

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



MEJORA EN LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN APLICANDO HERRAMIENTAS LEAN SMED, MANTENIMIENTO PLANIFICADO Y POKA YOKE EN UNA EMPRESA DEL SECTOR DE PLÁSTICOS

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial
Artículo Científico

Roberto Andres Caravedo Calmet

Código 20190361

Piero Gonzalo Rojas Nostadez

Código 20194545

Asesor

Wilson David Calderón Gonzáles

Lima – Perú

Junio de 2025





**IMPROVEMENT IN PRODUCTION PROCESS
EFFICIENCY THROUGH THE
APPLICATION OF LEAN TOOLS: SMED,
PLANNED MAINTENANCE, AND POKA
YOKE IN A COMPANY IN THE PLASTICS
INDUSTRY**

MEJORA EN LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN APLICANDO HERRAMIENTAS LEAN SMED, MANTENIMIENTO PLANIFICADO Y POKA YOKE EN UNA EMPRESA DEL SECTOR DE PLÁSTICOS

Roberto Andres Caravedo Calmet

<https://orcid.org/0009-0003-9210-3129>

Bachiller de la Universidad de Lima, Ingeniería Industrial, Lima, Perú

Piero Gonzalo Rojas Nostadez

<https://orcid.org/0009-0000-1134-662X>

Bachiller de la Universidad de Lima, Ingeniería Industrial, Lima, Perú

RESUMEN: La industria plástica cumple un rol importante en la economía peruana, representando el 3,5% del PBI manufacturero. No obstante, enfrenta desafíos como altos tiempos improductivos, fallas operativas y baja eficiencia en la producción. Esta investigación analiza el impacto del uso de herramientas Lean para mejorar la eficiencia del proceso, reduciendo tiempos de inactividad y errores humanos. El modelo propuesto incluye SMED para disminuir los tiempos de cambio de máquina, mantenimiento planificado para evitar fallas imprevistas y Poka Yoke para prevenir errores en el embalaje. Se realizó una prueba piloto para evaluar cada herramienta, seguida de una simulación del proceso productivo para medir su efecto en el sistema completo. Los resultados evidencian una mejora del 5,76% en la eficiencia, así como reducciones del 59,6% en tiempos muertos por detección de metales, 25% en paradas por cambio de cuchillas y 39,8% en fallos de embalaje, impulsando la productividad y competitividad del sector.

PALABRAS CLAVE: *Eficiencia, Industria de plásticos, Gestión de producción, Herramientas Lean, Procesos industriales*

IMPROVEMENT IN PRODUCTION PROCESS EFFICIENCY THROUGH THE APPLICATION OF LEAN TOOLS: SMED, PLANNED MAINTENANCE, AND POKA-YOKE IN A COMPANY FROM THE PLASTICS SECTOR

ABSTRACT: The plastics industry plays a significant role in the Peruvian economy, contributing 3.5% to the country's manufacturing GDP. However, it faces ongoing challenges such as high downtime, operational failures, and low overall production efficiency. This study analyzes the impact of Lean tools to improve production efficiency by minimizing downtime and operator errors. The proposed model applies SMED to reduce machine changeover time, planned maintenance to prevent unexpected failures, and Poka-Yoke to reduce packaging errors. A pilot test was implemented to assess each tool, followed by a production process simulation to evaluate their impact across the system, ensuring sustainability. Results show that integrating Lean tools closed the 5.76% efficiency gap identified in the technical analysis, enhancing productivity and economic growth. Additionally, metal detection downtime was reduced by 59.6%, blade change stoppages by 25%, and packaging errors by 39.8%.

Keywords: *Efficiency, Plastics Industry, Production Management, Lean Tools, Industrial Processes.*

1. INTRODUCCIÓN

Según la Sociedad Nacional de Industrias (2022), la industria plástica representa el 3.5% del PBI manufacturero del Perú y genera más de 60,000 empleos. Su relevancia global se refleja en la versatilidad del plástico: bajo costo, moldeabilidad y resistencia. Además, esta industria genera un valor significativo, siendo que en Europa cuenta con más de 53,000 empresas y 1.44 millones de empleados, con una facturación de 261 mil millones de euros en 2018 (Salwin & Kraslawski, 2024).

Este proyecto se centra en una empresa peruana dedicada a la producción de fibras de poliéster, cuya eficiencia se encuentra en 92.8%, por debajo del promedio sectorial de 98.56% según Quezada, (2022), evidenciando una brecha técnica del 5.76%. En respuesta, se implementarán herramientas Lean Manufacturing como SMED, mantenimiento planificado y Poka Yoke, con el objetivo de mejorar los procesos productivos, reducir tiempos improductivos y optimizar la calidad del producto.

Esta investigación aporta al fortalecimiento de la competitividad en la industria plástica peruana, promoviendo la sostenibilidad operativa y el reciclaje eficiente. Además,

responde a un vacío en la aplicación de metodologías Lean en el sector local, proponiendo una solución innovadora validada por simulación para asegurar su efectividad.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar cómo la aplicación de herramientas Lean Manufacturing impacta en la mejora de la eficiencia operativa del proceso productivo de la empresa en estudio. En este sentido se plantea como hipótesis que su implementación contribuirá a reducir tiempos improductivos, eliminar desperdicios y aumentar el valor agregado, optimizando así la gestión de recursos y el cumplimiento de los objetivos estratégicos, por lo que, para alcanzar dicho propósito, se planteó como pregunta de investigación: “¿Es viable aplicar herramientas Lean para incrementar la eficiencia de una empresa manufacturera del sector plásticos?”

Si bien diversos estudios evidencian que las herramientas Lean mejoran la eficiencia en la industria del plástico, la mayoría se centran en grandes corporaciones o sectores distintos al manufacturero. Esto deja un vacío sobre su aplicación combinada en pequeñas y medianas empresas peruanas. Además, tampoco se encontraron investigaciones que integren estas metodologías en un modelo validado por simulación y aplicado directamente en planta. Por ello, este estudio busca cerrar dicha brecha, evidenciando mejoras operativas y económicas que superen la brecha técnica del 5.76%.

