

# Can TPM improve packaging quality in a tinplate factory?

Flores-Cabezas Máximo<sup>1</sup>, Cavero-Chura Diana<sup>2</sup>, Valverde-Chagua Mirella<sup>3</sup>, Espinoza-Gamarra Patricia<sup>4</sup>, Perez-Cuniberti Walter<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Universidad Privada del Norte, Perú, [máximo.flores@upn.edu.pe](mailto:máximo.flores@upn.edu.pe), N00200895@upn.pe, [N00203863@upn.pe](mailto:N00203863@upn.pe), N00232861@upn.pe, [N00270927@upn.pe](mailto:N00270927@upn.pe),

**Abstract:** *In this research, the Total Productive Maintenance methodology was implemented in a tinplate packaging factory, with the purpose of improving product quality and increasing customer satisfaction. The implementation process included training of operators, improvement of equipment maintenance and optimization of machinery availability. The study was conducted due to the presence of recurring defects in production, mainly caused by worn and outdated machinery. Through quantitative and qualitative analysis, quality management tools such as Pareto and Ishikawa diagrams were used to identify the root causes of the problems, highlighting factors such as lack of preventive maintenance and inefficient personnel training. Key variables such as overall equipment efficiency, failure rate and productivity were analyzed. The results showed a 0.5% increase in the operating efficiency of the most critical machines, as well as a notable reduction in the defect rate of the final product. The research concludes that the application of TPM not only improves quality and reduces defects but also fosters a culture of continuous improvement in the company. Furthermore, the particularity of the present research is to provide an approach to ensure the long-term sustainability of the organization in the manufacturing sector, marking a significant difference with respect to previous studies by focusing on long-term solutions and a comprehensive approach to continuous improvement.*

**Key words:** *Total productive maintenance, preventive maintenance, overall equipment effectiveness, production quality, machine performance, defective products.*

# ¿Puede el TPM mejorar la calidad de los envases en una fábrica de hojalata?

*Resumen: En esta investigación se implementó la metodología de Mantenimiento Productivo Total en una fábrica de envases de hojalata, con el propósito de mejorar la calidad de los productos y aumentar la satisfacción del cliente. El proceso de implementación incluyó la capacitación de los operarios, la mejora del mantenimiento de los equipos y la optimización de la disponibilidad de la maquinaria. El estudio se realizó por la presencia de defectos recurrentes en la producción, provocados principalmente por maquinaria desgastada y desactualizada. A través del análisis cuantitativo y cualitativo, se emplearon herramientas de gestión de calidad como los diagramas de Pareto e Ishikawa para identificar las causas raíz de los problemas, destacando factores como la falta de mantenimiento preventivo y una capacitación ineficiente del personal. Se analizaron variables clave como la eficiencia global de los equipos, la tasa de fallos y la productividad. Los resultados demostraron un aumento del 0.5% en la eficiencia operativa de las máquinas más críticas, así como una notable reducción en la tasa de defectos del producto final. La investigación concluye que la aplicación del TPM no solo mejora la calidad y reduce los defectos, sino que también fomenta una cultura de mejora continua en la empresa. Además, la particularidad de la presente investigación es con el fin de brindar un enfoque para asegurar la sostenibilidad a largo plazo de la organización en el sector manufacturero, marcando una diferencia significativa respecto a estudios previos al enfocarse en soluciones de largo plazo y un enfoque integral de mejora continua.*

*Palabras clave: Mantenimiento productivo total, mantenimiento preventivo, efectividad global de los equipos, calidad de producción, rendimiento de máquina, productos defectuosos.*

## I. INTRODUCCIÓN

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una metodología clave para incrementar la eficiencia operativa en la industria manufacturera, fomentando la participación de todos los empleados en el mantenimiento, desarrollando una conciencia social en la utilización de las máquinas y equipos. Su aplicación reduce desperdicios, minimiza los costos operativos, incrementa la salida de producción y la productividad [1,2]. Además, los softwares de gestión de mantenimiento facilitan la documentación de acciones correctivas, favoreciendo la aplicación de procedimientos estándar [3]. Herramientas como la Efectividad Global de los Equipos (OEE) complementan el TPM al identificar cuellos de botella y potenciar la productividad [4].

El TPM Revisado (TPMR) ha demostrado ser eficaz en la fiabilidad del equipo y la reducción de costos por mantenimiento, brindando beneficios sustanciales a las organizaciones [5]. En un contexto de transformación digital,

la integración del TPM con tecnologías emergentes como blockchain y módulos de plataforma confiable (MPC) garantiza la seguridad de los datos sin comprometer la capacidad productiva [6]. Estas innovaciones, combinadas con el TPM, optimizan la eficiencia, minimizan los tiempos muertos y aumentan la competitividad en un mercado altamente competitivo y globalizado. La implementación conjunta de TPM y TPMR permite a las organizaciones detectar de forma preventiva los fallos o errores en la utilización de las máquinas o equipos, maximizando el rendimiento en la utilización de estos. Al adoptar un enfoque de mejora continua y prevención de fallos, las empresas pueden adaptarse a los cambios tecnológicos asegurando su sostenibilidad a largo plazo en el mercado [1,2,4,5,7].

## Revisión literaria

La implementación del TPM en un laminador de acero permitió una mayor productividad y disponibilidad de los equipos, logrando una operación eficiente. Además, permitió identificar problemas mediante el diagrama de Ishikawa y el análisis de Pareto, minimizando el tiempo de inactividad. La capacitación de los operadores mejoró sus habilidades alineando y fomentando su participación en el mantenimiento de las maquinarias y equipos [8].

En el sector alimentario en Perú, se abordaron problemas por el mínimo tiempo en el uso de las maquinarias, esta conclusión es producto de la medición de los indicadores como MTBF (Tiempo Medio Entre Fallos), MTTR (Tiempo Medio Hasta la Reparación) y OEE. Para corregir estas deficiencias, se implementaron las metodologías del TPM e intercambio de datos en un solo minuto (SMED), lo que resultó una optimización en la utilización de los equipos, el cual permitió elevar la productividad y una disminución de los tiempos operativos y los recursos utilizados [9].

