

Application of lean manufacturing to increase productivity in a food sector company

Elían Fernando Chavesta -Ayasta¹ , Danushka Quispe - Victorio¹ ,

Edilberto Miguel Avalos - Ortecho¹ ,

¹ Carrera de Ingeniería Industrial; Universidad de Lima, Perú.

20180423@aloe.ulima.edu.pe, 20181540@aloe.ulima.edu.pe,

cavalos@ulima.edu.pe

Resumen– La investigación tiene como objetivo incrementar la productividad y reducir los desperdicios en empresas del sector alimentario en Perú, mediante la aplicación de herramientas de lean manufacturing en el proceso productivo en una empresa dedicada a la fabricación de alimentos. Se empleó un análisis de tiempos a través de una simulación realizada con el software arena. Esta investigación, desarrollada en una pyme del rubro alimentario, se evidenció mediante un diagnóstico basado en el Mapeo de flujo de valor (MFV), diagrama de Ishikawa, diagrama de árbol y diagrama de Pareto, una baja productividad (72%) en el proceso de fabricación de helados. Este enfoque permite comprender paso a paso el proceso de producción, identificar los cuellos de botellas y abordar los desafíos técnicos, económicos y ambientales en la cadena de valor. Los hallazgos principales incluyeron una baja disponibilidad de máquinas en los procesos de moldeado, paletizado y empaquetado (70,60%, 70,32% y 86,46% respectivamente), cuellos de botella en los únicos dos procesos con intervención directa de operarios (13,46 y 11,16 veces más lentos) y tiempos excesivos de cambio entre lotes (2,5 horas). Para abordar estos problemas, se aplicaron herramientas como Mantenimiento Productivo Total (TPM), Cambio de matriz en un minuto (SMED) y estandarización del trabajo, logrando mejoras significativas en la eficiencia operativa. Los resultados obtenidos evidencian el impacto positivo de la metodología lean en la optimización de procesos, aportando así una contribución relevante a la mejora continua en el sector alimentario peruano.

Palabras clave– Mantenimiento preventivo, Productividad, Trabajo Estandarizado y SMED

I. INTRODUCCIÓN

La industria manufacturera es un sector crucial para el crecimiento del producto bruto interno peruano. A pesar de ello, el Perú muestra una productividad significativamente menor en comparación con países industrializados. Específicamente, la productividad manufacturera peruana es un 59,91% inferior a la de Japón y un 70,21% menor que la de Estados Unidos.[1] En 2023, el sector manufacturero quedó rezagado en el crecimiento económico, mostrando un desempeño inferior al de otros sectores. La minería e hidrocarburos creció un 87.75% más que la manufactura, mientras que la industria de electricidad, gas y agua mantuvo una ventaja, creciendo un 62.61% más que este sector [2]. Cabe destacar que la industria manufacturera, particularmente en la industria de alimentos, es clave para garantizar la eficiencia y calidad del proceso productivo.

La empresa en estudio es una PYME peruana que se especializa en la elaboración y venta de helados. Se ha detectado que uno de sus principales problemas es la baja productividad ocasionada por el alto tiempo de inactividad de maquinaria y la falta de estandarización de procedimientos, lo cual equivale al 7.78% de sus ingresos anuales por ventas. De acuerdo con [3], el tiempo de inactividad de las máquinas afecta directamente los costos de producción al detener la producción, lo que genera posibles demoras, mayores costos laborales y desperdicio de materiales, en tanto que [4] las averías provocan reducciones significativas en la disponibilidad de las máquinas. En relación con la implementación de la Metodología Lean en el sector alimenticio en Perú, se han documentado casos de éxito significativos. Por ejemplo, una fábrica dedicada a la producción de quinua adoptó el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y el Trabajo Estandarizado (Standard Work), lo que resultó en un incremento de la productividad a 0.84 y una reducción del 16.7% en el tiempo de ciclo. Además, el tiempo medio de reparación disminuyó en un 32.16%, mientras que el tiempo entre fallas aumentó en un 134.59% [5]. Por otro lado, en una fábrica de conservas de pollo se implementaron las técnicas de Cambio de matriz en un minuto (SMED) para reducir el tiempo de preparación y TPM (Mantenimiento Productivo Total) para el mantenimiento preventivo en la máquina cerradora. Como resultado, se logró reducir el tiempo de configuración en un 45.5% e incrementar la disponibilidad al 97.85% [6].