Para alcanzar el objetivo de la investigación, se seleccionaron artículos sobre la eficiencia en empresas manufactureras del sector plásticos, utilizando bases de datos confiables como ScienceDirect, Scopus y ProQuest. La búsqueda se realizó con palabras clave derivadas del título del estudio y se aplicaron criterios de inclusión y exclusión, priorizando artículos en inglés, de revistas Q1 o Q2 y accesibles en formato PDF. Asimismo, se elaboró un análisis por tipologías (tabla 1) que agrupó los enfoques más utilizados en la literatura sobre herramientas Lean en la industria plástica, destacando Lean Manufacturing, SMED, Mantenimiento planificado y Poka Yoke, lo que facilitó la elección de estrategias apropiadas para el caso de estudio.

Tabla 1

Tipologías

Tipología	Cantidad de artículos
Lean Manufacturing	3
Plastic industries	7

SMED	5
Mantenimiento planificado	5
Poka Yoke	6
Total	26

- Metodología Lean: Según Guevara et al., (2023), es un sistema que busca eliminar desperdicios y aumentar la eficiencia. La ventaja de aplicar una metodología Lean radica en el hecho de que reduce los costos y los daños ambientales producidos durante un conjunto de actividades (Wang, 2023). Según Mittal et al., (2023), resalta su utilidad para identificar cuellos de botella y causas raíz de fallos.
- SMED: Según Myrin et al., (2022), busca reducir significativamente el tiempo de cambio de herramientas o ajustes en las máquinas, transformando actividades internas (con máquina detenida) en externas (con máquina en marcha), lo que la convierte en una herramienta clave para mejorar la eficiencia operativa.
- Mantenimiento planificado: De acuerdo con Pérez et al., (2024), el mantenimiento planificado es una estrategia avanzada en la que las intervenciones se programan en intervalos regulares y que permite, mediante el análisis de datos en tiempo real e históricos, anticipar fallas, reducir riesgos imprevistos y mantener la calidad operativa, evitando así los altos costos del mantenimiento correctivo.
- Poka Yoke: Según Rasool et al., (2025), el método Poka Yoke es una técnica de calidad diseñada para prevenir errores y defectos en los procesos productivos a través de dispositivos o sistemas que detectan y corrigen fallas antes de que ocurran. Además, Olivares et al., (2023), destacan su capacidad para reducir fallos humanos, retrabajos, mejorar precisión en tareas manuales.

1.1 Incremento eficiencia en la industria del sector plástico

La industria del plástico enfrenta desafíos para mejorar su eficiencia operativa y reducir el desperdicio, para ello, se han adoptado herramientas Lean Manufacturing, las cuales han mostrado resultados favorables. Según Enache et al., (2023), la metodología Lean Manufacturing permitió reducir la tasa de desperdicio en un proceso de ensamblaje en un 27.9%, mientras que el tiempo no productivo disminuyó en un 71.9% tras implementar estrategias de mejora continua y eliminación de actividades no esenciales.

La eficiencia en la industria del sector plástico es un tema prioritario debido a la necesidad de mejorar la sostenibilidad y competitividad. Según Rahardjo et al., (2023), la combinación de herramientas de Lean Manufacturing ha permitido a las organizaciones optimizar sus procesos productivos, incrementado el rendimiento y reduciendo costos. Además, Hirata et al., (2025), en su estudio destaca la importancia de la industria plástica en el contexto de la transición hacia una economía baja en carbono y demuestra que el reciclaje de plásticos puede generar importantes beneficios climáticos.

Por su parte, Arijenywa et al. (2024), señala que la industria de alimentos y bebidas, gran consumidora de plásticos de un solo uso, representa un riesgo para la sostenibilidad y la salud. Aunque estos materiales preservan alimentos, su uso excesivo y baja reutilización perpetúan un modelo insostenible, como respuesta, se propone la economía circular. En este sentido, Farrukh et al., (2023), que las prácticas combinan mejora continua con sostenibilidad, promoviendo la circularidad en sectores como el de empaques plásticos. Su éxito depende de la capacitación, alianzas estratégicas y adopción de tecnologías que optimicen procesos y fortalezcan modelos de negocio sostenibles.

1.2 Aplicación de la herramienta SMED

Según Afonso et al., (2022), la herramienta SMED (Single Minute Exchange of Die), es una estrategia de Lean Manufacturing enfocada en disminuir significativamente el tiempo necesario para realizar cambios de herramientas y ajustes en equipos de producción transformando tareas internas en externas sin detener la máquina, lo que reduce los tiempos de inactividad, mejora la eficiencia y brinda mayor flexibilidad, ayudando a reducir inventarios. En el caso analizado, su implementación permitió reducir los tiempos de preparación en un 55% y aumentar la producción mensual en un 26.4%, demostrando su efectividad en productividad y entorno de trabajo. Por su parte, Cannas et al., (2025), resalta que su aplicación reduce tiempos de cambio y desperdicios, siendo aún más efectiva cuando se integra con tecnologías de Industria 4.0 y análisis de datos. Al alinearse con la economía circular, promueve prácticas sostenibles al minimizar insumos y tiempos, fortaleciendo la eficiencia operativa y ambiental.

Además, de acuerdo con Shahriar et al., (2022), su uso ha demostrado ser eficaz para reducir el tiempo no productivo en cambios de herramientas, especialmente en procesos como el soplado e impresión de bolsas plásticas. Su implementación agiliza la búsqueda

y organización de herramientas, lo que incrementa la eficiencia operativa. Además, optimiza los tiempos de cambio, reduce la improductividad, mejora la flexibilidad y eleva la calidad del producto final. Por otra parte, su implementación optimizó el cambio de estilo al estandarizar actividades, anticipar insumos y capacitar al personal. Esto redujo hasta 1.8 horas por turno, mejoró la eficiencia operativa, disminuyó pérdidas y aumentaron los productos exitosos, consolidándose como una herramienta clave para elevar la productividad en entornos competitivos (Toki et al., 2023). En el caso presentado se utilizará SMED para reducir las paradas por detección de metales con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso de molido al emplear una maquinaria que contribuya a la meta establecida.

1.3 Aplicación de la herramienta mantenimiento planificado

Según David et al., (2024), el mantenimiento planificado es una estrategia avanzada que previene fallas mediante el análisis de datos históricos y en tiempo real, utilizando herramientas de simulación para detectar patrones. Su aplicación redujo en 20% los tiempos de inactividad, elevó la disponibilidad de máquina del 69% al 89% y optimizó tanto el tiempo entre fallos como el de reparación. Además, según Bafandegan et al., (2025), se integra la gestión de repuestos y la reducción de errores humanos en una estrategia unificada para mejorar el desempeño de los equipos industriales.