En una planta, la implementación del TPM y la métrica OEE permitió identificar y eliminar actividades sin valor agregado en el ciclo de diseño. Propusieron la métrica efectividad general del equipo con valor agregado (VAOEE), lo que redujo el tiempo de ciclo de 123 a 88 minutos, manteniendo 62 minutos de actividades útiles. Como resultado, aumentaron la VAOEE del 45,72 % al 63,9 % y lograron un incremento del 39,77 % en la producción, sin afectar el tiempo operativo, rendimiento y la calidad [10].

La competencia a nivel global ha impulsado a las empresas industriales a implementar estrategias de gestión más eficaces, destacando la importancia del mantenimiento dentro de la planificación de la producción, por lo que propusieron un plan

estratégico de mantenimiento en una empresa dedicada a embragues y controles hidráulicos, aplicando el TPM en tornos y centros de mecanizado CNC, logrando como resultado reducir las averías del 23 % y 38 % en cada una de estas áreas, así como un incremento del 5 % en la OEE, concluyéndose que estas iniciativas reduce el uso de los recursos operativos incrementando la eficiencia operativa de la empresa [11].

Un estudio reveló que la mayoría de los encuestados desconocían el TPM, pero mostraron disposición para implementarlo. La falta de conocimiento y experiencia fueron identificadas como las principales barreras, aunque se destacó que el TPM puede generar mejoras significativas en productividad y eficiencia [12].

En India, se identificó la falta de conocimiento en calidad y productividad como el principal obstáculo para la implementación de TPM. Se recomendó un enfoque integral para superar estos desafíos y lograr resultados significativos en la productividad y eficiencia [13].

Otro estudio en India mostró que el 63 % de las empresas que implementaron TPM elevaron su productividad, el 56 % redujeron los costos de mantenimiento y el 47 %, concluyendo que el TPM es clave para elevar la eficiencia en empresas manufactureras [14].

En un hospital de Jakarta, la aplicación de TPM optimizó la OEE de las máquinas de ventilación; antes de la intervención, los fallos mecánicos y las pérdidas por inactividad habían reducido la efectividad de estos equipos, pero tras implementar mejoras, la OEE mostró un cambio significativo en un período de seis meses, lo que sugiere el valor de incluir la OEE como parte de los indicadores clave de desempeño (KPIs) del hospital [15].

En una planta siderúrgica en India, la implementación de TPM y SMED aumentó los tiempos operativos de los equipos, la productividad y la OEE, acercándose al estándar establecido por World Steel, demostrando así la efectividad de Lean Manufacturing [3].

En Karawang, se implementó un modelo de mantenimiento que integra el TPM, RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) y el enfoque de las cuatro disciplinas de la ejecución (4DX), lo que mejoró la confiabilidad del sistema eléctrico para clientes industriales, logrando reducir las interrupciones y observándose una disminución en el índice de frecuencia media de interrupción del sistema (SAIFI) y en el índice de duración promedio de interrupción del sistema (SAIDI), así como un aumento en el OEE, lo que evidencia la efectividad del modelo [16].

Un estudio en empresas manufactureras identificó desafíos al implementar el TPM y herramientas Lean, destacando factores clave que afectan negativamente la implementación de estas prácticas, como la percepción del valor de las auditorías y la selección adecuada de equipos. La investigación concluyó que una estrategia adecuada y la integración de tecnologías de la Industria 4.0 permite una mayor sostenibilidad y efectividad de estas herramientas en el entorno industrial [17].

Finalmente, la creciente competitividad global ha llevado a las organizaciones manufactureras a enfrentar diversas dificultades al implementar el TPM. Mediante un estudio que incluyó revisión bibliográfica, paneles de expertos y encuestas a profesionales, se identificaron obstáculos críticos tanto en la fase de planificación como en la ejecución del TPM. Los hallazgos muestran una fuerte relación causal entre los errores en la planificación y los desafíos durante la implementación, subrayando que una planificación insuficiente puede comprometer el éxito del programa [18].

## **Planteamiento del Problema**

La empresa dedicada a la fabricación de envases de hojalata enfrenta serios desafíos en su proceso de producción, los cuales se reflejan en la aparición de productos defectuosos. Las fallas recurrentes en la maquinaria han generado una alta tasa de defectos, lo que no solo afecta la calidad de los envases, sino también la satisfacción de los clientes, afectando los ingresos económicos y la rentabilidad de la empresa. Para resolver este problema y elevar la eficiencia operativa, la gerencia está considerando la implementación de la metodología del TPM, con el objetivo de elevar la capacidad en la utilización de las maquinarias para cumplir con la demanda de los pedidos por los clientes.

¿De qué manera la implementación del TPM en la empresa permite mejorar la calidad de los productos, reduciendo la cantidad de productos defectuosos y aumentando la satisfacción de los clientes de la empresa de envases de hojalata en el año 2024?

¿Existe una relación directa entre las fallas recurrentes en la maquinaria y la aparición de defectos en los productos finales?

¿Cómo influye la implementación de un programa de mantenimiento preventivo en la reducción de productos defectuosos y en la mejora de la calidad de los productos?

## **Objetivo**

La implementación del TPM en la empresa como herramienta de control y mejora, debe permitir desarrollar productos con buena calidad, reduciendo la cantidad de productos defectuosos y aumentando la satisfacción de los clientes. A través de la identificación y resolución de problemas, el TPM contribuirá a disminuir las fallas en la maquinaria, lo que se traducirá en menos defectos en los productos finales. Además, se evaluará el impacto de este enfoque en la calidad de los productos y en la satisfacción de los clientes, mediante la medición de la reducción de productos defectuosos en las áreas operativas.

## **Hipótesis**

La implementación del TPM en la empresa reduce significativamente los productos defectuosos, minimizando los

tiempos de reprocesamiento, incrementando la capacidad operativa, cumpliendo con los pedidos en las fechas señaladas, permitiendo una mayor satisfacción de los clientes. Asimismo, ayuda a reducir las fallas recurrentes en la maquinaria disminuyendo directamente los defectos en los productos finales. Por otro lado, el enfoque en el TPM contribuye de manera significativa en el análisis y evaluación cuantitativa por la utilización de las maquinarias y equipos, así como su evaluación y control por el área responsable.