Por otro lado, el software Arena es una herramienta de simulación por computadora ampliamente utilizada en la industria manufacturera para simular procesos y tomar decisiones estratégicas [7]. Tomando como ejemplo un estudio realizado en una línea de empaque de mangos, se empleó el software Arena para analizar el proceso mediante la comparación de diferentes escenarios. La utilización de la herramienta de simulación permite analizar variables de sistemas complejos, proporcionando un análisis de diferentes escenarios para facilitar una mejor toma de decisión y contribuir al proceso de mejora. En el escenario uno, se logra detectar el 20% de productos defectuosos, mientras que en el escenario dos, se detecta el 30%. Estos resultados se utilizan como soporte para la toma de decisiones en la optimización del proceso. [8]

El propósito del estudio es implementar las metodologías TPM, SMED y Standard Work en una empresa que produce helados, con el objetivo de mejorar sus procesos de fabricación e incrementar la productividad en un 11.12%. Este enfoque busca evidenciar la aplicación efectiva de estas herramientas de gestión en el contexto de una PYME del sector manufacturero de alimentos.

La investigación tiene como objetivo general implementar herramientas de lean manufacturing para incrementar la productividad de una empresa del sector de alimentos. Además, sus objetivos específicos son: realizar un análisis y diagnóstico del problema del proyecto; proponer herramientas de ingeniería industrial enfocadas en mejorar la productividad de la empresa, como TPM, SMED y estandarización del trabajo; simular las herramientas de mejora propuestas y validar las soluciones. Al final del estudio, se responderá la siguiente pregunta de investigación: ¿La implementación de Lean Manufacturing contribuye al incremento de la productividad en la empresa de producción de helados?

II. METODOLOGÍA

En la Fig. 1 se observa el flujo del método propuesto, que inicia con un diagnóstico del problema, estudios de tiempos y recolección de información en la planta. Posteriormente, se identifican las causas utilizando herramientas como VSM (Value Stream Mapping), diagrama de Ishikawa y análisis de Pareto. A continuación, se diseña una solución basada en herramientas lean. Finalmente, se valida la propuesta mediante una simulación.

A. Identificación del problema

Se determina el tamaño muestra de acuerdo con la ecuación (1):

$$n = \frac{N \cdot z^2 \cdot p \cdot q}{(N-1) \cdot e^2 + z^2 \cdot p \cdot q} \quad (1)$$

Donde:

n= tamaño de muestra

N= tamaño de población = 312 días de producción diaria durante un año

Z= Parámetro estadístico de nivel de confianza: 1.96 (para 95% de confianza)

e= margen de error: 5%

p = Probabilidad de éxito: 95%

q = 1 - p = probabilidad de fracaso: 0.05

n= 60 días de producción diaria extraído de un año

La Tabla 1 muestra la productividad mensual de la empresa en 2023, comparando sus niveles de producción y rendimiento con los del sector.

Mes	Producción	Empresa	sector
Ene-23	41840	72%	84%
Feb-23	46000	72%	84%
Mar-23	43720	73%	84%
Abr-23	38320	73%	84%
May-23	35760	72%	84%
Jun-23	27400	72%	84%
Jul-23	31120	73%	84%
Ago-23	27880	72%	84%
Set-23	30120	72%	84%
Oct-23	31720	73%	84%
Nov-23	35920	72%	84%
Dic-23	37880	73%	84%

