

Impact of Total Productive Maintenance on OEE in a Dairy Packaging Line

Noe Romani Quillca¹, Jhon Junior Rupay Espino², Lucerito Katherine Ortiz Garcia³

^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú. Lima, ¹U19204585@utp.edu.pe, ²U19303181@utp.edu.pe, ³C25072@utp.edu.pe

Abstract– *The present study evaluates the influence of Total Productive Maintenance (TPM) on Overall Equipment Effectiveness (OEE) in the 946 ml Edge packaging line of Laive S.A., Lima, during 2024. The main objective is to identify and mitigate operational issues such as equipment failures, startup delays, and unplanned downtime—factors that limit production efficiency. With a non-experimental research design, employing a quantitative, descriptive, and longitudinal approach, this project utilizes historical records and corporate digital tools to measure the initial OEE state. The data collected is compared with the results obtained after the TPM implementation, addressing three key dimensions: availability, performance, and quality. The strategies include technical training in autonomous maintenance, preventive activity planning, and the deployment of incremental improvements through methodologies such as root cause analysis. The results show an increase in OEE from 49% to 56.4%, exceeding the initial target of 55%. A significant reduction in unplanned downtime was achieved, decreasing from 666 annual hours to monthly values between 32 and 68 hours. Performance demonstrated an improvement in operational stability, reaching 99.7%, while quality increased from 99.5% to 99.8%, reducing non-conforming product rejections and waste. It is concluded that TPM implementation not only enhances operational efficiency but also contributes to sustainability by extending equipment lifespan, optimizing resource utilization, and aligning operations with international standards such as ISO 55000. Additionally, it highlights the importance of engagement at all organizational levels in maintenance management and the adoption of continuous improvement practices as key pillars for competitiveness in the industry.*

Keywords– Overall Equipment Effectiveness, Total Productive Maintenance, Equipment Availability, Operational Performance, Product Quality

Impacto del Mantenimiento Productivo Total en el OEE en una Línea de Envasado Lácteo

Noe Romani Quilca¹, Jhon Junior Rupay Espino², Lucerito Katherine Ortiz Garcia³
^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú. Lima, ¹U19204585@utp.edu.pe, ²U19303181@utp.edu.pe, ³C25072@utp.edu.pe

Resumen— El presente estudio evalúa la influencia del Mantenimiento Productivo Total (TPM) en la Efectividad Global de los Equipos (OEE) en la línea de envasado Edge de 946 ml de Laive S.A., Lima, durante el año 2024. El objetivo principal es identificar y mitigar problemas operativos como fallos en los equipos, demoras en el arranque de operaciones y paradas no programadas, factores críticos que afectan la eficiencia productiva. La investigación adopta un diseño no experimental, con un enfoque cuantitativo, descriptivo y longitudinal. Se emplean registros históricos y herramientas digitales corporativas para establecer la línea base del OEE. Posteriormente, los datos recolectados se comparan con los resultados obtenidos tras la implementación del TPM, analizando tres dimensiones clave: disponibilidad, rendimiento y calidad. Las estrategias implementadas incluyen la capacitación en mantenimiento autónomo, la planificación estructurada de actividades preventivas y la aplicación de mejoras incrementales basadas en metodologías como el análisis de causa raíz. Los resultados evidencian un incremento del OEE del 49% al 56.4%, superando la meta establecida del 55%. Asimismo, se logró una reducción significativa de las paradas no programadas, pasando de 666 horas anuales a valores mensuales de entre 32 y 68 horas. El rendimiento mostró una mayor estabilidad operativa, alcanzando un 99.7%, mientras que la calidad mejoró del 99.5% al 99.8%, reduciendo rechazos de productos no conformes y mermas. Se concluye que la implementación del TPM no solo optimiza la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la sostenibilidad al extender la vida útil de los equipos, mejorar la gestión de recursos y alinear las operaciones con estándares internacionales como la norma ISO 55000. Además, se destaca la importancia de la participación de todos los niveles organizacionales en la gestión del mantenimiento y la adopción de prácticas de mejora continua como pilares fundamentales para la competitividad en la industria.

Palabras clave— Eficiencia General de los Equipos, Mantenimiento Productivo Total, Disponibilidad de los Equipos, Rendimiento Operativo, Calidad del producto.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria láctea enfrenta un entorno altamente competitivo, impulsado por una creciente demanda de productos de alta calidad y la necesidad de mejorar la eficiencia operativa. La gestión del mantenimiento desempeña un papel fundamental en la optimización de la productividad, la reducción de costos y la mejora de la competitividad empresarial [1].