## II. METODOLOGÍA

El estudio empleó un método empírico, recopilando datos como tiempo de ciclo, productividad y calidad del producto mediante observación en la línea 2 del área de litografiado, para analizar defectos en planchas de hojalata. La investigación es descriptiva y explicativa, enfocada en relaciones causa-efecto

entre variables como rendimiento de la máquina, calidad de producción y desgaste de equipos. Se utilizaron diagramas cualitativos y de flujo para identificar limitantes y analizar variables cuantitativas, como unidades defectuosas y aceptables, validando la hipótesis sobre defectos en el producto final. Es no experimental, al basarse en la observación sin manipulación de variables, y aplicada en la línea 2 del área de producción.

Se aplicaron herramientas como el Diagrama de Ishikawa (Figura 1) para identificar la causas raíz del problema, como el desgaste de equipos, y el Diagrama de Pareto (Figura 2) para identificar y priorizar las causas de mayor a menor impacto, cuyos porcentajes se detallan en la Tabla 1.

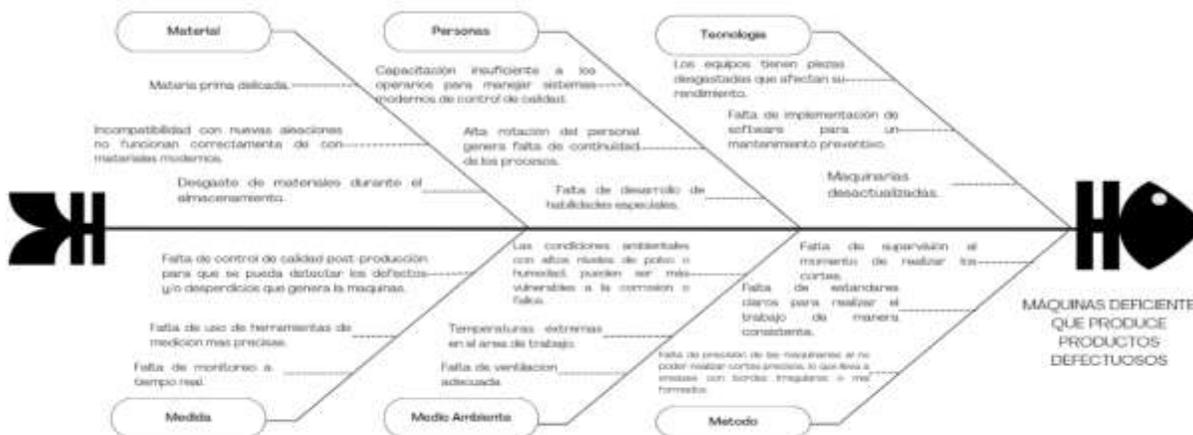


Fig. 1 Diagrama de Ishikawa

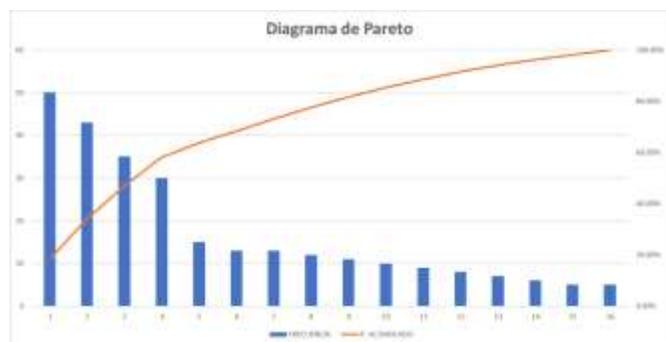


Fig. 2 Gráfica de Pareto

Tabla 1: Causas y porcentajes

Causa	Frecuencia	% Frecuencia	% Frecuencia acumulada
Maquinarias desactualizadas que no cumplan con los estándares modernos	43	15.81%	34.19%
Falta de implementación de software especializado para realiza un mantenimiento preventivo	35	12.87%	47.06%
Capacitación ineficiente al operario	30	11.03%	58.09%
Alta rotación del personal	15	5.51%	63.60%
Falta de desarrollo de habilidades especializadas	13	4.78%	68.38%
Falta de supervisión adecuada en el proceso de corte	13	4.78%	73.16%
Falta de estándares diarios	12	4.41%	77.57%
Falta de precisión en las máquinas	11	4.04%	81.62%
Falta de uso de herramientas de medición	10	3.68%	85.29%
Falta de monitoreo a tiempo real	9	3.31%	88.60%
Condiciones ambientales con altas temperaturas y polvo en el área de trabajo	8	2.94%	91.54%
Materia prima delicada	7	2.57%	94.12%

Causa	Frecuencia	% Frecuencia	% Frecuencia acumulada
Equipos desgastados	50	18.38%	18.38%



### C. Disponibilidad de máquina

Se refiere al porcentaje de tiempo en que una máquina está operativa y en funcionamiento, calculado en función del tiempo total disponible, restando el tiempo de inactividad por paradas programadas o no programadas, como el mantenimiento, reparaciones o ajustes [21]. Su formulación matemática es el siguiente:

$$A = \frac{T_{operativo}}{T_{total\ disponible}} \times 100\% \quad (3)$$

Donde:

A: Disponibilidad de las máquinas (%)

T operativo: Tiempo en que la máquina esté en funcionamiento (minutos).

T total disponible: Tiempo total que la máquina podría estar operativa, excluyendo tiempos de paro programados (minutos).

### D. Eficiencia

La eficiencia se define como la capacidad de lograr un objetivo específico utilizando la menor cantidad de recursos, como materias primas e insumos a fin de maximizar sus resultados mientras se elimina los desperdicios [22]. Su formulación matemática es el siguiente:

$$Eficiencia = \frac{Resultado\ obtenidos}{Recursos\ utilizados} \times 100\% \quad (4)$$

Donde:

Resultados obtenidos: Productos o resultados obtenidos del proceso (unidades).

Recursos utilizados: Es la cantidad de insumos utilizados en el proceso (unidades).

### E. Efectividad global de los equipos (OEE)

El OEE es una métrica clave que permite evaluar la eficiencia global de los equipos en una planta de producción. Esta medida considera tres factores fundamentales: disponibilidad, rendimiento y calidad, ayudando a identificar la desviación con respecto al objetivo de alcanzar operaciones sin defectos y sin fallas [23]. Su formulación matemática es el siguiente:

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad \quad (5)$$

Donde:

OEE: Eficiencia global de los equipos (%)

Disponibilidad: Es la proporción de tiempo operativo de la máquina (%).