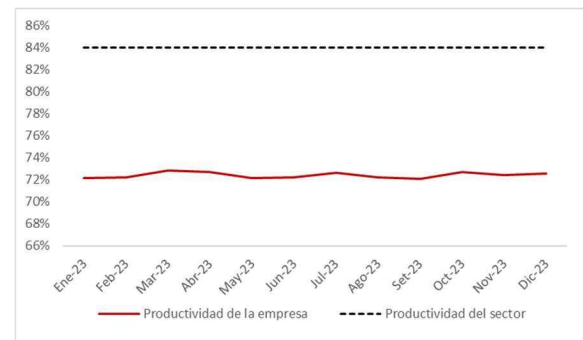


Fig. 2 Brecha técnica de la productividad

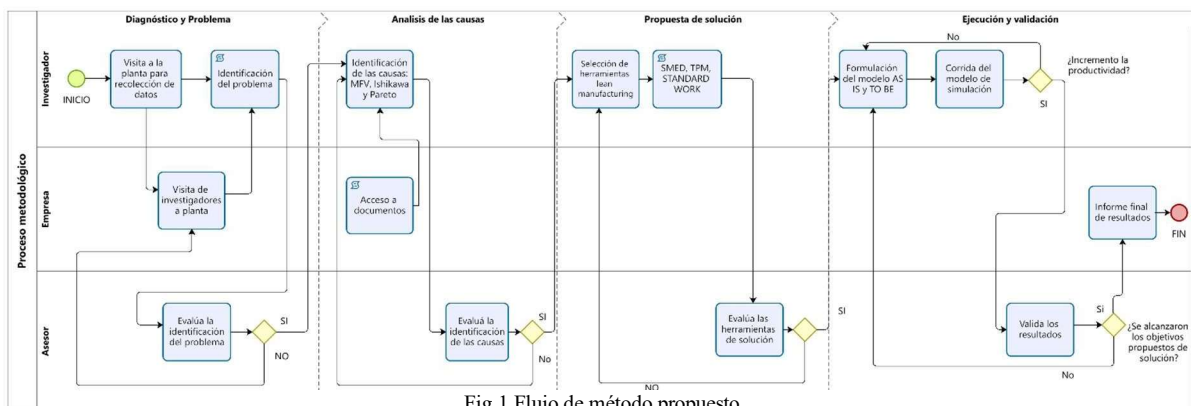


Fig. 1 Flujo de método propuesto

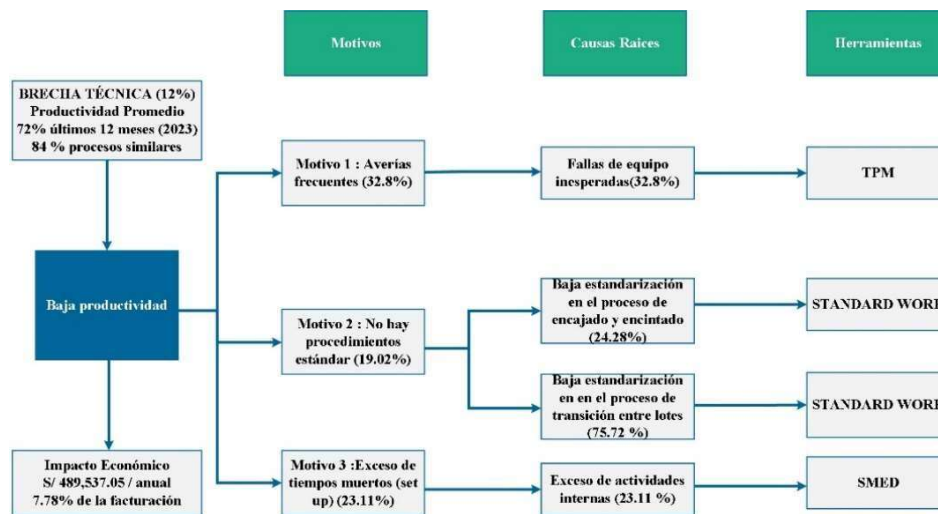


Fig. 3 Árbol de Problemas

En la Figura 3, se presenta un diagrama de árbol que identifica de manera detallada el problema principal y sus causas. La función de este diagrama es proporcionar un mapa visual que permita entender las diversas fuentes que contribuyen a la situación actual, facilitando así la identificación de áreas de mejora. En este contexto, el gráfico comparativo establece un contraste entre la productividad de la empresa y el estándar del sector, que se encuentra en un 84% [5]. Según los datos presentados, la productividad de la empresa es del 72%, lo que da lugar a una brecha de 12%.