En este contexto, la implementación de estrategias como el Mantenimiento Productivo Total (TPM) se ha convertido en una herramienta clave para maximizar la disponibilidad de los equipos, optimizar el rendimiento operativo y minimizar las pérdidas asociadas a fallos técnicos y paradas no programadas [2]. Este estudio analiza la influencia del TPM en la mejora de la Efectividad Global de los Equipos (OEE) en la línea de

envasado Edge de 946 ml de Laive S.A., ubicada en Lima, Perú. Diversos estudios han demostrado que la falta de un mantenimiento estructurado puede reducir significativamente la eficiencia operativa en la industria láctea, impactando la sostenibilidad y la competitividad [3]. En Canadá, por ejemplo, se han implementado estrategias de eficiencia energética para reducir costos y mejorar la sostenibilidad en la producción de lácteos [4]. En América Latina, la variabilidad en la disponibilidad de recursos y la infraestructura limitada representan desafíos adicionales para la optimización de procesos productivos [5].

El estudio adopta un enfoque metodológico cuantitativo, con un diseño no experimental, descriptivo y longitudinal. Mediante el análisis de datos históricos y el uso de herramientas digitales corporativas, se comparan los valores iniciales del OEE con los resultados obtenidos tras la implementación del TPM, evaluando su impacto en las dimensiones clave de disponibilidad, rendimiento y calidad. Estudios previos han demostrado que metodologías de mejora continua, como el análisis de causa raíz, pueden contribuir significativamente a la identificación y reducción de las principales fuentes de ineficiencia en entornos industriales [6].

Los resultados evidencian mejoras significativas en los indicadores de OEE, reflejando el impacto positivo del TPM en la reducción de paradas no programadas, el incremento de la estabilidad operativa y la mejora de la calidad del producto final. En el caso de la industria láctea, estrategias de mantenimiento estructurado han demostrado ser clave para mejorar la eficiencia y garantizar la sostenibilidad del proceso productivo a largo plazo [7]. Finalmente, esta investigación contribuye al conocimiento en el ámbito de la gestión industrial, proporcionando un modelo replicable para otras organizaciones que buscan mejorar su eficiencia operativa mediante la adopción de prácticas avanzadas de mantenimiento. Las conclusiones obtenidas validan la efectividad del TPM y ofrecen recomendaciones prácticas para su implementación en distintos contextos productivos, promoviendo una cultura de mejora continua y sostenibilidad en la industria.

II. REVISIÓN LITERARIA

La eficiencia operativa es un factor clave en la competitividad de las empresas industriales, y su optimización depende en gran medida de estrategias de mantenimiento efectivas. Diversos estudios han analizado la relación entre el TPM y el OEE, demostrando su impacto en la disponibilidad, rendimiento y calidad de los procesos productivos.

Según [8] el análisis del rendimiento de un sistema de producción de concentrado de zinc tras su modernización evidenció mejoras significativas en los indicadores de TPM y OEE. A lo largo de un año, se monitorearon tres líneas de producción, recopilando datos sobre paradas, fallas y eficiencia operativa. Como resultado, se logró un OEE superior al 70%, cumpliendo con estándares europeos y optimizando la disponibilidad y el desempeño del sistema. Este estudio valida la efectividad de la modernización para mejorar la gestión de recursos y garantizar el cumplimiento de normativas ambientales.

Por su parte, [9] investigó la relación entre TPM y OEE en empresas industriales de la República Checa, mediante una encuesta aplicada a 200 organizaciones y el análisis de datos operativos de 92 de ellas. Los hallazgos revelaron que solo el 26.5% de las empresas implementaban TPM, mientras que más del 53% no realizaban seguimiento al OEE. A pesar de esta baja adopción, el estudio identificó una correlación estadísticamente significativa entre el uso de estas herramientas y la mejora en eficiencia operativa, resaltando su potencial para incrementar la competitividad industrial.

En otro estudio, [10] evaluaron cómo el OEE contribuye al monitoreo y control del rendimiento en empresas de los sectores automotriz e industrial en la República Checa. A través del análisis de datos recopilados por sistemas de gestión, implementaron estrategias de mantenimiento programado y optimización operativa. Los resultados mostraron incrementos significativos en el OEE, con mejoras de hasta 22% en una estación y 4.8% en otra, además de beneficios adicionales como mayor productividad, reducción del tiempo de inactividad y menores costos operativos.

Desde un enfoque aplicado, [11] desarrollaron un modelo de implementación de TPM en una PyME del sector automotriz, con el objetivo de mejorar el OEE y minimizar pérdidas operativas. Durante seis meses, se recopilaron datos a través de cuestionarios, entrevistas y observaciones directas. Los resultados evidenciaron un aumento del OEE en un 40%, además de una reducción de defectos y retrabajos entre un 70% y 80% y una disminución del 75% en paradas imprevistas, demostrando la efectividad del TPM en la sostenibilidad operativa.