De acuerdo con Larizadeh & Mohamadpour, (2025), la integración del mantenimiento planificado con modelos basados en datos mejora la sostenibilidad y eficiencia operativa, al reducir fallos e inactividad. Sus beneficios incluyen mayor estabilidad en la producción, mejor uso de recursos, equipos más duraderos y menores costos. El uso de inteligencia artificial potencia este enfoque al anticipar fallas con mayor precisión. Adicionalmente, según Popa et al., (2021), permite detectar fallos antes de que se conviertan en averías graves, lo que reduce los costos de reparación, mejora la productividad, alarga la vida útil de las máquinas y garantiza la calidad del producto final.

En este estudio se implementó el mantenimiento planificado utilizando tarjetas visuales, con el objetivo de reducir las paradas por cambio de cuchillas, lo que contribuyó de manera significativa a mejorar la eficiencia del proceso productivo.

1.4 Aplicación de la herramienta Poka Yoke

Según Velásquez et al., (2022), es una técnica de control de calidad que previene errores al diseñar procesos a prueba de fallos. En una empresa de muebles, su implementación redujo los tiempos de ciclo en 40% y aumentó la capacidad productiva en 21% mediante dispositivos visuales. Además, mejoró la calidad al disminuir tiempos de inspección, cambios de formato y retrabajos. Además, añade automatización para detectar y detener la producción ante problemas de calidad, permitiendo intervenciones inmediatas y evitando que los defectos se propaguen en la cadena productiva, lo cual también contribuye a una mayor eficiencia y reducción de tiempos (Dossou et al., 2022).

Además, Chiu et al., (2020), menciona que el diseño "a prueba de errores" de Poka Yoke reduce la necesidad de inspecciones adicionales al detectar y corregir fallos en tiempo real. Esto es especialmente útil en la manufactura de plásticos, donde pequeños errores pueden generar altos volúmenes de desperdicio y pérdidas económicas. Según Tsai & King, (2025), la aplicación de Poka Yoke previno errores en el ensamblaje, mejoró la precisión en tareas manuales y permitió ejecutar procesos sin supervisión constante. Esto logró estandarizar el trabajo, reducir fallos humanos y aumentar la eficiencia en entornos de producción controlada.

En la empresa del caso de estudio, se hará uso de Poka Yoke en la actividad de embalaje, puesto que el 33% corresponde a fallos en el proceso debido a errores humanos al momento de colocar los fardos en la maquinaria, lo que tiene como consecuencia que el producto que no pueda colocarse en dichos fardos y caigan al suelo sean considerados como merma.

2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción del escenario

La empresa de estudio pertenece a la industria de plásticos en Lima, Perú. Cuenta con una línea de producción conformada por: Selección, Molido, Segregado, Lavado, Secado, Extruido, Estirado, Rizado y Embalaje. Las áreas importantes por mejorar son las de Molido y Embalaje donde se identificó la brecha técnica de 5.76%. Además, el impacto económico debido a este problema de las paradas en dichos procesos mencionados anteriormente es de 203,785.24 soles y representa un 7.7% con respecto a su facturación anual. Este monto en soles es en base a las ventas anuales de producto terminado que incrementarían si se redujera el tiempo de dichas paradas en el proceso. Por lo tanto, se

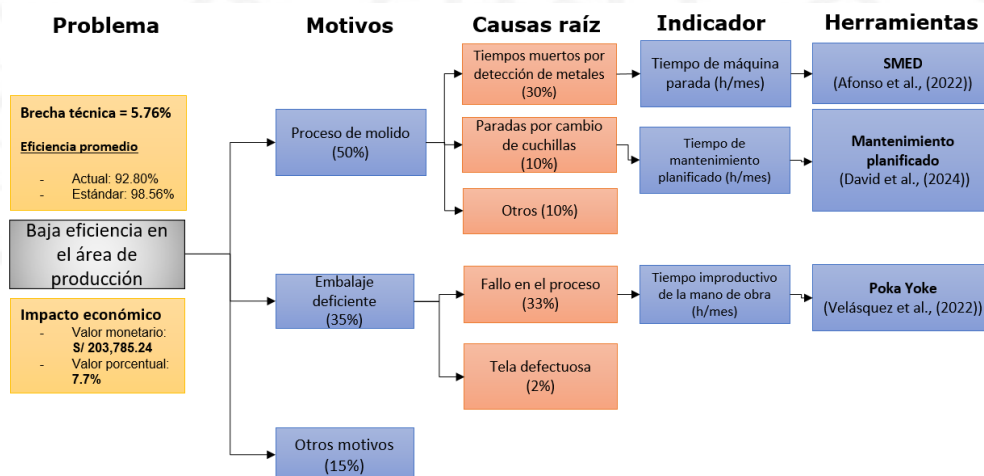
incrementará la eficiencia con la aplicación de las herramientas SMED, mantenimiento planificado y Poka Yoke.

2.2 Diagnóstico inicial (Árbol de problemas)

Con respecto al problema principal de la baja eficiencia debido a las paradas en el área de producción, los motivos se dividen principalmente en el proceso molido improductivo (50%), embalaje deficiente (35%) y otros motivos no significativos (15%). En ese sentido, se realizó un análisis de las causas raíz de cada motivo como se muestra en la Figura 1. Con respecto al primer motivo, sus causas raíz son los tiempos muertos por detección de metales (30%) y paradas por cambio de cuchillas (10%) y con respecto al segundo motivo, la causa raíz es fallo en el proceso de embalaje (33%).

Figura 1

Árbol de problemas



2.3 Modelo de solución

La solución parte de comprender cómo las causas raíz afectan la eficiencia en las áreas de molido y embalaje. Se identificaron problemas como fallas recurrentes, paradas no registradas y una gestión deficiente del mantenimiento, sumados a errores frecuentes de los operarios en el embalaje. Para enfrentar estos desafíos, se recopilaban datos sobre tiempos improductivos y se consultó al personal técnico para diseñar mejoras viables. Luego, se simulaban las propuestas en Arena para evaluar su impacto. Las acciones incluyen la instalación de un detector de metales previo al molido, un plan de mantenimiento preventivo para el cambio regular de cuchillas, que actualmente puede

generar paradas de hasta 24 horas, la estandarización del proceso de embalaje para reducir errores y asegurar una operación más continua y eficiente.

