deficientes y desgaste de maquinaria. Esto permitiría generar un impacto positivo más amplio en la empresa, tanto en términos económicos como estratégicos, consolidando una cultura de mejora continua a nivel organizacional.

### **CONCLUSIONES**

Se concluye que el modelo implementado ha generado resultados positivos en términos de eficiencia operativa, elevando el indicador de eficiencia del 68.41% al 75.98%. Esto representa un avance significativo hacia el cumplimiento de los objetivos del área de producción. Asimismo, se logró un aumento del OEE (Overall Equipment Effectiveness) en un 10.31%, una reducción aproximada de 16 minutos en el tiempo total de configuración, una mejora del 13.51% en la puntuación de la metodología



5S y una disminución de alrededor de 8.4 metros en la distancia total recorrida durante la fabricación de las cajas portamedidoras monofásicas.

Con base en el análisis realizado, se proyecta un incremento en el margen de ganancias. Esto se ve respaldado por una TIR estimada del 57% y un período de recuperación de la inversión de 2.53 años. En conjunto, los resultados confirman que el proyecto es económicamente viable y, además, presenta impactos positivos desde una perspectiva integral: económica, social, ambiental y organizacional.

Además, es fundamental considerar que el éxito de esta iniciativa no solo dependerá del diseño del modelo, sino también de la participación de los equipos involucrados y del compromiso organizacional en todas las etapas del proceso. La formación adecuada del personal, la disponibilidad de recursos y el monitoreo constante serán elementos clave para asegurar una ejecución exitosa.

Con esta investigación, no solo buscamos igualar el estándar del sector, sino también sentar las bases para un sistema de producción más eficiente, competitivo y adaptable a futuros desafíos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bataineh, O., Al-Hawari, T., Alshraideh, H., & Dalalah, D. (2019). A sequential TPM-based scheme for improving production effectiveness presented with a case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 25(1), 144–161. <https://doi.org/10.1108/JQME-07-2017-0045>
- Bataineh, O., Al-Hawari, T., Alshraideh, H., & Dalalah, D. (2019). A sequential TPM-based scheme for improving production effectiveness presented with a case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 25(1), 144–161. <https://doi.org/10.1108/JQME-07-2017-0045>
- Braglia, M., Castellano, D., & Gallo, M. (2019). A novel operational approach to equipment maintenance: TPM and RCM jointly at work. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2016-0018>
- Cabrera, O., Tejeda, J., Llontop, J., Mendoza, P., Alvarez, J. C., & Demirkesen, S. (2023). A validation model to reduce non-contributory time based on Lean tools: Case of a construction company in Perú. *Cogent Engineering*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2236838/ASSET/DBF1D7D9-D4B5-4F43-8841>



- Choudhary, S., Nayak, R., Dora, M., Mishra, N., & Ghadge, A. (2019). An integrated lean and green approach for improving sustainability performance: a case study of a packaging manufacturing SME in the U.K. *Production Planning & Control*, 30(5–6), 353–368.  
<https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1501811>
- Del Rosario-Malasquez, L., Dulce-Meneses, E., Viacava-Campos, G., & Cardenas, L. (2023). A Production Process Efficiency Improvement Model at a MSME Peruvian Metalworking Company. *AIP Conference Proceedings*.  
<https://scopus.upc.elogim.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85148029540&origin=resultslist&sort=plf>
- Domínguez-Alfaro, D., Mendoza-Muñoz, I., Montoya-Reyes, M. I., Vargas-Bernal, O. Y., & Jacobo-Galicia, G. (2023). Design and Implementation of Integral Ergo-Value Stream Mapping in a Metal-Mechanical Company to Improve Ergonomic and Productive Conditions: A Case Study. *Logistics*. <https://doi.org/10.3390/logistics7040100>
- Drewniak, R., & Drewniak, Z. (2022). Improving business performance through TPM method: The evidence from the production and processing of crude oil. *PLOS ONE*, 17(9), e0274393.  
<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0274393>
- el Caribe, C. E. P. A. L. y. (s/f). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado el 17 de septiembre de 2024, de <https://www.cepal.org/es>.
- Espinoza-Huamash, M., Arana-Hurtado, I., & León-Chavarri, C. (2022). Maintenance management model to increase availability in a metalworking SME applying TPM, SMED and PDCA. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 2022-December. <https://doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.704>
- Findik, D., Tirgil, A., & Özbuğday, F. C. (2023). Industry 4.0 as an enabler of circular economy practices: Evidence from European SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 410.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137281>