En el contexto peruano, [12] diseñaron un modelo de gestión de producción basado en principios de fabricación esbelta y TPM en una PyME del sector plástico. Aplicando herramientas como 5S, SMED, TPM y Jidoka, lograron un incremento del 13% en el OEE, una reducción del 48% en los tiempos de configuración y una disminución del 0.77% en defectos, evidenciando mejoras significativas en eficiencia y cumplimiento de entregas.

Por otro lado, en el sector energético, [13] exploraron la integración de OEE-ME y confiabilidad de máquinas mediante TPM en grúas móviles del sector petrolero y gasífero en Indonesia. Utilizando datos históricos y análisis de Pareto, lograron un OEE del 90.43%, alcanzando estándares de clase

mundial y reflejando una notable mejora en la eficiencia y confiabilidad de los equipos.

En síntesis, la literatura evidencia que la garantía de disponibilidad de los equipos es un factor crítico para la continuidad operativa en diversas industrias, desde la manufactura hasta la energía. La implementación de estrategias basadas en TPM no solo contribuye a maximizar el OEE, sino que también fortalece la disponibilidad, el rendimiento y la calidad, promoviendo la sostenibilidad y rentabilidad a largo plazo

A. Objetivo

Medir en cuanto mejora el OEE y sus dimensiones Disponibilidad, Rendimiento y Calidad con la herramienta TPM en la línea de envasado Edge.

B. Alcance

Esta investigación evalúa el impacto de la metodología TPM en el OEE de las nueve líneas de envasado de Laive S.A., con un enfoque específico en la línea Edge 946 ml. Para ello, se realiza un diagnóstico inicial de los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad, seguido de la implementación de TPM adaptada a esta línea y un análisis comparativo de su efecto en el OEE entre 2023 y 2024.

III. METODOLOGÍA

Se emplea un diseño de investigación no experimental, descriptivo y longitudinal, dado que los datos se observan en su entorno natural sin manipulación de variables y se analizan en distintos momentos del tiempo [14]. Para el desarrollo de la investigación se plantea la siguiente metodología, como se ilustra en la Fig. 1.

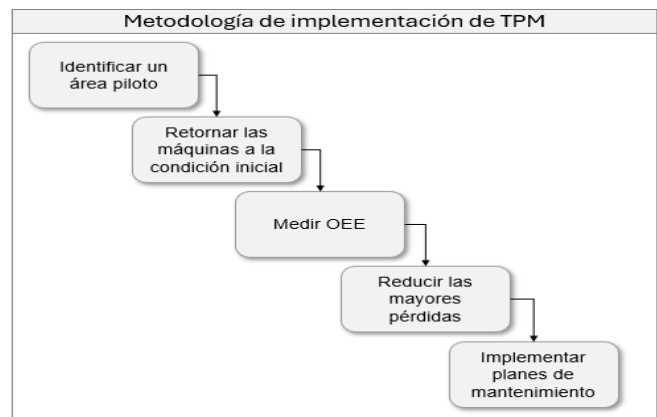


Fig. 1 Metodología de implementación TPM línea piloto Edge

A. Identificar un área piloto

Se ha elegido la línea Edge como piloto para la implementación del TPM, ya que representa el 30% de la producción de la planta UHT. Esto basado en el método de muestra por conveniencia, permite evaluar el impacto en una de las líneas de mayor capacidad. Asimismo, esta elección responde a la necesidad de adaptar la metodología TPM a las

características y requerimientos específicos de la línea, lo que facilitará una implementación más ágil y efectiva. Según [15], la implementación del TPM debe ajustarse a las particularidades de cada empresa, comenzando por las áreas más críticas y mejorando de manera continua en función de los resultados obtenidos. Al adoptar un enfoque simplificado, se busca evitar la complejidad y los largos tiempos asociados con la implementación completa de los 12 pasos establecidos en el modelo tradicional.

B. Retomar la maquina a condición inicial

Retomar la máquina a su condición inicial es un proceso clave dentro de la implementación del TPM, [16] que busca restaurar el equipo a su estado óptimo de funcionamiento, maximizando su eficiencia operativa y confiabilidad. Este proceso implica una revisión exhaustiva de la máquina, identificando desgastes, daños o fallos en componentes críticos, y realizando las reparaciones necesarias, ajustes y reemplazos de piezas. Además, se realiza una limpieza adecuada, lubricación de las partes móviles y verificación de los sistemas de control. La intervención debe registrarse de manera detallada para asegurar la trazabilidad de las acciones y facilitar futuras reparaciones. De esta manera, se busca garantizar que la máquina opere con la máxima disponibilidad, rendimiento y calidad, minimizando el riesgo de fallos imprevistos y asegurando la continuidad operativa.

C. Medir OEE

Para calcular el OEE, es fundamental identificar y clasificar las pérdidas en la planta, como se muestra en la Fig. 2. Este indicador se divide en tres dimensiones: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad [17].