2.3 Detalles e indicadores de desempeño

Para la medición de los impactos de las herramientas de solución se obtendrán mediante los siguientes indicadores de desempeño.

2.3.1 Tasa de eficiencia

La fórmula para calcular la tasa de eficiencia evalúa el porcentaje de efectividad de los procesos al comparar el valor real obtenido frente al valor esperado procesado. Este indicador permite medir el nivel de aprovechamiento de los recursos operativos y detectar oportunidades para mejorar la eficiencia.

$$Tasa\ de\ eficiencia\ (\%) = \frac{Valor\ real}{Valor\ esperado} \times 100$$

2.3.2 Tiempo de parada de máquina

Este cálculo determina el tiempo total de inactividad de las máquinas en el proceso de molido, al multiplicar el número de paradas por su duración promedio. Permite identificar las principales causas de interrupción y priorizar mejoras. En este caso, se aplicará SMED para reducir dichas paradas.

$$Tiempo\ de\ parada\ de\ máquina = Número\ de\ paradas\ de\ máquina \times Tiempo\ promedio\ por\ cada\ parada$$

2.3.3 Tiempo de parada por mantenimiento

El tiempo de parada por mantenimiento mide el impacto de las actividades programadas y no programadas en el molino. Este indicador es clave para evaluar la eficiencia del plan de mantenimiento y proponer estrategias para reducir las interrupciones asociadas, siendo la del caso presentado el mantenimiento planificado.

$$Tiempo\ de\ parada\ por\ mantenimiento = Número\ de\ paradas\ de\ mantenimiento \times Tiempo\ promedio\ por\ cada\ parada$$

2.3.4 Tiempo improductivo de la mano de obra

Estima el tiempo perdido debido a fallas en el proceso de embalaje, calculado como el producto entre el número de paradas y su duración promedio. Es útil para analizar la

eficiencia del personal y del sistema de embalaje, identificando áreas donde es posible reducir los fallos mediante la aplicación de Poka Yoke como en el caso presentado.

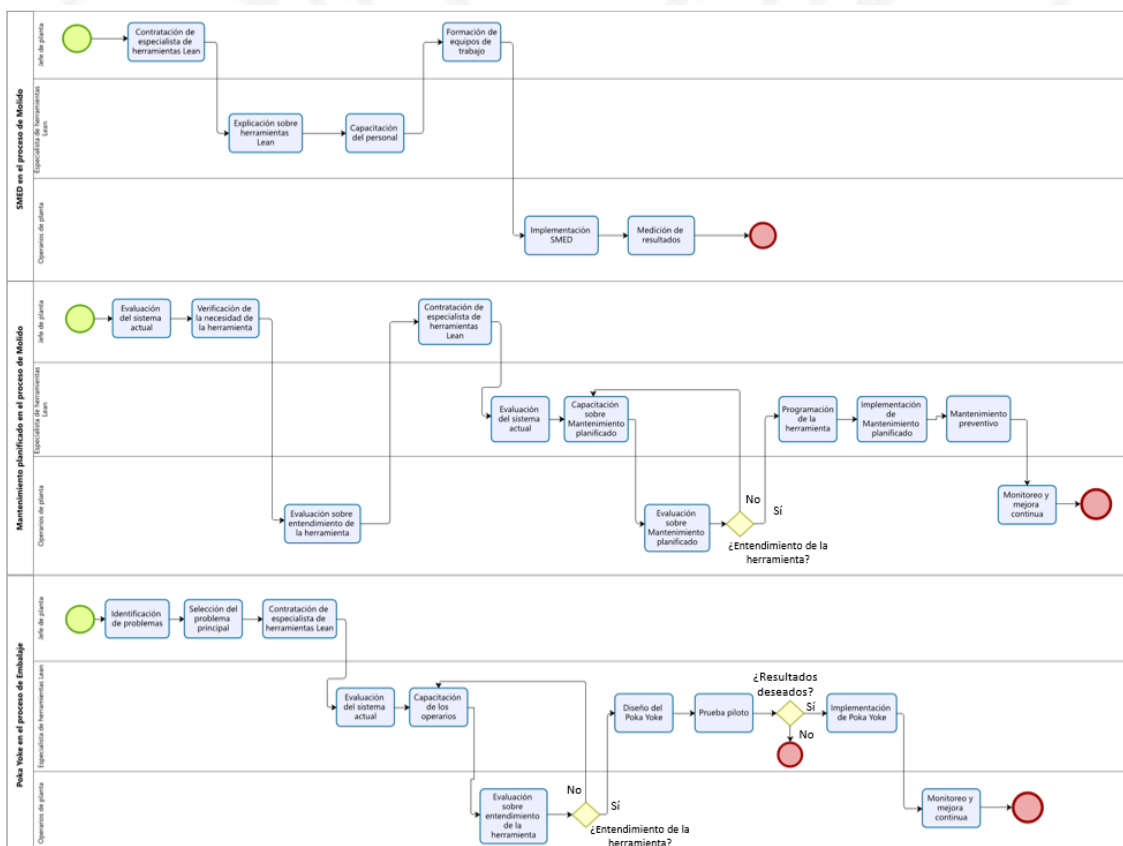
$$\text{Tiempo improductivo de la mano de obra} = \text{Número de paradas de falla} \times \text{Tiempo promedio por cada parada}$$

2.4 Proceso de implementación del aporte (Flujograma de Bizagi)

Para SMED, el proceso inició con la contratación de un especialista y la capacitación del personal en la identificación de tareas internas que podían externalizarse. Se formaron equipos de trabajo, se aplicó la metodología SMED y se realizaron mejoras en el área de molido para reducir las paradas por detección de metales. Con respecto al mantenimiento planificado, se evaluó el estado actual del sistema. Tras validar la necesidad de mejora, se capacitó al personal en mantenimiento preventivo, se programaron intervenciones regulares y se implementó un sistema de monitoreo para asegurar la continuidad operativa. En el caso de Poka Yoke, se identificaron errores comunes en el proceso de embalaje. Se diseñaron guías visuales simples para evitar fallos, se validaron mediante una prueba piloto y luego se implementaron formalmente, con seguimiento continuo para ajustar la solución según sea necesario. El flujograma de las herramientas se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Implementación de las herramientas



3. RESULTADOS

3.1 Método de Validación

La validación de la mejora en la aplicación de las herramientas SMED, mantenimiento planificado y Poka Yoke se realizó mediante un plan piloto y una simulación en el software Arena. El plan piloto permitió implementar las herramientas de forma controlada, facilitando su evaluación en un entorno real y permitiendo identificar su impacto de manera más precisa y eficiente a través de resultados medibles y observaciones directas.