Rendimiento: Nivel de eficiencia de producción en relación con la capacidad teórica (%).

Calidad: Proporción de unidades aceptables respecto al total producido (%).

### F. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es un enfoque que implica

realizar actividades planificadas para identificar los posibles fallos por el desgaste de las partes o accesorios que constituye el activo, maximizando el recurso tiempo y elevando la eficiencia operativa, para garantizando un rendimiento continuo en la producción [24].

### G. Productividad

La productividad se define como la relación entre la cantidad de bienes producidos y los insumos utilizados en el proceso. Esto implica que, dentro de las limitaciones industriales, la productividad podría superar las restricciones metodológicas, ya que se enfoca tanto en la cantidad de productos como en el tiempo necesario para su producción [25]. Su formulación matemática es el siguiente:

$$Productividad = \frac{Producción}{Insumos} \times 100\% \quad (6)$$

Donde:

Producción: Es la cantidad de productos obtenidos (envases).

Insumos: Son los recursos utilizados en el proceso productivo (lámina de hojalata).

### H. Tiempo de configuración de máquina

El tiempo de configuración de máquina se refiere al tiempo requerido para preparar una máquina para procesar un nuevo tipo de trabajo o producto. Es el tiempo improductivo necesario para ajustar y preparar una máquina entre diferentes tipos de trabajos, esto es crucial para la obtención de una mayor eficiencia en la producción [26].

### I. Tasa de fallos

La tasa de fallos tiende a disminuir con el tiempo, lo que sugiere que, después de un período inicial de uso, los equipos o sistemas suelen volverse más estables y presentar menos fallas [27]. Su formulación matemática es el siguiente:

$$Tasa\ de\ fallos = \frac{Número\ total\ de\ fallas}{Tiempo\ total\ de\ operaciones} \times 100\% \quad (7)$$

Donde:

Número total de fallas: Número total de veces que el equipo ha fallado en un período (unidades).

Tiempo total de operaciones: Tiempo acumulado en el que el equipo estuvo en funcionamiento (minutos).

### J. Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt es una herramienta gráfica que representa la planificación y el progreso de un proyecto. Cada tarea se muestra mediante una barra que indica su duración, lo que permite visualizar las dependencias y los tiempos de inactividad, facilitando la administración del tiempo y los recursos [28]. la implementación del diagrama de Gantt permite planificar y controlar las actividades, y ofrece una visualización nítida de las tareas, sus dependencias y los intervalos de inactividad dentro de un proyecto.

A continuación, se detalla el procedimiento para el mantenimiento de máquinas de envases de hojalata y la utilización del indicador OEE como medio de evaluación y control. La eficiencia general del equipo es clave en el TPM para evitar seis grandes pérdidas [4]. El primer paso es elaborar el diagrama de Ishikawa para identificar problemas, seguido del diagrama de Pareto para priorizar los más relevantes, lo cual es crucial en la utilización de los activos en los procesos de manufactura [29]. Luego, el diagrama de causalidad permite comunicar la implementación a la gerencia, que informará al personal. En el segundo paso, el mantenimiento autónomo restaura y previene el deterioro de los equipos, elevando el tiempo operativo y el número de intervenciones [30]. El tercer paso es el mantenimiento planificado, que con acciones preventivas y coordinadas permitió reducir las fallas y elevar la producción [31]. En el cuarto, se capacita al personal sobre la importancia del TPM alineándolo a los objetivos económicos de la organización, ya que su implementación genera efectos positivos en el uso de los recursos productivos minimizando su impacto económico en el área [32]. En el quinto, se definen metas y políticas para alinear indicadores de desempeño con el compromiso del TPM. El sexto paso consiste en ejecutar un plan maestro detallado. En el séptimo, se cuantifican fallas y errores para medir y evaluar el progreso en el uso de los activos [33]. El octavo paso establece un programa de mantenimiento para operarios, mientras que el noveno capacita al personal para un mejor uso del equipo. En el décimo paso, la gestión de equipos busca un alto rendimiento de los activos disponibles. El undécimo paso se centra en seguridad, salud y medio ambiente, generando condiciones seguras y eliminando riesgos. Finalmente, el duodécimo paso implementa el TPM en la administración para involucrar a toda la empresa en una cultura de mejora continua. Se realizan revisiones periódicas de las máquinas y se evalúa el impacto en la eficiencia por su utilización.

Formulación matemática

$$TPM = \frac{T_{op}}{T_{total}} \times \frac{1-P_{def}}{P_{total}} \times \frac{1-F_{maquinaria}}{M_{total}} \quad (8)$$

Donde:

TPM: Mantenimiento productivo total (%)

T op: Tiempo efectivo de operación de las máquinas (minutos).

T total: Tiempo total de operación planificado (minutos).

P def: Cantidad de productos defectuosos (unidades).

P total: Total de productos fabricados (unidades).

F maquinaria: Frecuencia de fallos de la máquina (unidades).

M total: Cantidad total de mantenimientos programados y correctivos en unidades (unidades).

### III. RESULTADOS

A continuación, se presentará el comportamiento de las variables. Como se observa en la Figura 4, se compara el rendimiento de dos máquinas.

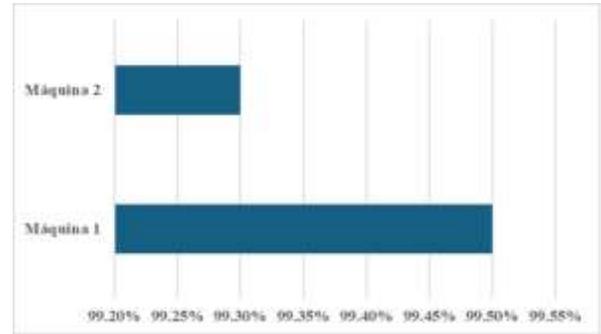


Fig. 4 Rendimiento de máquina

Tal y como se refleja en la Figura 5, se presenta la calidad de producción de ambas máquinas.