Fig. 2 Las 6 grandes pérdidas

La disponibilidad refleja el tiempo en que el equipo está operativo en relación con el tiempo total programado [18]. El rendimiento evalúa la velocidad de producción, comparando la producción real con la teórica, y la calidad mide el porcentaje de productos que cumplen con los estándares, excluyendo los defectuosos [15].

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Programado} - (1) (2)}{\text{Tiempo Programado}} = \frac{B (T. Operativo)}{A (T. Programado)} \times 100 \quad (1)$$

La ecuación (1) de la disponibilidad es un aspecto clave del OEE que mide el tiempo en que un equipo opera frente al tiempo programado. Refleja la importancia de minimizar

paradas inesperadas, como fallos o mantenimientos urgentes. Una alta disponibilidad asegura una producción continua y eficiente, lo cual se logra a través de estrategias de mantenimiento preventivo [19].

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción Teórica} - (3) (4)}{\text{Producción Teórica}} = \frac{D (P. Real)}{C (P. Teórica)} \times 100 \quad (2)$$

El rendimiento, componente clave del OEE, mide si la producción se realiza a la velocidad esperada, comparando la producción real con la capacidad máxima teórica (2). Las caídas en el rendimiento pueden deberse a problemas menores o un uso ineficiente del equipo, por lo que es esencial optimizar las máquinas para mejorar su eficiencia [20].

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Producción Real} - (5) (6)}{\text{Producción Real}} = \frac{F (P. Buenos)}{E (P. Real)} \times 100 \quad (3)$$

El componente de calidad (3) del OEE mide el porcentaje de productos que cumplen con los estándares. Un bajo índice de calidad puede indicar fallos en las máquinas, procesos o materiales. Para mejorar, se requiere un enfoque preventivo que permita detectar y corregir errores tempranamente, asegurando productos de alta calidad [21].

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad} \quad (4)$$

El cálculo del OEE, según [15], es la multiplicación de los tres componentes Disponibilidad, Rendimiento y Calidad, ya que mide la eficiencia y productividad. Tal como reafirma [22], se basa en tres dimensiones: disponibilidad, que evalúa el tiempo real de operación; rendimiento, que compara la velocidad de producción con la ideal; y calidad, que mide el porcentaje de productos conformes frente al total producido. Un OEE del 95% o superior indica operaciones sin paradas, a máxima velocidad y sin defectos, mientras que un 85% ya se considera excelente y refleja alta eficiencia [17].

D. Reducir mayores pérdidas

Un diagnóstico inicial de la línea piloto Edge en términos de su disponibilidad, mediante una agrupación que permite identificar y priorizar los principales problemas que afectan su desempeño, generando paradas o dificultades operativas durante el año 2023. La tabla 1 presenta las categorías de problemas identificados, clasificados según su impacto en horas perdidas y porcentaje relativo, lo que proporciona un enfoque claro sobre las áreas más críticas que requieren atención inmediata.

TABLA I
PRINCIPALES PROBLEMAS DURANTE EL 2023

Descripción de problemas	Horas	Horas absolutas	Relativo	Acumulado
Falla de máquina	666	666	67.7%	67.7%
Demora en arranque de líneas	118	784	12.0%	79.7%
Fallo Operacional	69	852	7.0%	86.7%
Demora en cruce de líneas	49	902	5.0%	91.7%
Falta de personal	20	921	2.0%	93.7%
Falta de materia prima	20	941	2.0%	95.7%
Notificaciones tardías	10	951	1.0%	96.7%
Falla de servicios	10	961	1.0%	97.7%
Falta de material	10	970	1.0%	98.7%
Falla de material	5	975	0.5%	99.2%
Demora en formulación	5	980	0.5%	99.7%
Problema de calidad	3	983	0.3%	100.0%

Para facilitar la comprensión de los problemas identificados, se elabora un gráfico de Pareto que visualiza el 80% de los problemas que impactan la disponibilidad de la línea piloto Edge. La fig. 3 muestra de manera visual los problemas prioritarios relacionados con las paradas y dificultades operativas, lo que facilita la toma de decisiones orientadas a implementar soluciones. Al resaltar los problemas más significativos, se optimiza la asignación de recursos para abordar de manera eficiente las áreas críticas de la operación. En la fig. 4 se muestra el resultado del OEE durante el 2023.