Es importante destacar que el 12% de diferencia no refleja los resultados obtenidos en la simulación realizada, sino que constituye una meta de referencia o un objetivo de mejora basado en el rendimiento promedio del sector. En otras palabras, esta cifra representa una aspiración para la empresa, un objetivo alcanzable que debe ser considerado como parte de una estrategia de optimización, más no como un resultado final obtenido por el análisis o las simulaciones realizadas. Este enfoque permite dirigir los esfuerzos hacia la reducción de la brecha y la mejora continua en los procesos productivos.

Por otro lado, [9] la aplicación del Mapa de Flujo de Valor (VSM, por sus siglas en inglés) como herramienta para analizar los procesos y evaluar su eficiencia en función del tiempo. Este enfoque permite identificar claramente las etapas que generan valor y aquellas que representan desperdicio, optimizando así el flujo de trabajo y mejorando la productividad.

Para el análisis de las causas subyacentes, se recurren a herramientas como los diagramas de Ishikawa y Pareto [10]. El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de espina de pescado, es útil para identificar las causas raíz de un problema mediante la categorización de factores clave (como personas, procesos, materiales, equipos, etc.). Por su parte, el análisis de Pareto se basa en la ley de los 80/20, ayudando a priorizar las causas más significativas en función de su impacto, lo que permite tomar decisiones informadas sobre las áreas que requieren atención urgente y finalmente, un diseño macro los resultados (ouputs) generados a partir de la simulación que constituyen una estimación fundamentada de los datos ingresados(inputs) para abordar los problemas planteados.



Fig. 4 Diseño macro de solución

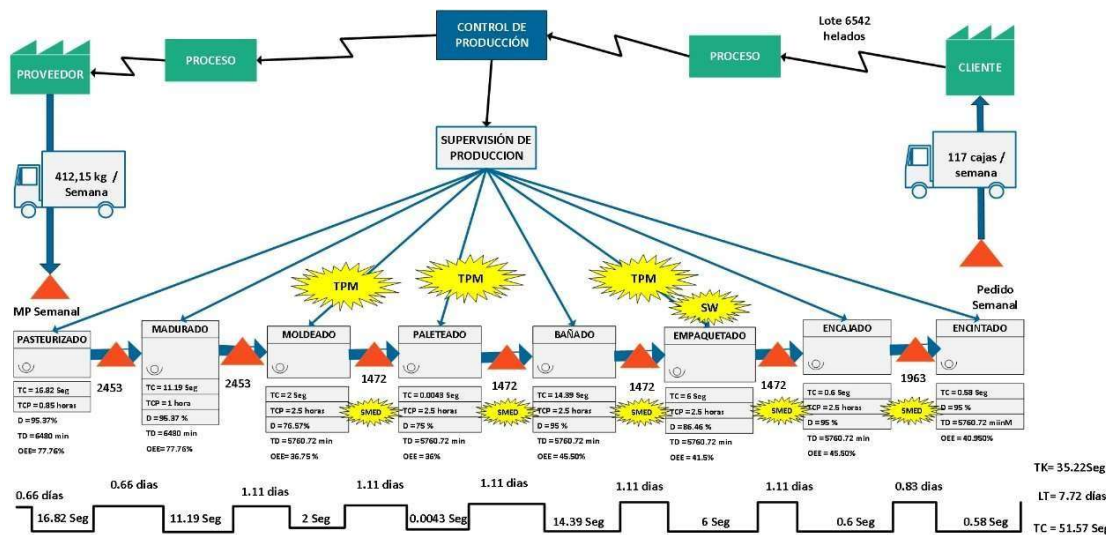


Fig. 5 Mapa de Flujo de Valor

Con el objetivo de mejorar la productividad, se implementará la técnica de Mantenimiento Productivo Total (TPM). Según [12], el mantenimiento es un factor clave en los procesos de fabricación, ya que se enfoca en la prevención de fallos y en la mejora del rendimiento general de los equipos. Esta metodología busca maximizar la disponibilidad de los activos, reducir tiempos de inactividad y aumentar la eficiencia operativa.