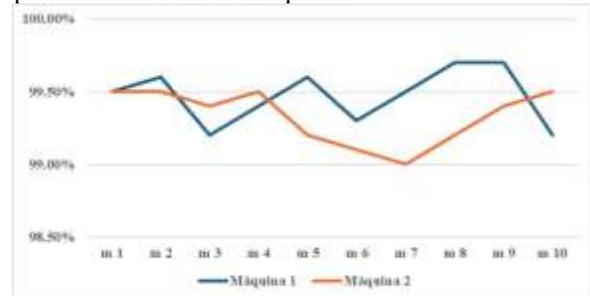


Fig. 5 Calidad de producción

Como se observa en la Figura 6, se presenta los porcentajes de disponibilidad de ambas máquinas.

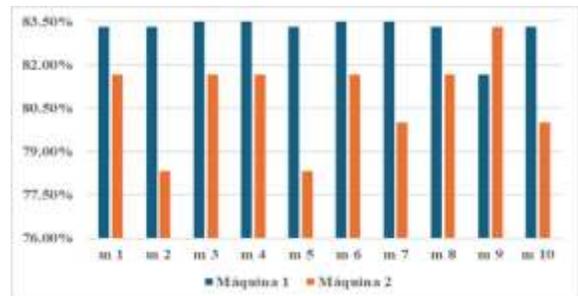


Fig. 6 Disponibilidad de máquina

A medida que avanzamos hacia la Figura 7, se observa la eficiencia de ambas máquinas.

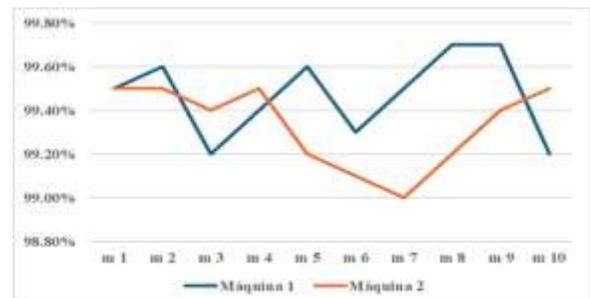


Fig. 7 Eficiencia

En la Figura 8, presenta el OEE de ambas máquinas.

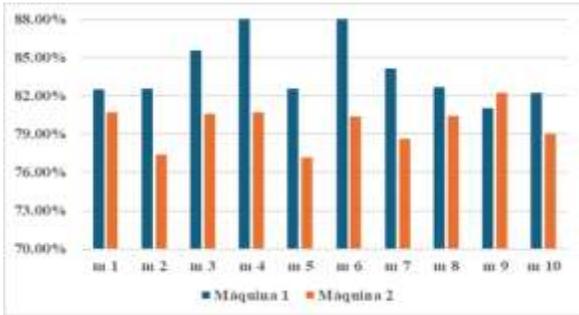


Fig. 8 Efectividad global de los equipos (OEE)

En la Figura 9, se muestra la productividad de ambas máquinas a lo largo de tiempo.

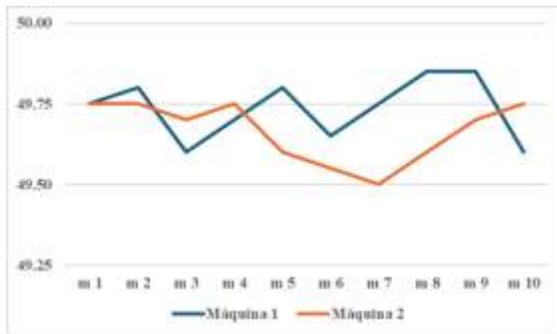


Fig. 9 Productividad

La Figura 10, muestra la tasa de fallos de ambas máquinas.

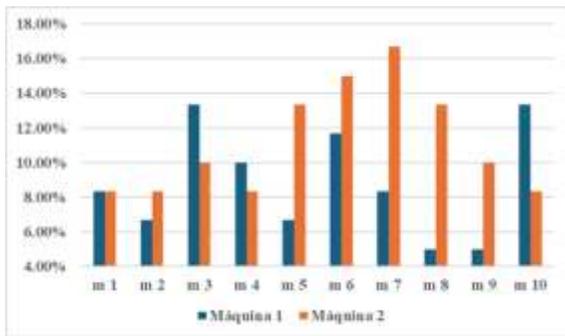


Fig. 10 Tasa de fallos

En la Figura 11 se presenta la evolución del TPM de ambas máquinas.

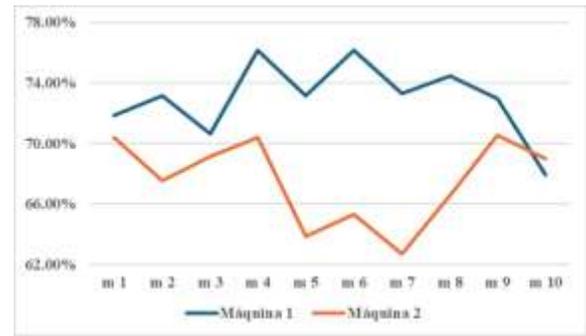


Fig. 11 Mantenimiento productivo total (TPM)

Finalmente, en la Figura 12 se presenta un plan de implementación del TPM, dividido en 8 fases que se desarrolló a lo largo de 3 meses.

PROYECTO : Implementacion del TPM		IMPLEMENTACION												
<b>Objetivo:</b> Establecer cómo la implementación del TPM en la empresa contribuirá a elevar la calidad de los productos, disminuir la cantidad de defectos y mejorar la satisfacción de los clientes.		2024												
		Semana												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
PLANES DE ACCION		Implementación a nivel piloto												
1.	Identificación de problemas y fallas en la	■	■											
2.	Planificación de la implementación del TPM		■	■										
3.	Implementación de TPM en áreas específicas			■	■	■								
4.	Capacitación del personal en el uso de TPM				■	■	■							
5.	Monitoreo de defectos y evaluación de calidad					■	■	■	■					
6.	Evaluación del impacto en satisfacción del cliente						■	■	■	■				
7.	Análisis de resultados y ajuste en el proceso									■	■	■		
8.	Documentación de resultados y recomendaciones											■	■	