3.1.1 Prueba Piloto

La prueba piloto se llevó a cabo en la planta de producción entre el 18 y el 27 de junio de 2024, con visitas diarias de una hora por restricciones internas. Se trabajó con operarios y el jefe de planta en la implementación de las herramientas Lean.

Con la herramienta SMED se capacitó al personal en la reducción de paradas mediante una placa imantada que evita la detención del molino por metales. Se evaluó su ubicación y beneficios con los operarios asignados. En cuanto al mantenimiento planificado, se estableció un cronograma para el cambio de cuchillas implementando un tablero de control directamente en la máquina, donde se realizó el primer mantenimiento durante la misma semana, asegurando su aplicación constante. Respecto a Poka Yoke, se trabajó con los operarios de embalaje para identificar errores comunes. Luego de capacitarlos, se diseñó una guía visual para estandarizar la colocación de fardos que fue implementada directamente en la máquina, validándose su comprensión y eficacia. Los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Resultados de los indicadores en prueba piloto

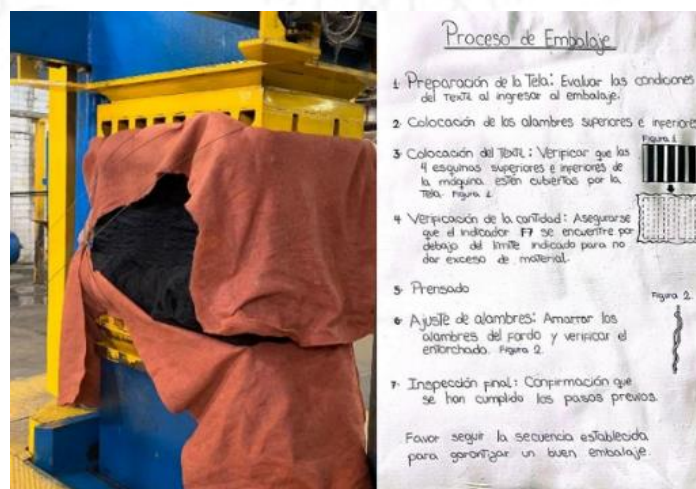
Componente	Descripción	Indicador (hora/mes)	Diagnóstico Inicial (hora/mes)	Prueba Piloto (hora/mes)	Var. (%)	Herramienta/Modelo
Causa Raíz 1	Paradas por detección de metales	Tiempo de máquina parada (h/mes)	4	2	-48.3%	SMED
Causa Raíz 2	Paradas por cambio de cuchillas	Tiempo de mantenimiento planificado (h/mes)	8	5	-33.3%	Mantenimiento planificado
Causa Raíz 3	Falla en el proceso	Tiempo improductivo de la mano de obra (h/mes)	2	1.4	-33.3%	Poka Yoke

Con respecto al mantenimiento planificado, se estableció que el mantenimiento se llevaría a cabo los miércoles y el sábado y se implementó colocando el tablero en la máquina del molido para realizar el cambio de cuchillas y ese mismo día en la tarde se llevó a cabo el primer mantenimiento, posteriormente se realizó el monitoreo para garantizar la utilización de la herramienta.

La herramienta Poka Yoke se implementó en el área de embalaje, en donde se reunió a los tres operarios responsables para identificar los errores más frecuentes en el proceso. Al día siguiente, se realizó una capacitación y se discutieron posibles mejoras, confirmando las fallas más comunes. Con base en esta información, se diseñó el sistema Poka Yoke y se llevó a la planta para asegurar su comprensión por parte del personal. Una vez validado, se colocó una guía visual en la máquina que procesa la fibra de poliéster, y se monitorearon los resultados obtenidos, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Poka Yoke en el proceso de embalaje

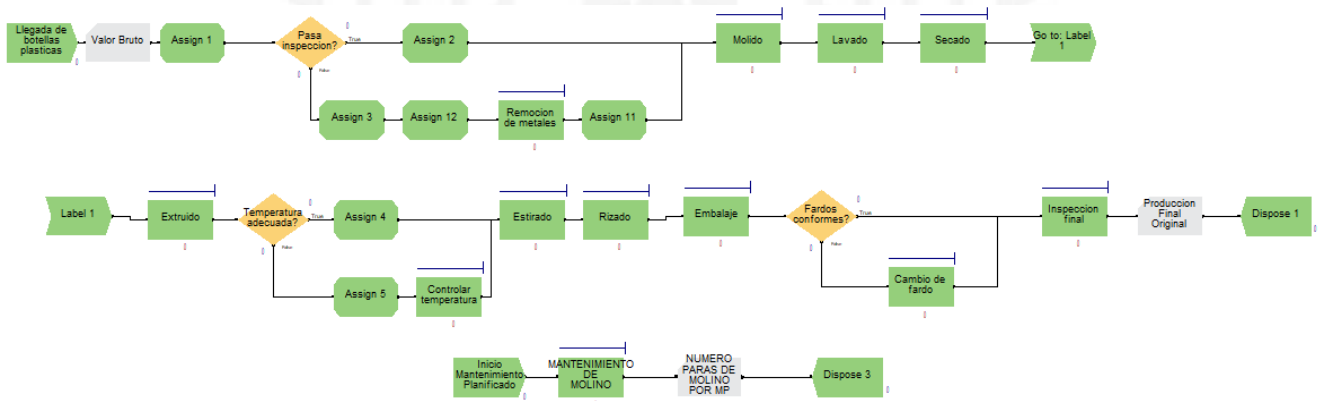


3.1.2 Simulación en el Software Arena

Para la elaboración del modelo de validación usando el software Arena se tomó el estado actual del proceso, como se muestra en la Figura 4, y se aplicaron los cambios respectivos a fin de aumentar la eficiencia del proceso productivo mediante las herramientas seleccionadas. Respecto al modelo original, se modelaron las actividades vinculadas con la producción y recepción de fardos de fibras de poliéster a partir de botellas PET, para ello se consideró la participación del operario de molido y al molino como parte inicial del proceso en donde no se cuentan con operarios especializados para llevar a cabo la remoción de metales ni la inspección previa de los lotes a fin de optimizar el proceso, además, no se tiene un plan de mantenimiento para evitar las paradas por las roturas de las cuchillas de la maquinaria, para que luego sea diferido al lavado y secado. En el extruido se controla la temperatura por medio de un operario especializado a fin de evitar la rotura de las fibras y se continúa con el estirado y rizado de la fibra de poliéster, para finalmente realizar el embalaje en donde no se tiene una estandarización del proceso ni se cuenta con un operario encargado de realizar la inspección final.