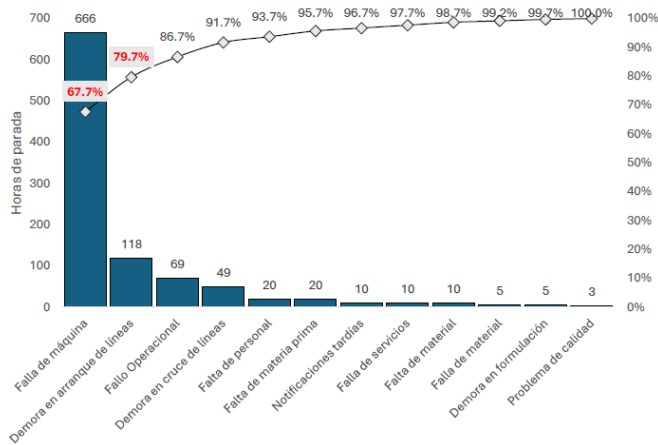


Fig. 3 Pareto de principales problemas de la línea Edge

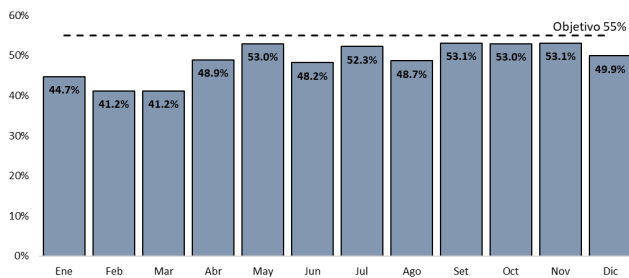


Fig. 4 % OEE durante el 2023

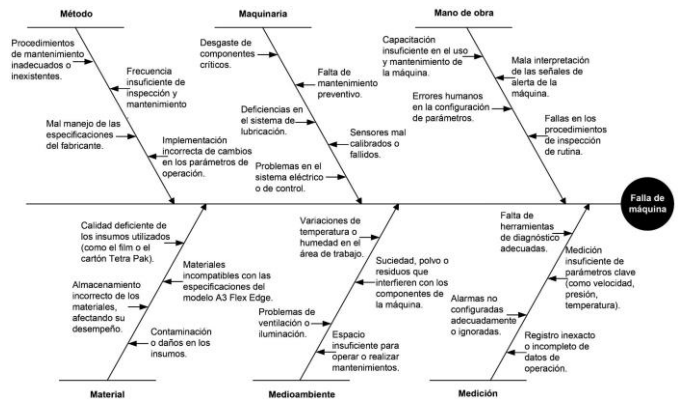


Fig. 5 Ishikawa sobre Fallos de máquina

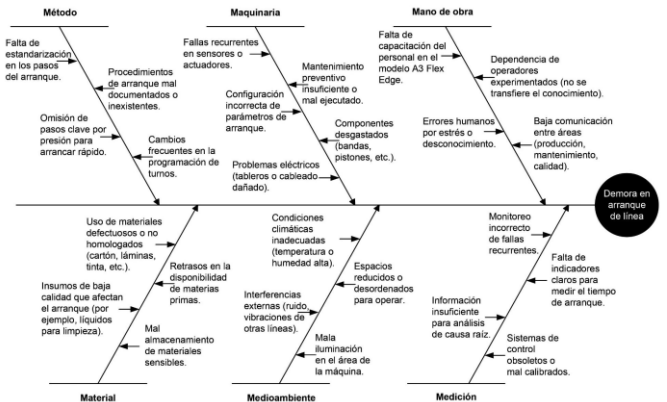


Fig. 6 Ishikawa sobre Demora arranques de línea

Tras analizar las principales causas fig. 5 y 6 que afectan el desempeño de la línea piloto Edge, se identificó que tanto las fallas de máquina como las demoras en el arranque tienen un origen común: problemas relacionados con el estado y mantenimiento de los equipos. Entre los factores clave se destacan la falta de un enfoque estructurado de mantenimiento preventivo, ya que las tareas se realizan de manera reactiva, aumentando la frecuencia de interrupciones inesperadas; la ausencia de mantenimiento autónomo por parte de los operadores, quienes no realizan de manera consistente actividades clave como lubricación, limpieza y ajustes, lo que acelera el desgaste y reduce el rendimiento; la falta de sensibilización y capacitación del personal operativo, que carece de formación en mantenimiento básico y no comprende el impacto de estas actividades en la disponibilidad y el rendimiento de los equipos; y, finalmente, el desgaste sin un monitoreo predictivo adecuado, lo que dificulta la identificación temprana de problemas antes de que afecten la operación.

E. Implementar Planes de Mantenimiento

La implementación de planes de mantenimiento efectivos, combinando Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado, es esencial para asegurar la eficiencia de los equipos. El Mantenimiento Autónomo capacitó a los

operadores en tareas básicas como limpieza y lubricación, mejorando la fiabilidad de las máquinas y reduciendo paradas inesperadas. El Mantenimiento Planificado, basado en un plan preventivo y la matriz ABC, priorizó intervenciones en equipos críticos, optimizando recursos y minimizando interrupciones. Además, el pilar de Mejora Enfocada ayudó a identificar áreas clave de mejora, mientras que el pilar de Educación y Entrenamiento garantizó que todo el personal tuviera la formación necesaria para ejecutar las tareas de manera efectiva. La implementación simultánea de estos enfoques, mostrada en la fig. 7, permitió un proceso ágil y una mejora continua en la disponibilidad y rendimiento de los equipos