Además, se complementará con la metodología Standard Work, que tiene como propósito minimizar la variabilidad en las operaciones realizadas por los operarios. Esta metodología permite estandarizar los procesos, eliminar actividades que no agregan valor, reducir los tiempos de fabricación y, en consecuencia, aumentar la productividad en las empresas que la implementen [13].

Por otro lado, se aplicará la técnica de Intercambio de Matriz en un Solo Minuto (SMED), un enfoque de producción eficiente que busca reducir el desperdicio y optimizar la transición entre diferentes lotes de producción. SMED facilita una rápida y eficaz reconfiguración de los equipos y procesos, lo que permite una mayor flexibilidad y eficiencia al cambiar de un producto a otro sin comprometer la calidad ni la productividad [14].

B. Simulación

La simulación inicial, conocida como "As is", tiene como objetivo replicar el sistema real tal y como funciona actualmente. Esta etapa es fundamental, ya que establece una referencia clara que servirá para comparar y evaluar posibles mejoras o cambios en el modelo [15].

Por otra parte, el modelo optimizado, denominado "To be", integrará la implementación de herramientas clave como SMED, TPM y la estandarización del trabajo. Siguiendo la metodología propuesta por [16], se realizará

una evaluación utilizando el software ARENA. Este análisis permitirá contrastar el modelo original con el mejorado, proporcionando una visión clara de las mejoras logradas, especialmente en términos de eficiencia y fluidez del sistema productivo. El objetivo es evidenciar el impacto positivo de las herramientas implementadas, demostrando cómo contribuyen a optimizar el rendimiento general del sistema.

C. Aporte de la investigación

La fig. 4 muestra el diseño macro propuesto adopta un enfoque global para la mejora de procesos en la manufactura, el cual busca abordar una serie de problemas iniciales (inputs), como la baja productividad, la limitada disponibilidad de equipos, los tiempos de ciclo prolongados, el exceso de tiempo en los cambios de línea, así como el tiempo medio de reparación (MTTR) y el tiempo entre fallas (MTBF). Estos aspectos representan barreras clave para la optimización de la eficiencia operativa.

Por otro lado, los resultados (outputs) ofrecen un enfoque estructurado para abordar y resolver estos problemas. Al implementar estrategias efectivas, se busca optimizar cada uno de estos elementos, lo que contribuiría directamente a mejorar la eficiencia, reducir costos y aumentar la competitividad dentro del entorno manufacturero. Sin embargo, es importante destacar que los outputs presentados no representan los resultados definitivos de la simulación realizada, sino que son estimaciones basadas en el análisis de los problemas y las soluciones propuestas. Estos outputs proporcionan una visión de las mejoras anticipadas, pero aún deben ser validados y ajustados en base a las simulaciones y pruebas prácticas que permitan confirmar su efectividad en condiciones reales.

Este enfoque aporta significativamente a la investigación, ya que establece un marco claro para la identificación de problemas clave dentro de los procesos de manufactura y presenta un modelo estructurado de soluciones. Al comparar los resultados esperados con los resultados reales de la simulación, es posible evaluar de manera precisa la efectividad de las estrategias implementadas y generar recomendaciones basadas en datos reales. Así, se contribuye a un mejor entendimiento de los mecanismos que afectan la productividad y se puede establecer una base sólida para futuras mejoras y optimizaciones en el sector.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del análisis, se identificaron tres procesos críticos con alta incidencia de fallas: moldeo, paletizado y empaquetado. El VSM revela una baja disponibilidad en las máquinas asociadas a estos procesos, con valores de 79,60% para la moldeadora, 70,32% para la paleteadora y 86,46% para la empaquetadora. Estas cifras evidencian oportunidades claras de mejora en la gestión del mantenimiento y disponibilidad operativa.

Para validar la aplicación de la herramienta TPM, se realizó un análisis detallado de los tipos de fallas y su frecuencia en los equipos críticos: moldeadora, paleteadora y empaquetadora. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2, y constituyen una base técnica fundamental para el diseño de estrategias de mantenimiento que apunten a reducir fallas, mejorar la disponibilidad y optimizar el desempeño de la línea productiva. Esta información proporciona una visión integral del estado actual del sistema, sirviendo como punto de partida para la toma de decisiones orientadas a la mejora continua.