Figura 4

Modelo de validación actual

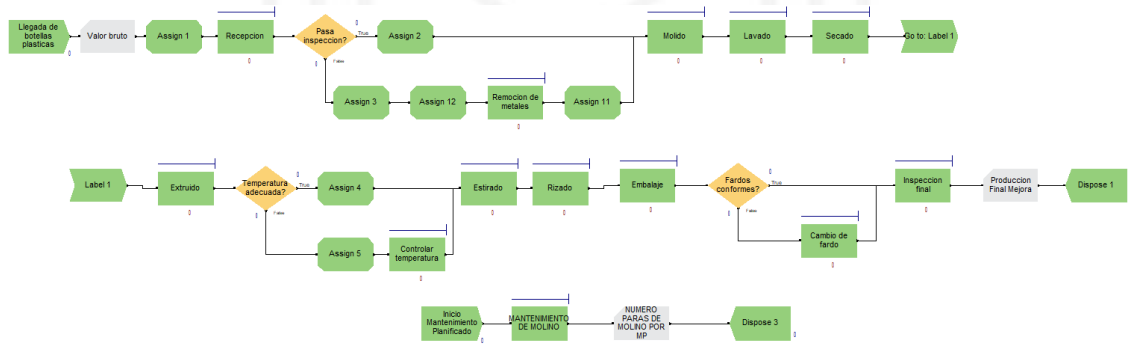


Con el propósito de optimizar el proceso y mejorar la eficiencia del proceso productivo de los fardos de fibra de poliéster se aplicó la herramienta SMED en el proceso de molido mediante la incorporación de un operario capacitado en la inspección de lotes de botellas PET a fin de evitar el paso de materiales metálicos que puedan romper las cuchillas del molino, además, se cuenta con un operario encargado exclusivamente de la remoción de metales mediante el uso de una placa imantada en caso se filtren al molido y reducir los

tiempos de inactividad por paro de la maquinaria. Además, mediante el mantenimiento planificado realizado por 2 operarios, se reducen las veces que el molino se para por rotura o desgaste de las cuchillas, lo cual significa paradas de un promedio de 3 a 6 horas en la producción. Una vez culminado con el molido, se continúa con el lavado, secado, extruido, estirado y rizado, actividades que no afectan la eficiencia del proceso y se culmina con el embalaje en donde mediante la herramienta de Poka Yoke se logra estandarizar el proceso y reducir los fallos por error humano, lo que a su vez mejora el tiempo de embalaje, mediante la verificación de los fardos por medio de un operario capacitado que realiza una inspección previo a su uso, en donde se descartan los productos defectuosos y se evita que la fibra, al momento de embalsarse, se contamine con el contacto con el suelo y termine como merma. El proceso de validación mejorado se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Modelo de validación mejorado



3.2 Validación de resultados

Los resultados obtenidos tras la implementación de las herramientas Lean se muestran en la siguiente tabla, en donde se comparan los valores iniciales del escenario base con los alcanzados tras las mejoras implementadas, evidenciando las variaciones porcentuales

logradas en términos de eficiencia, SMED, mantenimiento planificado y Poka Yoke. Estos resultados reflejan un impacto positivo en la productividad y la calidad operativa.

Tabla 3

Resultados de validación

Herramienta	As Is	To Be	Var. %
Eficiencia (%)	20.83%	79.17%	58.33%
SMED (minutos)	154.35	62.35	-59.60%
Mantenimiento planificado (minutos)	1920	1440	-25.00%
Poka Yoke (minutos)	64.48	38.7	-39.98%

3.2.1 Resultados de validación de la eficiencia

La eficiencia del sistema mejoró de manera sustancial, pasando del 20.83% al 79.17%, lo que representa un incremento del 58.33%. Este cambio se logró a través de la implementación de metodologías de mejora continua como Lean Manufacturing, enfocadas en la eliminación de desperdicios y la optimización de los procesos. Adicionalmente, se introdujeron métricas de seguimiento y evaluaciones periódicas para identificar cuellos de botella y aplicar soluciones inmediatas. Los beneficios incluyen una mayor productividad, una reducción en los costos operativos y una mejora significativa en la capacidad de respuesta ante la demanda.

3.2.2 Resultados de validación de la herramienta SMED

El tiempo requerido para los cambios rápidos de herramientas (SMED) disminuyó drásticamente, de 154.35 minutos a 62.35 minutos, logrando una reducción del 59.60%. Esta mejora fue posible mediante la capacitación del personal en técnicas de estandarización de procesos, la implementación de herramientas especializadas y la redistribución de actividades para realizarlas en paralelo o fuera del tiempo productivo. Entre los beneficios obtenidos destacan una mayor flexibilidad en la producción, una disminución en los tiempos muertos y un incremento en la capacidad de satisfacer demandas personalizadas sin comprometer la eficiencia.

3.2.3 Resultados de validación de la herramienta mantenimiento planificado

El tiempo destinado al mantenimiento planificado se redujo de 1920 minutos a 1440 minutos, representando una mejora del 25.00%. Esto se consiguió mediante la adopción de un enfoque preventivo en lugar de correctivo por el cual se estableció que su realización 2 veces al día a fin de garantizar la operatividad de la máquina de molido. Además, se estandarizaron las tareas de mantenimiento y se optimizó la programación de las intervenciones para no interferir con las horas de operación. Los beneficios más destacados fueron una disminución en la frecuencia de fallos, un incremento en la disponibilidad de los equipos y una reducción en los gastos relacionados con reparaciones no planificadas.