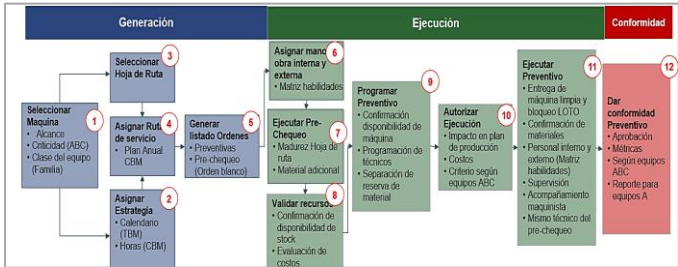


Fig. 7 Macroproceso de Mantenimiento

III. RESULTADOS

El desempeño inicial de la línea durante 2023 mostró un OEE promedio del 49%, con una Disponibilidad de 49.5%, un Rendimiento de 99.4% y una Calidad de 99.5%, lo que refleja una eficiencia general limitada. Este valor, calculado a partir de los datos mensuales a lo largo del año, sirve como línea base para el análisis. La fig. 7 resume el OEE anual del 2023 vs 2024 y sus dimensiones.

TABLA II
VALORES MENSUALES DE OEE 2023 VS 2024

Meses	Año 2023 (Sin TPM)	Año 2024 (Con TPM)	Variación
Ene	44.7%	52.4%	7.7%
Feb	41.2%	52.2%	11.0%
Mar	41.2%	51.9%	10.7%
Abr	48.9%	58.8%	9.9%
May	53.0%	54.5%	1.5%
Jun	48.2%	56.2%	8.0%
Jul	52.3%	55.9%	3.6%
Ago	48.7%	56.2%	7.5%
Set	53.1%	55.8%	2.7%
Oct	53.0%	56.5%	3.6%
Nov	53.1%	61.0%	8.0%
Dic	49.9%	65.2%	15.3%

Con los datos de la tabla 2, se realiza la prueba T-student tabla 3, sugieren que la implementación de TPM tuvo un efecto positivo y significativo sobre los niveles de OEE. La comparación de los datos mensuales entre 2023 (pre-TPM) y 2024 (post-TPM) mediante una prueba t pareada muestra un incremento promedio del 7.44%, con una diferencia

estadísticamente significativa ($t(11) = 7.16, p < 0.001$). Esto indica que TPM contribuyó de manera efectiva a mejorar el desempeño de los equipos.

TABLA III
RESULTADOS DE PRUEBA T-STUDENT PARA MUESTRAS DEPENDIENTES

Comparación	Media diferencia	t	gl	p
OEE 2023 vs 2024	7.44%	7.16	11	$p < 0.001$

Después de la implementación de la herramienta de TPM, se observó que la variación del OEE y aumento considerable de (7.4%), esto también se puede apreciar en las dimensiones de Disponibilidad (7.2%), Rendimiento (0.3%) y Calidad (0.3%), ver tabla 4.

TABLA IV
RESUMEN DEL OEE Y DIMENSIONES 2023 VS 2024

Descripción	Año 2023 (Sin TPM)	Año 2024 (Con TPM)	Variación
Disponibilidad	49.5%	56.7%	7.2%
Rendimiento	99.4%	99.7%	0.3%
Calidad	99.5%	99.8%	0.3%
OEE	49.0%	56.4%	7.4%

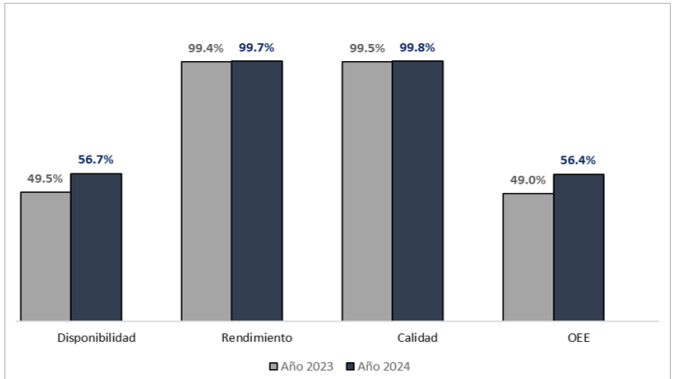


Fig. 8 Macroproceso de Mantenimiento

TABLA V
RESULTADO PARADAS NO PROGRAMAS 2023 VS 2024

Meses	Año 2023 (Sin TPM)	Año 2024 (Con TPM)	Variación
Ene	87	68	-19
Feb	58	41	-17
Mar	138	41	-97
Abr	93	51	-41
May	81	43	-38
Jun	98	60	-38
Jul	73	53	-21
Ago	92	51	-40
Set	35	51	16
Oct	86	68	-18
Nov	75	59	-16
Dic	68	32	-36

IV. CONCLUSIONES

Este estudio ha demostrado que la implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) generó mejoras significativas en los índices de eficiencia operativa, reflejados en un aumento promedio del 7.44% en el OEE entre 2023 y 2024. Sin embargo, es importante reconocer que estas ganancias limitadas podrían sugerir que el margen de mejora de los procesos operativos en la línea de producción estudiada está llegando a su límite máximo. Este punto es relevante, ya que, aunque el TPM ha sido efectivo en la mejora inicial, podría haber poco espacio para mejoras adicionales sin realizar ajustes más profundos en otros aspectos operativos o sin una innovación tecnológica significativa.