Tabla II Frecuencia de fallas en máquina

Tipo de falla	Máquina	Frecuencia (falla / día)	Tiempo (min)
Calentamiento leve	Paleteadora	0.5	[60 - 180]
Falla en el sistema de refrigeración	Moldeadora	0.33	[60 - 180]
Perdida de velocidad de la faja	Empaquetado	0.5	[30 - 120]

Basándose en la información recopilada, se desarrolló un sistema estandarizado de mantenimiento preventivo autónomo que los operarios realizarán de manera simultánea tras recibir la capacitación adecuada. La Tabla 3 detalla las actividades y su programación, conformando un protocolo diario que los operarios llevarán a cabo de forma coordinada en un lapso total de 30 minutos.

La propuesta de mantenimiento autónomo está segmentada por máquinas específicas (empaquetadora, moldeadora y paleteadora). El plan se centra en asegurar el funcionamiento óptimo de cada máquina mediante inspección, limpieza, ajustes, y verificaciones periódicas. Cada tarea tiene un tiempo estimado, lo que permite una programación eficiente y reduce tiempos muertos. Este enfoque promueve la prevención de fallas y la prolongación de la vida útil de los equipos, además de fomentar la participación del personal en el mantenimiento autónomo.

Tabla III Propuesta de mantenimiento autónomo

Máquina			Tiempo (min)
Nº		Empaquetadora	
1	Componente	Banda transportadora	30
	Actividad	Limpieza e inspección	
2	Componente	Rodillos y rodamientos	25
	Actividad	Lubricación y verificación	
3	Componente	Sistema de tensión	20
	Actividad	Ajuste y verificación	
4	Componente	Conexiones eléctricas	15
	Actividad	Inspección de conexiones	
5	Componente	Motor y transmisión	15
	Actividad	Verificación de temperatura	
Nº		Moldeadora	
1	Componente	Panel de operador táctil	5
	Actividad	Verificación de funcionamiento	
2	Componente	Sistema neumático	10
	Actividad	Verificación de funcionamiento	
3	Componente	Moldes	15
	Actividad	Inspección y limpieza	
Nº		Paleteadora	
1	Componente	Banda transportadora	15
	Actividad	Limpieza e inspección	

La propuesta de mantenimiento preventivo para los equipos críticos —moldeadora, paletadora y empaquetadora— se detalla en la Tabla 5. El plan de mantenimiento fue programado estratégicamente para realizarse durante el día de inactividad, considerando que la línea opera seis días a la semana. Además, se elaboró una lista de verificación para asegurar una ejecución sistemática y eficiente de cada actividad programada.

En cuanto a la validación de la metodología SMED, se desarrolló una propuesta de mejora enfocada en la optimización del proceso de cambio, basada en la estandarización de actividades. Como parte de esta estrategia, se identificaron y reubicaron cuatro actividades internas como externas, lo que permitió reducir el tiempo de inactividad durante el cambio. Las actividades que fueron trasladadas al entorno externo del proceso son: recolección de herramientas necesarias para la limpieza y ajuste, preparación anticipada de los insumos y materiales a utilizar, limpieza superficial de áreas no críticas antes del paro de línea, verificación de disponibilidad de repuestos y componentes clave.

Tabla IV Resultados de la aplicación de la metodología SMED

Indicadores		Situación
Número de actividades internas	14	Actual
	10	Esperado
Número de actividades externas	1	Actual
	5	Esperado
Tiempo total del proceso de cambio (min)	150	Actual
	88	Esperado

Al ejecutar estas tareas fuera del tiempo de parada, fue

posible reducir significativamente el tiempo total del proceso de limpieza y preparación de la línea. Como resultado, el tiempo se redujo a 1,47 horas, evidenciando una mejora considerable en la eficiencia del cambio. Los resultados cuantitativos y el detalle de la implementación de esta metodología se presentan en la Tabla 5, confirmando la efectividad del enfoque SMED en la reducción de tiempos improductivos y la mejora del flujo operativo.