3.2.4 Resultados de validación de la herramienta Poka Yoke

El tiempo relacionado con el uso de mecanismos de prevención de errores (Poka Yoke) disminuyó de 64.48 minutos a 38.7 minutos, lo que equivale a una mejora del 39.98%. Esta reducción fue resultado de la instalación de dispositivos a prueba de fallos en las áreas críticas del proceso, como guías visuales y capacitación a los operarios para evitar errores humanos. Esta herramienta minimizó los defectos en los productos finales, así como también redujo significativamente el tiempo empleado en inspecciones y reprocesos.

3.3 Validación económica de la mejora

La implementación de SMED, mantenimiento planificado y Poka Yoke, generó un importante beneficio económico para la empresa, al reducir tiempos improductivos y errores operativos, lo que incrementó la eficiencia productiva al 58.33% e impulsó los ingresos. Asimismo, la disminución de costos por paradas y retrabajos mejoró la rentabilidad.

En la parte económica para poder demostrar la sostenibilidad y viabilidad del proyecto se realizará a través de una evaluación económica teniendo tanto al VAN y el TIR como principales indicadores. Para calcularlos, es necesario determinar el COK, el cual es la mínima tasa de rentabilidad que obtendrá el inversor, resultando en 11.59%.

Con los datos obtenidos del flujo de caja del escenario base y del escenario con las mejoras implementadas, se obtuvieron los siguientes indicadores económicos

presentados en la tabla 4. El cual hace posible un análisis financiero de los indicadores del proyecto que refleja una inversión altamente rentable y con un rápido retorno. A continuación, se detalla cada uno de los indicadores presentados:

Tabla 4

Indicadores económicos

Indicador económico	Valor
VANE	826,542.01
TIRE	523%
B/C E	23
PayBack	0.22 años

3.3.1 Valor actual neto económico (VAN)

El VAN del proyecto es de 826,542.01. Este valor positivo indica que el proyecto genera un excedente de ingresos sobre los costos descontados, lo que implica una ganancia neta significativa al término del periodo de análisis. Este resultado sugiere que la inversión es económicamente viable y crea valor adicional para los inversionistas.

3.3.2 Tasa interna de retorno económica (TIRE)

La TIR alcanza un impresionante 523%. Este porcentaje es considerablemente superior a la mayoría de las tasas de rendimiento requeridas, por lo que resulta atractivo este proyecto. Una TIR tan elevado indica que el retorno esperado es varias veces la inversión inicial, lo que lo convierte en una opción altamente deseable para los inversionistas.

3.3.3 Relación Beneficio/Costo Económica (B/C E)

Con una relación de 23, este indicador muestra que, por cada unidad monetaria invertida, el proyecto genera 23 unidades de beneficio. Esta relación es extremadamente favorable y sugiere una eficiencia sobresaliente en el uso de recursos, ya que el proyecto produce un beneficio muy elevado en relación con sus costos.

3.3.4 Periodo de recuperación (Payback)

El payback de 0.22 años (aproximadamente 2.64 meses) indica que el proyecto recupera la inversión inicial en un periodo muy corto. Este rápido retorno reduce el riesgo financiero, ya que los inversionistas comienzan a obtener beneficios casi de inmediato, lo cual es una característica valiosa en decisiones de inversión.

4. DISCUSIÓN

Al comparar el modelo original y el modelo mejorado, se observan mejoras significativas en la eficiencia operativa de los procesos analizados. En el modelo original, las fallas del operario de embalaje mostraban una alta incidencia de inactividad (IDLE) con un 76.98% del tiempo total dedicado a esto, mientras que en el modelo mejorado se redujo al 85.95%, lo que indica que se logró optimizar la participación del operario. Las fallas en el molino fueron particularmente problemáticas en el modelo original, con un 54.54% del tiempo afectado por fallas (FAILED). En el modelo mejorado, este tiempo se redujo al 28.42%, lo que representa una mejora considerable en la estabilidad operativa del molino. Según Afonso et al., (2022), la implementación de SMED no solo aumenta la capacidad de producción, sino que también mejora la utilización de los activos, lo cual se traduce en un mejor aprovechamiento del tiempo y la reducción de costos operacionales. El tiempo promedio de inactividad también se redujo significativamente, pasando de 154.35 horas en el modelo original a solo 62.35 horas en el modelo mejorado, lo que corresponde a una disminución del 59.60%. En cuanto al mantenimiento planificado, el modelo original tenía un tiempo total de 1920 horas de parada, mientras que el modelo mejorado redujo este tiempo a 1440 horas, lo que significa una reducción del 25%. Este cambio refleja una mejor planificación y ejecución de las actividades de mantenimiento (David et al., 2024). Finalmente, las fallas de embalaje también experimentaron una mejora, con una reducción del 39.98% en el tiempo de inactividad, pasando de 64.48 horas en el modelo original a 38.7 horas en el modelo mejorado. Por lo tanto, el impacto positivo de las mejoras implementadas se refleja en una mayor eficiencia operativa, menos tiempo de inactividad y un mejor uso de los recursos, lo que contribuye a una operación más estable y productiva.

5. CONCLUSIONES

Se concluye que la implementación de herramientas Lean permitió reducir tiempos improductivos y mejorar la eficiencia operativa. En la máquina de molido, SMED elevó la eficiencia en 41.7% al transformar actividades internas en externas, mientras que un

cronograma de cambios preventivos redujo el tiempo de mantenimiento en 20.83%. En el embalaje, el uso de Poka Yoke con guías visuales disminuyó el tiempo improductivo en 37.5%, mejorando la calidad del producto. Sin embargo, si bien los resultados obtenidos son alentadores, futuras líneas de investigación podrían enfocarse en ampliar la aplicación de estas metodologías a otras áreas del proceso productivo como el estirado e incluso incorporar herramientas de la Industria 4.0, como sensores o mantenimiento predictivo basado en inteligencia artificial. Finalmente, una próxima etapa podría centrarse en la estandarización del modelo y su escalabilidad a otras empresas del sector, promoviendo la competitividad y sostenibilidad de la industria manufacturera nacional.