Además, el diseño del estudio debe ser considerado al interpretar estos resultados. Si bien este estudio se basa en un enfoque descriptivo y longitudinal, con un diseño no experimental, existen factores incontrolados que podrían haber influido en los resultados. Factores como variaciones en la capacitación del personal, mejoras tecnológicas o incluso condiciones económicas externas podrían haber tenido un impacto directo en el desempeño observado, y no necesariamente en función exclusiva del TPM.

A. Impacto del TPM en la Eficiencia Operativa Planes de Mantenimiento

La implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) en la línea de envasado Edge de 946 ml de Laive S.A. mejoró significativamente el OEE, aumentando del 49% en 2023 al 56.4% en 2024, superando el objetivo del 55%. Este crecimiento demuestra la efectividad del TPM para reducir pérdidas en disponibilidad, rendimiento y calidad, posicionándose como una estrategia clave para optimizar la eficiencia operativa en entornos industriales de alta demanda.

B. Mejoras en la Disponibilidad de Equipos

El mantenimiento preventivo, pilar fundamental del TPM, redujo notablemente las fallas en los equipos. En 2023, las paradas no programadas sumaron 666 horas, representando el 67.7% del tiempo de inactividad. En 2024, estas paradas se redujeron a valores mensuales entre 32 y 68, lo que refleja una mayor confiabilidad de los equipos y una mejor planificación y respuesta ante incidencias.

C. Estabilidad en el Rendimiento del Proceso Productivo

Aunque el rendimiento de la línea Edge pasó del 99.4% en 2023 al 99.7% en 2024, el principal logro fue la mayor estabilidad operativa. La reducción de micro paradas e interrupciones menores evidenció una mejor planificación de los ciclos productivos y un control más eficaz del ritmo de producción, optimizando los recursos y la sostenibilidad del proceso.

D. Mejora en la Calidad del Producto Final

La calidad del producto final mejoró del 99.5% en 2023 al 99.8% en 2024, reduciendo el rechazo de productos no

conformes y las mermas. Esta mejora está vinculada a la disminución de paradas no programadas, lo que permitió un flujo de producción más estable. Además, la optimización en la planificación de acciones correctivas ayudó a prevenir defectos recurrentes, asegurando el cumplimiento de los estándares de calidad y promoviendo una producción más eficiente.

Finalmente, aunque los resultados son prometedores, las condiciones externas como fluctuaciones económicas, cambios en tecnologías de producción o modificaciones en las estrategias de capacitación podrían haber influido en las mejoras observadas. El impacto del TPM, por lo tanto, no debe considerarse en aislamiento, sino como parte de un conjunto más amplio de factores que afectan la eficiencia operativa.

Cabe destacar también que este estudio se centró exclusivamente en una línea de producción, la línea Edge, lo que limita la capacidad de generalizar los resultados a otras líneas de producción o incluso a otros entornos industriales. La aplicabilidad de estos hallazgos a contextos diferentes debe ser considerada con cautela, y se recomienda realizar estudios adicionales que incluyan una muestra más amplia y diversa de líneas de producción para obtener una comprensión más completa del impacto del TPM.

Se recomienda consolidar y expandir la implementación del TPM, aptando las mejores prácticas a otras líneas de producción y estableciendo un sistema de monitoreo continuo del OEE para identificar oportunidades de mejora. Asimismo, se sugiere integrar metodologías complementarias como Lean Manufacturing y Just in Time para optimizar la eficiencia operativa. Para reducir las paradas no programadas, se deben potenciar las estrategias de mantenimiento preventivo mediante enfoques avanzados como Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Mantenimiento Predictivo y tecnologías de la Industria 4.0 y el Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo en tiempo real. Además, llevar un registro detallado de las fallas y acciones correctivas facilitará una toma de decisiones informada basada en datos históricos. En cuanto a la estabilidad del rendimiento, se recomienda continuar con programas de capacitación y adoptar técnicas como el Single Minute Exchange of Die (SMED) para reducir tiempos improductivos. Por último, se sugiere intensificar el control de calidad en todas las etapas del proceso y ampliar el análisis del TPM en futuras investigaciones, explorando su impacto en variables como el desperdicio, el consumo energético y la trazabilidad de la calidad, lo que no solo enriquecerá el campo del mantenimiento industrial, sino que también proporcionará valiosas oportunidades para futuras investigaciones y el avance de la industria.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