Fig. 12 Diagrama de Gantt

#### IV. DISCUSIÓN

La aplicación del TPM permitió incrementar la utilización de las máquinas y equipos disponibles en el área, la calidad, disminuyendo los defectos e incrementar la satisfacción del cliente, analizando métricas como rendimiento, calidad, tiempo de utilización, eficiencia, productividad y tasa de fallos en dos máquinas. La Máquina 1 mostró un rendimiento superior (99.30% vs. 99.50%), calidad estable (99.2%-99.7%) con una disponibilidad para su uso de forma más consistente (81.67%-91.67%), mientras que la Máquina 2 mejoró progresivamente en calidad (99.0%-99.5%) pero presentó fluctuaciones (78.33%-83.33%) y eficiencia (99.0%-99.5%) [34,35]. El OEE de la Máquina 1 se mantuvo alto (81.01%-90.57%), frente a valores inferiores en la Máquina 2 (77.16%-82.25%), y su productividad fue mayor (49.60-49.85 unidades/hora vs. 49.50-49.75 unidades/hora), con una tasa de fallos más baja (5%-13.33% vs. 8.33%-16.67%) [36,37]. El plan de implementación del TPM, distribuido en ocho fases y 12 semanas, incluyó identificación de problemas, capacitación y monitoreo, destacando la importancia del mantenimiento preventivo y la participación del personal [38,39]. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que reportan en el incremento en el OEE

## REFERENCIAS

posterior al mantenimiento autónomo y capacitación [40], así como problemas relacionados con prácticas deficientes [41]. Técnicas como FMEA, SMED, diagramas de Pareto y "5 porqués" han demostrado ser efectivas para optimizar procesos y reducir costos [42,43,44], mientras que la planificación y monitoreo son clave para la gestión de producción [45]. Aunque el TPM ha sido efectivo para elevar la eficiencia y productividad [46], se enfrentó resistencia al cambio y limitaciones por la falta de monitoreo en tiempo real, resaltando la necesidad de tecnología de soporte y la integración de metodologías como Kaizen para la mejora continua [47,48]. Las escaseces de la información, la falta de estandarización de los tiempos de ejecución por actividad en la utilización de las máquinas y la exigencia por la producción de los jefes de áreas al personal operativo son factores que limitaron el tiempo para el levantamiento de la información.

## V. CONCLUSIÓN

La implementación del TPM en la empresa de envases de hojalata ha demostrado ser esencial para la evaluación y control en la maximización por la utilización de los activos, permitiendo reducir el tiempo por fallos, minimizar los defectos y su reprocesamiento, incrementando la capacidad de producción, calidad de los productos, y respuesta a los clientes en tiempo y cantidad en un sector altamente competitivo. Un análisis de las máquinas reveló que la Máquina 1 mantuvo un rendimiento del 99.50%, mientras que la Máquina 2 mejoró su rendimiento del 99.30% al 99.50%, reduciendo significativamente su tasa de fallos inicialmente más alta. Las mediciones a través de estos indicadores evidencian el impacto positivo del TPM en la fiabilidad del equipo y la eficiencia operativa. La aplicación del TPM incluyó herramientas metodológicas para identificar problemas, optimizar procesos y capacitar al personal, fomentando su participación en el mantenimiento y la mejora continua. El uso de KPIs permitió monitorear el progreso y ajustar estrategias, asegurando el cumplimiento de los objetivos de calidad y eficiencia. En conclusión, el TPM no solo ha permitido reducir los fallos e incrementar el tiempo de utilización de los activos sino también mejorar la calidad, sino que también ha promovido una cultura de mejora continua y colaboración, garantizando el crecimiento a largo plazo de la empresa y sirviendo como modelo para el sector.

Para investigaciones futuras, se recomienda explorar la integración del TPM con tecnologías de Industria 4.0, como herramienta de evaluación y control, lo cual podría reducir los tiempos de inactividad y aumentar la precisión en la gestión de equipos [49]. Además, el uso de lógica difusa para evaluar los indicadores de mantenimiento podría ofrecer diagnósticos más precisos en industrias con sistemas complejos y altos niveles de incertidumbre, facilitando una implementación más efectiva del TPM [50].

- [1] Moso, M., y Olanrewaju, O. A. (2024). An application of lean techniques to construct an integrated management systems preventive action model and evaluation: Kaizen Projects. *Processes*, Volumen 12(6), Pp. 1-9. <https://doi.org/10.3390/pr12061069>.
- [2] Singh, S., Agrawal, A., Sharma, D., Saini, V., Kumar, A., y Praveenkumar, S. (2022). Implementation of Total Productive Maintenance Approach: Improving overall equipment efficiency of a metal industry. *Inventions*, Volumen 7(4), Pp. 1-14. <https://doi.org/10.3390/inventions70401192>.
- [3] Rathi, S. S., Sahu, K., y Kumar, S. (2024). Implementation of lean manufacturing methods to improve rolling mill productivity. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, Volumen 11(11), Pp. 243-256. <https://doi.org/10.19101/ijatee.2023.10102004>.
- [4] Shreelakshmi, S., y Chatterjee, A. (2020). Analysis of the overall equipment effectiveness to Minimize six big losses of cookie capper Machine-A case study in manufacturing industry. *Proceedings on Engineering Sciences*, Volumen 2(4), Pp. 373-378. <https://doi.org/10.24874/pes02.04.004>.
- [5] Shannon, N., Trubetskaya, A., Iqbal, J., y McDermott, O. (2023). A total productive maintenance y reliability framework for an active pharmaceutical ingredient plant utilising design for lean Six Sigma. *Heliyon*, Volumen 9(10), Pp. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20516>.
- [6] Wang, Y., Yan, Y., Zhang, Y., Tian, M., y Liu, X. (2024). Ensuring Cross-Chain transmission technique utilizing TPM and establishing Cross-Trust root security via SM algorithm. *Electronics*, Volumen 13(15), Pp. 1-19. <https://doi.org/10.3390/electronics13152978>.
- [7] Rakyta, M., Bubenik, P., Binasova, V., Gabajova, G., y Staffenova, K. (2024). The change in maintenance strategy on the efficiency and quality of the production system. *Electronics*, Volumen 13(17), Pp. 1-27. <https://doi.org/10.3390/electronics13173449>.
- [8] Rathi, S., Sahu, M. K., y Kumar, S. (2023). Implementation of total productive maintenance to improve productivity of rolling mill. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Volumen 30(06), Pp. 882-890. <https://doi.org/10.56042/ijems.v30i6.3158>.
- [9] Castañeda, S., Rodriguez, S., Yildiz, O., Aranda, D., y Alvarez, J. C. (2024). Increase of the availability of machinery in a food company applying the TPM, SMED and RCM methodologies. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, Volumen 72(8), Pp. 128-138. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v72i8p114>.
- [10] Hung, Y., Li, L. Y., y Cheng, T. (2022). Uncovering hidden capacity in overall equipment effectiveness management. *International Journal of Production Economics*, Volumen 248, Pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108494>.
- [11] Pinto, G. F., Silva, F. J., Fernandes, N. O., Casais, R. C. B., Silva, A. B., y Carvalh, C. J. (2020). Implementing a maintenance Strategic Plan using TPM methodology. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, Volumen 11(3), Pp. 192-204. <https://doi.org/10.24867/ijiem-2020-3-264>.
- [12] Zolkaflı, U. K., Zakaria, N., y Mohd, M. S. (2021). The adoption of total productive maintenance (TPM) concept for maintenance procurement of green buildings in Malaysia. *International Journal of Sustainable Construction Engineering Technology*, Volumen 12(1), Pp. 40-55. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2021.12.01.005>.
- [13] Rathi, R., Singh, M., Sabique, M., Amin, M. A., Saha, S., y Krishnaa, M. H. (2021). Identification of total productive maintenance barriers in Indian manufacturing industries. *Materials Today Proceedings*, Volumen 50, Pp. 736-742. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.222>.
- [14] Mishra, R. P., Gupta, G., y Sharma, A. (2021). Development of a Model for Total Productive Maintenance Barriers to Enhance the Life Cycle of Productive Equipment. *Procedia CIRP*, Volumen 98, Pp. 241-246. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.037>.
- [15] Prabowo, H. A., Fahturizal, I. M., y Kurnia, H. (2024). Authorship correction: Application of the total productive maintenance to increase the overall value of equipment effectiveness on ventilator. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Volumen 23(1), Pp. 120-129. <https://doi.org/10.25077/josi.v23.n1.p120-129.2024>.