- Gaikwad, L. M., & Sunnapwar, V. K. (2024). Validation of Lean–Green–Six Sigma practice model for improving performance and competitiveness in an Indian manufacturing industry. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 1, 1–14.  
<https://doi.org/10.1007/S13198-024-02357-0/FIGURES/5>
- Gelaw, M. T., Kitaw Azene, D., & Berhan, E. (2023). Assessment of critical success factors, barriers and initiatives of total productive maintenance (TPM) in selected Ethiopian manufacturing industries. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. <https://doi.org/10.1108/JQME-11-2022-0073>
- Greinacher, S., Overbeck, L., Kuhnle, A., Krahe, C., & Lanza, G. (2020). Multi-objective optimization of lean and resource efficient manufacturing systems. *Production Engineering*, 14(2), 165–176.  
<https://doi.org/10.1007/s11740-019-00945-9>
- Hagedorn, Wiebke., Greiff, Kathrin., Pauliuk, Stefan. (2024). An environmental assessment framework for circular steel products. *Sustainable Production and Consumption*.  
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.031>
- Hardt, F., Kotyrba, M., Volna, E., & Jarusek, R. (2021). Innovative Approach to Preventive Maintenance of Production Equipment Based on a Modified TPM Methodology for Industry 4.0. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 6953, 11(15), 6953. <https://doi.org/10.3390/APP11156953>
- Huang, Z., Jowers, C., Kent, D., Dehghan-Manshadi, A., & Dargusch, M. S. (2022). The implementation of Industry 4.0 in manufacturing: from lean manufacturing to product design. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 121(5–6), 3351–3367.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-022-09511-7>
- Huertas-Reyes, A., Quispe-Huerta, S., Leon-Chavarri, C., & Velasquez-Costa, J. A. (2022). Increased efficiency of a metalworking SME through process redesign using SMED, Poka Yoke and Work Standardization (Issue 1). <https://doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.69>
- INEI. (2023). Informe Técnico de Producción Nacional. Biblioteca Virtual INEI.  
[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_produccion\\_1.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_produccion_1.pdf)
- Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior-CCL (Idexcam).



- Jara, B., Calderon, S., & Avalos-Ortecho, E. (2023). Application of Lean Manufacturing to Increase Productivity of a Company in the Metalworking Sector. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 35, 740–753. <https://doi.org/10.3233/ATDE230102>
- Juárez-Vite, A., Corona-Arment, J. R., Rivera-Gómez, H., Montañó-Arango, O., & MedinaMarín, J. (2023). Application of the SMED methodology through folding references for a bus manufacturing company. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(3), 232–243. <https://doi.org/10.24867/IJIEEM-2023-3-335>
- Kanan, M., Dilshad, A. R., Zahoor, S., Hussain, A., Habib, M. S., Mehmood, A., Abusaq, Z., Hamdan, A., & Asad, J. (2023a). An Empirical Study of the Implementation of an Integrated Ergo-Green-Lean Framework: A Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/su151310138>
- Leme, R. D., Nunes, A. O., Message Costa, L. B., & Silva, D. A. L. (2018). Creating value with less impact: Lean, green and eco-efficiency in a metalworking industry towards a cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 196, 517–534. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.064>
- Manzanares-Cañizares, C., Sánchez-Lite, A., Rosales-Prieto, V. F., Fuentes-Bargues, J. L., & González-Gaya, C. (2022). A 5S Lean Strategy for a Sustainable Welding Process. *Sustainability (Switzerland)*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/su14116499>
- Oliveira, C., & Lima, T. M. (2023). Setup Time Reduction of an Automotive Parts Assembly Line Using Lean Tools and Quality Tools. *Eng 2023*, Vol. 4, Pages 2352-2362, 4(3), 2352–2362. <https://doi.org/10.3390/ENG4030134>
- Orellana-Nuñez, N., Puerta-Girón, M., & León-Chavarri, C. (2022). Production management model to reduce late deliveries in a metal-mechanical SME using lean tools. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 2022-December. <https://doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.133>
- Padilla-Triveno, J., & Quiroz-Flores, J. C. (2022). Lean Production Model to Increase Equipment Availability in the Manufacturing Process of Gas Hose Connectors in Metalworking SMEs. *ACM International Conference Proceeding Series*, 275–281.