A mi asesora, Lucerito Katherine Ortiz García, por su invaluable apoyo y guía durante todo el proceso de investigación, brindándome su experiencia y motivación en cada etapa del proyecto. A la Universidad Tecnológica del Perú (UTP) por brindarme la oportunidad de realizar esta

investigación en un ambiente académico de alta calidad, fomentando el desarrollo de conocimientos y habilidades que han sido fundamentales para el éxito de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] R. Bhat, J. Di-Pasquale, F. Istvan-Bánkuti, T. Teixeira da Silva Siqueira, P. Shine, and M. Murphy, "Global Dairy Sector: Trends, Prospects, and Challenges," 2022, doi: 10.3390/su14074193i.
- [2] S. Neethirajan, "Innovative Strategies for Sustainable Dairy Farming in Canada amidst Climate Change," Jan. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/su16010265.
- [3] K. Toffaha, *Dairy Factory Assessment Using Total Quality Management Tools*. Newswood Limited, International Association of Engineers, 2021.
- [4] B. J. Lincoln, L. Kong, F. Schlosser, and T. G. Walmsley, "Process Integration and Electrification for retrofit: Case studies of milk evaporator systems," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 60, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.csite.2024.104601.
- [5] J. G. Bustamante-Ordoñez *et al.*, "Quality-innocuousness of raw cow's milk entering collection center's in the Province of Cañar-Ecuador, in the context of Latin American regulations," *Revista Científica de la Facultad de Veterinaria*, vol. 33, 2023, doi: 10.52973/rcfev-e33183.
- [6] F. Icier and Gamze Kor Simsek, "Exergo-economic approach for comprehensive evaluation of the performance of industrial-scale milk and coffee beverage process lines," 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/./j.p...>
- [7] S. R. Farina, J. Baudracco, and F. Bargo, "Dairy production in diverse regions: Latin America," in *Encyclopedia of Dairy Sciences: Third edition*, vol. 2, Elsevier, 2021, pp. 244–252. doi: 10.1016/b978-0-12-818766-1.00052-0.
- [8] E. Michlowicz, "Assessment of the modernized production system through selected TPM method indicators," *Eksplotacja i Niezawodność*, vol. 24, no. 4, pp. 677–686, 2022, doi: 10.17531/ein.2022.4.8.
- [9] P. Ondra, "The Impact of Single Minute Exchange of Die and Total Productive Maintenance on Overall Equipment Effectiveness," *Journal of Competitiveness*, vol. 14, no. 3, pp. 113–132, 2022, doi: 10.7441/joc.2022.03.07.
- [10] I. Šajdlerová, V. Schindlerová, and J. Kratochvíl, "Potential and Limits of OEE in the Total Productivity Management," *Advances in Science and Technology Research Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 19–26, 2020, doi: 10.12913/22998624/113617.
- [11] N. Gwangwava, G. A. Baile, P. Dikgale, and K. Kefhilwe, "FRAMEWORK FOR TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE FOR AN SME," *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, vol. 7, no. 29, pp. 52–61, 2021, doi: 10.5935/jetia.v7i29.740.
- [12] J. C. Quiroz-Flores and M. L. Vega-Alvites, "Review Lean Manufacturing model of production of production management under the preventive maintenance approach to improve efficiency in plastics industry SMES: A case study," *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 33, no. 2, pp. 143–156, 2022, doi: 10.7166/33-2-2711.
- [13] F. Rahman, S. Sugiono, A. A. Sonief, and O. Novareza, "Optimization maintenance performance level through collaboration of Overall Equipment Effectiveness and Machine Reliability," *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 20, no. 3, pp. 917–936, 2022, doi: 10.5937/jaes0-35189.
- [14] Roberto. Hernández-Sampieri and C. Paulina. Mendoza Torres, *Metodología de la investigación : las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education, 2018.
- [15] S. Nakajima, "Introduction to TPM Total Productive Maintenance," 1988.
- [16] Ramesh. Gulati and Ricky. Smith, *Maintenance and reliability best practices*. Industrial Press, 2009.
- [17] R. C. . Hansen, *Overall Equipment Effectiveness: A powerful production/maintenance tool for increased profits*. Industrial Press, 2002.
- [18] K. Shirose, "TPM para Mandos Intermedios de Fábrica," 1994.
- [19] K. Arai and K. Sekine, "TPM for the Lean Factory: Innovative Methods and Worksheets for Equipment Management," 1998.
- [20] P. Willmott and D. McCarthy, "TPM-A Route to World-Class Performance," 2001.
- [21] Joel. Levitt, *TPM Reloaded: Total Productive Maintenance*. Industrial Press, 2010.
- [22] D. Stamatis, "The OEE Primer: Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability, and Maintainability," 2010.