- [16] Musthopa, N., Harsanto, B., y Yunani, A. (2023). Electric power Distribution maintenance model for industrial customers: Total Productive Maintenance (TPM), Reliability-centered Maintenance (RCM), and four-discipline Execution (4DX) approach. *Energy Reports*, Volumen 10, Pp. 3186-3196. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.09.129>.
- [17] Slavina, T., y Štefanić, N. (2024). Facing challenges of implementing total productive management and lean tools in manufacturing enterprises. *Systems*, Volumen 12(2), Pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/systems12020052>.
- [18] Arromba, I. F., Anholon, R., Rampasso, I. S., Silva, D., Quelhas, O. L. G., Santa-Eulalia, L. A., y Filho, W. L. (2021). Difficulties observed when implementing Total Productive Maintenance (TPM): Empirical evidences from the manufacturing sector. *Gestão & Produção*, Volumen 28(3), Pp. 1-15. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2021v28e5300>.
- [19] Liu, H., y Gershenfeld, N. (2020). Performance comparison of subtractive and additive machine tools for Meso-Micro machining. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, Volumen 4(1), Pp. 1-26. <https://doi.org/10.3390/jmmp4010019>.
- [20] Guo, K., Li, H., Li, B., y Liang, N. (2024). RESNET-101 Based Anomaly Detection in Additive Manufacturing: Thermal modeling for quality control in heat exchanger production. *Thermal Science and Engineering Progress*, Volumen 55, Pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102923>.
- [21] Almashaqbeh, S., y Hernández, E. M. (2024). Evaluation and improvement of a plastic production system using Integrated OEE methodology: a case study. *Management Systems in Production Engineering*, Volumen 32(3), Pp. 450-463. <https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0042>.
- [22] Teng, Z., Zhang, N., Zhang, L., Zhang, L., Liu, S., Fu, T., Wang, Q., y Gao, T. (2024). Integrated multi-omics reveals new ruminal microbial features associated with peanut vine efficiency in dairy cattle. *Life*, Volumen 14(7), Pp. 1-16. <https://doi.org/10.3390/life14070802>.
- [23] Ribeiro, P., Sá, J., Ferreira, L., Silva, F., Pereira, M., y Santos, G. (2019). The Impact of the Application of Lean Tools for Improvement of Process in a Plastic Company: a case study. *Procedia Manufacturing*, Volumen 38, Pp. 765-775. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.104>.
- [24] Veseli, A., Bajraktari, A., y Petkoska, A. T. (2024). The implementation of lean manufacturing on zero waste technologies in the food processing industry: Insights from food processing companies in Kosovo and North Macedonia. *Sustainability*, Volumen 16(14), Pp. 1-21. <https://doi.org/10.3390/su16146016>.
- [25] Hussain, Z. (2019). Developing a novel based productivity model by investigating potential bounds of production plant: a case study. *International Journal of Production Management and Engineering*, Volumen 7(2), Pp. 151-159. <https://doi.org/10.4995/ijpme.2019.10911>.
- [26] Lee, D., Lee, D., y Kim, K. (2023). Self-growth learning-based machine scheduler to minimize setup time and tardiness in OLED display semiconductor manufacturing. *Applied Soft Computing*, Volumen 145, Pp. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110600>.
- [27] Merizalde, Y., Hernández-Callejo, L., Duque-Perez, O., y Alonso-Gómez, V. (2019). Maintenance models applied to wind turbines. A comprehensive overview. *Energies*, Volumen 12(2), Pp. 1-41. <https://doi.org/10.3390/en12020225>.
- [28] Prause, D. M., Santos, R., y Rodrigues, E. R. (2023). Scheduling choice method for flexible job shop problems using a fuzzy decision maker. *Intelligent Systems with Applications*, Volumen 21, Pp. 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2023.200302>.
- [29] Mendes, D., Gaspar, P. D., Charrua-Santos, F., y Navas, H. (2023). Integrating TPM and industry 4.0 to increase the availability of industrial Assets: a case study on a conveyor belt. *Processes*, Volumen 11(7), Pp. 1-21. <https://doi.org/10.3390/pr11071956>.
- [30] Samadhiya, A., Agrawal, R., Luthra, S., Kumar, A., Garza-Reyes, J. A., y Srivastava, D. K. (2022). Total productive maintenance and Industry 4.0 in a sustainability context: exploring the mediating effect of circular economy. *The International Journal of Logistics Management*, Volumen 34(3), Pp. 818-846. <https://doi.org/10.1108/ijlm-04-2022-0192>.
- [31] Al-Refai, A., Lepkova, N., y Camlibel, M. E. (2022). The Relationships between the Pillars of TPM and TQM and Manufacturing Performance Using Structural Equation Modeling. *Sustainability*, Volumen 14(3), Pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/su14031497>.
- [32] Ondra, P. (2022). The Impact of Single Minute Exchange of Die and Total Productive Maintenance on Overall Equipment Effectiveness. *Journal of Competitiveness*, Volumen 14(3), Pp. 113-132. <https://doi.org/10.7441/joc.2022.03.07>.
- [33] Samadhiya, A., Agrawal, R., Kumar, A., y Garza-Reyes, J. A. (2023). Blockchain technology and circular economy in the environment of total productive maintenance: a natural resource-based view perspective. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Volumen 34(2), Pp. 293-314. <https://doi.org/10.1108/jmtm-08-2022-0299>.