6. REFERENCIAS

- Afonso, M., Gabriel, A. T., & Godina, R. (2022). Proposal of an innovative ergonomic SMED model in an automotive steel springs industrial unit. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100075>
- Bafandegan Emrooz, V., Kazemi, M., & Doostparast, M. (2025). Enhancing industrial maintenance planning: Optimization of human error reduction and spare parts management. *Operations Research Perspectives*, 14, 100336. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2025.100336>
- Cannas, V. G., Pozzi, R., Saporiti, N., & Urbinati, A. (2025). Unveiling the interaction among circular economy, industry 4.0, and lean production: A multiple case study analysis and an empirically based framework. *International Journal of Production Economics*, 282, 109537. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109537>
- Chiu, A. S.F., J. C., Aviso, K. B., Baquillas, J., & Tan, R. R. (2020). Can disruptive events trigger transitions towards sustainable consumption?. *Cleaner and Responsible Consumption*. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2020.100001>
- David, C. E., Uche, R., Nwifo, O., Ekpechi, D. A., & Kingsley, C. C. (2024). Integrating machine availability and preventive maintenance to improve productive efficiency in a manufacturing industry. *Asian Journal of Current Research*, 9(2), 91–109. <https://doi.org/10.56557/AJOCCR/2024/v9i28610>
- Dossou, P. E., Torregrossa, P., & Martinez, T. (2022). Industry 4.0 concepts and lean manufacturing implementation for optimizing a company logistics flows. *Procedia Computer Science*, 200, 358–367. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.234>
- Enache, I. C., Chivu, O. R., Rugescu, A. M., Ionita, E., & Radu, I. V. (2023). Reducing the Scrap Rate on a Production Process Using Lean Six Sigma Methodology. *Processes*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/pr11041295>

- Farrukh, A., Mathrani, S., & Sajjad, A. (2023). Green-lean-six sigma practices and supporting factors for transitioning towards circular economy: A natural resource and intellectual capital-based view. *Resources Policy*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103789>
- Guevarra, A. L. C., Prasetyo, Y. T., Ong, A. K. S., & Mariñas, K. A. (2023). Employees' preference analysis on lean six sigma program coaching attributes using a conjoint analysis approach. *Heliyon*, 9(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17846>
- Hirata, K., Kata, D., & Nakatani, J. (2025). How does future decarbonization in industries affect the climate benefits of plastic recycling? A market share-based model for the avoided burden approach of life cycle assessment. *Resources, Conservation & Recycling*, 219, 108305. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108305>
- Larizadeh, R., & Mohamadpour, B. (2025). A novel data-driven rolling horizon production planning approach for the plastic industry under the uncertainty of demand and recycling rate. *Expert Systems With Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125728>
- Mittal, A., Gupta, P., Kumar, V., Al Owad, A., Mahlawat, S., & Singh, S. (2023). The performance improvement analysis using Six Sigma DMAIC methodology: A case study on Indian manufacturing company. *Heliyon*, 9(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14625>
- Myrin, E. S., Börjesson, P., & Ericsson, K. (2022). A case study on closed-loop recycling of co-polyester plates – Assessment of material quality and life-cycle energy and greenhouse gas performance. *Cleaner Environmental Systems*, 6, 100091. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2022.100091>
- Olivares Apaza, A. B., Salas Cam, F. A., & Cabrera Gil Grados, E. M. (2023). Caso de aplicación: herramienta Poka Yoke en la micro y pequeña empresa Bohemian Brew Perú. *Ingeniería Industrial*, 44(1), 1–20.
- Pérez Hernández, M., Puchkova, A., & Parlikad, A. K. (2024). Multi-agent learning of asset maintenance plans through localised subnetworks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 127, 107362. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107362>
- Popa, R.-I., Catana, M., Cimpoesu, G., Burlea, L., & Cărauşu, C. (2021). Planning and schedule of maintenance works for injection machines. *International Journal of Manufacturing Economics and Management*, 1(2), 41–51. <https://doi.org/10.54684/ijmem.2021.1.2.41>
- Quezada Orejuela, P.E. (2022). Propuesta de un sistema de mejora continua basado en la metodología PHVA para incrementar la eficiencia en el área de producción de la empresa Plásticos Ecuatorianos S.A. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21248/1/UPS-GT003460.pdf>

- Rahardjo, B., Wang, F. K., Yeh, R. H., & Chen, Y. P. (2023). Lean Manufacturing in Industry 4.0: A Smart and Sustainable Manufacturing System. *Machines*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/machines11010072>
- Rasool, A., Satsangee, G. R., Warawa, M., Khan, A., Shah, M., Singh, A., & Ahmad, R. (2025). Design and simulation of a production line for plastic recycling with additive manufacturing. *Procedia Computer Science*, 253, 561–570. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.118>
- Salwin, M., & Kraslawski, A. (2024). Product-Service System business model for plastics industry. *Journal of Cleaner Production*, 451, 141874. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141874>
- Shahriar, M. M., Parvez, M. S., Islam, M. A., & Talapatra, S. (2022). Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study. *Cleaner Engineering and Technology*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100488>
- Sociedad Nacional de Industrias. (2022). Situación actual del sector plástico. <https://sni.org.pe/wp-content/uploads/2022/01/45-Situacion-actual-del-sector-plastico.pdf>
- Toki, G. F. I., Ahmed, T., Hossain, M. E., Alave, R. K. K., Faruk, M. O., Mia, R., & Islam, S. R. (2023). Single Minute Exchange Die (SMED): A sustainable and well-timed approach for Bangladeshi garments industry. *Cleaner Engineering and Technology*, 12, 100592. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100592>
- Tsai, J. Y., Dandekar, A., & King, R. E. (2025). VR games for teaching lean manufacturing tools: A case study of stool manufacturing. *Procedia Computer Science*, 228, 493–500. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.054>
- Velásquez, M., Zabala, N., Neira-Rodado, D., Obredor Baldovino, T., & Mercado-Caruso, N. (2022). Design of lean-based strategies to improve the flow of materials in the value chain of a furniture company in Colombia. *Procedia Computer Science*, 203, 502–507. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.07.070>
- Wang, S., Huang, X., She, B., & Li, Z. (2023). Diverged landscape of restaurant recovery from the COVID-19 pandemic in the United States. *IScience*, 26(6). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106811>




5% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text

Top Sources

- 6%  Internet sources
- 1%  Publications
- 1%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.