<https://doi.org/10.1145/3568834.3568893>

- Pawlak, S. (2024). The Impact of Selected Lean Manufacturing Tools on the Level of Delays in the Production Process. A Case Study. *Management Systems in Production Engineering*, 32(1), 103–107. <https://doi.org/10.2478/MSPE-2024-0011>
- Pinto, G., Silva, F. J. G., Fernandes, N. O., Casais, R., Baptista, A., & Carvalho, C. (2020). Implementing a maintenance strategic plan using TPM methodology. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(3), 192–204. <https://doi.org/10.24867/IJIEEM-2020-3-264>
- Queiroz, G. A., Filho, A. G. A., Núñez, J. F., Santa-Eulalia, L. A., Delai, I., & Torkomian, A. L. V. (2024). Lean and Green Manufacturing in operations strategy: cases from the automotive industry. *Operations Management Research*, 1–25. <https://doi.org/10.1007/S12063-024-00477-1/FIGURES/3>
- Rodrigues, J., Sá, J. C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Jimenez, G., & Santos, G. (2020). A rapid improvement process through “quick-win” lean tools: A case study. *Systems*. <https://doi.org/10.3390/systems8040055>
- Rodriguez, L., Loyo, J., & Silva, U. (2023). LAYOUT EVALUATION WITH THE INDUSTRY 4.0 APPROACH FOR A MANUFACTURING LABORATORY. *International Journal of Simulation Modelling*, 22(4), 551–561. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM22-4-642>
- Salins, S. S., Zaidi, S. A. R., Deepak, D., & Sachidananda, H. K. (2024). Design of an improved layout for a steel processing facility using SLP and lean Manufacturing techniques. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 1–22. <https://doi.org/10.1007/S12008-024-01828-9/FIGURES/27>
- Schindlerová, V., Šajdlerová, I., Michalčík, V., Nevima, J., & Krejčí, L. (2020). Potential of using TPM to increase the efficiency of production processes. *Tehnicki Vjesnik*, 27(3), 737–743. <https://doi.org/10.17559/TV-20190328130749>
- Siegel, R., Antony, J., Garza-Reyes, J. A., Cherrafí, A., & Lameijer, B. (2019). Integrated green lean approach and sustainability for SMEs: From literature review to a conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118205. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118205>



- Siegel, R., Antony, J., Govindan, K., Garza-Reyes, J. A., Lameijer, B., & Samadhiya, A. (2022). A framework for the systematic implementation of Green-Lean and sustainability in SMEs. *Production Planning and Control*. <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2052200>
- Silvestre, S. E. M., Chaicha, V. D. P., Merino, J. C. A., & Nallusamy, S. (2022). Implementation of a Lean Manufacturing and SLP-based system for a footwear company. *Production*, 32. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210072>
- Singh, J., & Singh, H. (2020). Justification of TPM pillars for enhancing the performance of manufacturing industry of Northern India. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 69(1), 109–133. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2018-0211/FULL/PDF>
- Sukma, D. I., Prabowo, H. A., Setiawan, I., Kurnia, H., & Fahturizal, I. M. (2022). Implementation of Total Productive Maintenance to Improve Overall Equipment Effectiveness of Linear Accelerator Synergy Platform Cancer Therapy. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 35(7), 1246–1256. <https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.07a.04>
- Urain, I., Eguren, J. A., & Justel, D. (2022). Development and validation of a tool for the integration of the circular economy in industrial companies: Case study of 30 companies. *Journal of Cleaner Production*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133318>
- Vaz, E., Vieira De Sá, J. C., Santos, G., Correia, F., & Ávila, P. (2023). The value of TPM for Portuguese companies. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29(1), 286–312. <https://doi.org/10.1108/JQME-12-2020-0121/FULL/PDF>
- Yağlı, E., Şencan, A. Ç., Koçak, M. R., & Şencan, C. (2024). Investigation of the effect of 5s application on production efficiency in machining: A field study at an aviation company. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39(2), 1067–1082. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1100151>