- [34] Sumasto, F., Safitri, I. N., Imansuri, F., Pratama, I. R., Wulansari, I., Solih, E. S., y Dzulfikar, A. (2024). Enhancing Overall Equipment Effectiveness in Indonesian Automotive SMEs: A TPM Approach. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, Volumen 57(2), Pp. 383-396. <https://doi.org/10.18280/jesa.570208>.
- [35] Tian, Z. X., y Jeng, C. F. (2021). Implementing total productive maintenance in a manufacturing small or medium-sized enterprise. *Journal of Industrial Engineering and Management*, Volumen 14(2), Pp. 152-175. <https://doi.org/10.3926/jiem.3286>.
- [36] Yang, Y. y Yang, B. (2024). Employee participation in total productive maintenance – a bottom-up perspective. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Volumen 41(1), Pp. 269-290. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-12-2022-0353>.
- [37] Pačaiová, H., y Ižaríková, G. (2019). Base Principles and Practices for Implementation of Total Productive Maintenance in Automotive Industry. *Quality Innovation Prosperity*, Volumen 23(1), Pp. 45–59. <https://doi.org/10.12776/qip.v23i1.1203>.
- [38] Schindlerová, V., Šajdlerová, I., Michalčík, V., Nevima, J., y Krejčí, L. (2020). Potential of using TPM to increase the efficiency of production processes. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette*, Volumen 27(3), Pp. 737-743. <https://doi.org/10.17559/tv-20190328130749>.
- [39] Vaz, E., Vieira De Sá, J.C., Santos, G., Correia, F. y Ávila, P. (2023). The value of TPM for Portuguese companies. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volumen 29(1), Pp. 286-312. <https://doi.org/10.1108/JQME-12-2020-0121>.
- [40] Avichena, M. H. I., y Pudji, W. E. (2020). Machine effective analysis using OEE and six big losses methods in the filter making factory. *Nusantara Science and Technology Proceedings*, Volumen 2020, Pp. 280-287. <https://doi.org/10.11594/nstp.2020.0544>.
- [41] Orhadahwe, T. A., Adeleke, A. A., Ikubanni, P. P., y Agboola, O. O. (2020). Evaluating the effectiveness of maintenance practices: case study of a university power generating plant. *Engineering And Applied Science Research*, Volumen 47(2), Pp. 170-174. <https://doi.org/10.14456/easr.2020.18>.
- [42] Suryaprakash, M., Prabha, M. G., Yuvaraja, M., y Revanth, R. R. (2020). Improvement of overall equipment effectiveness of machining centre using TPM. *Materials Today Proceedings*, Volumen 46, Pp. 9348-9353. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.820>.
- [43] Mwasubila, I. J., Taifa, I. W., y Kundi, B. A. (2022). An analytical study on establishing strategies for improving the productivity of the spinning industries. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, Volumen 40(1), Pp. 1-28. <https://doi.org/10.1504/ijise.2022.120804>.
- [44] Zaheer, S., Amjad, M. S., Rafique, M., y Khan, M. (2020). A K-Chart based implementation framework to attain lean & agile manufacturing. *International Journal of Production Management and Engineering*, Volumen 8(2), Pp. 123-135. <https://doi.org/10.4995/ijpme.2020.12935>.
- [45] Lukmandono, N., Prabowo, R., y Sulistyowati, E. (2020). Analysis of Total Productive Maintenance (TPM) and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to improve machine effectiveness: A study on Indonesia's sugar mills. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, Volumen 885(1), Pp. 1-10. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/885/1/012063>.
- [46] Pramod, K., Dharmendra, S., y Jaiprakash, B. (2022). Application of Kaizen lean approach to reduce rejections and failure cost at shop floor of a wire harness manufacturing. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Volumen 29(01), Pp. 116-123. <https://doi.org/10.56042/ijems.v29i1.46042>.

- [47] Pinto, G. F., Silva, F. J., Baptista, A., Fernandes, N. O., Casais, R., y Carvalho, C. (2020). TPM implementation and maintenance strategic plan – a case study. *Procedia Manufacturing*, Volumen 51, Pp. 1423-1430. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.198>.
- [48] Sukma, D. I., Prabowo, H. A., Setiawan, I., Kurnia, H., y Faturizal, I. M. (2022). Implementation of Total Productive Maintenance to Improve Overall Equipment Effectiveness of Linear Accelerator Synergy Platform Cancer Therapy. *International Journal of Engineering*, Volumen 35(7), Pp. 1246-1256. <https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.07a.04>.
- [49] Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., Cauchick, P. A., Kurnia, S., y Jurburg, D. (2021). Integration of industry 4.0 technologies into total productive maintenance practices. *International Journal of Production Economics*, Volumen 240, Pp. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108224>.
- [50] De Souza, E. O., Fortes, M. Z., y De Lima, G. B. A. (2020). Application based on fuzzy logic to evaluate implementation of TPM in industries. *ITEGAM-JETIA*, Volumen 6(22), Pp. 35-41. <https://doi.org/10.5935/2447-0228.20200015>.