El sistema inicialmente presentaba cuellos de botella en los dos únicos procesos que requerían mano de obra directa: encajado y encintado. El proceso de encajado era 13,46 segundos más lento que los procesos automatizados de moldeado, bañado y empaquetado, mientras que el encintado mostraba un retraso de 11,16 segundos, lo que resultaba en un tiempo total de 50,27 segundos por caja entre ambas operaciones.

Para abordar esta ineficiencia, se implementó la metodología Standard Work, lo que permitió equilibrar las operaciones mediante la estandarización y mejora de tiempos en cada actividad. Como resultado de esta mejora, el tiempo de encajado se ajustó a 14,91 segundos por caja (equivalente a 0,3728 segundos por unidad), y el de encintado a 10 segundos por caja (0,25 segundos por unidad). Esta optimización derivó en una reducción del 42,44% en el tiempo total del proceso desde el encajado hasta el encintado.

Es importante señalar que estos resultados fueron obtenidos a partir de una simulación, la cual permitió modelar las condiciones operativas optimizadas y evaluar el impacto de la metodología aplicada. Los datos detallados de esta mejora se presentan en la Tabla 5, y reflejan el potencial de la estandarización para eliminar cuellos de botella y mejorar significativamente la eficiencia operativa en procesos manuales.

Tabla V Propuesta de mantenimiento preventivo

Número	Componente	Actividad	Tiempo (min)	Frecuencia
1	Sistema neumático	Verificación de accionamiento y componentes	60	Semanal
2	Panel de control	Revisión de pantalla táctil y controles	30	Semanal
3	Colocador de palitos	Inspección y ajuste del mecanismo	60	Semanal
2	Faja transportadora	Inspección de tensión y desgaste	60	Semanal
4	Sistema eléctrico	Revisión de conexiones y panel de control	120	Semanal
5	Sistemas de seguridad	Verificación de protecciones y alarmas	60	Semanal
6	Documentación y registro	Actualización de registros	30	Semanal

Tabla VI Resultados de la aplicación de la metodología Standard Work			
Métrica	Actual	Mejorado	Δ
Estación 1: encajado	27.95	14.91	46.65%
Estación 2: encintado	seg/caja	seg/caja	55.19%
	22.32	10	
Tiempo de ciclo promedio por caja	seg/caja	seg/caja	50.44%
	50.27	24.91	
Ciclo promedio por unidad	caja	seg/caja	50.39%
	1.256	0.623	
Tiempo total desde el encajado hasta el encintado	seg/unid	seg/unid	42.44%
	4.99 horas	2.88 horas	
N° operadores estación encajado	3	2	33.3%
N° operadores estación encintado	1	2	50%

A. Método de validación

Con el propósito de evaluar la eficacia de la solución propuesta, se llevó a cabo la validación del modelo mediante una simulación en el software Arena, versión 16.2. La simulación se configuró para operar 24 horas al día, con 120 réplicas de 60 días cada una, utilizando horas como unidad base de tiempo. Se estableció un lote diario de 93.55 kg de materia prima, equivalente a 1485 unidades o 37 cajas.

Para construir un modelo representativo del sistema real, se recopilaron datos cuantitativos correspondientes al desempeño previo a la implementación de mejoras. Estos datos permitieron determinar las distribuciones estadísticas de los distintos procesos, las cuales fueron validadas mediante pruebas estadísticas como Kolmogorov-Smirnov y Chi-cuadrado, garantizando así la confiabilidad de la simulación.

El modelo denominado AS IS corresponde a una representación del proceso real, antes de aplicar cualquier mejora. Esta simulación proporciona una visión detallada del desempeño actual del sistema. Los resultados arrojaron un tiempo de ciclo total de 13.19 horas, con un tiempo de preparación entre lotes ("Set up A3") de 2.54 horas. Además, se observó un intervalo de 4.99 horas entre el encajado y el encintado, alcanzando una producción final de 27 cajas por día.

Estos indicadores permiten evaluar la eficiencia del proceso en su estado actual. Tal como se muestra en la Figura 6, los resultados obtenidos reflejan el comportamiento del sistema bajo condiciones reales.

Asimismo, la Tabla 7 compara estos indicadores con los del sistema real, validando que las variaciones entre ambos no son estadísticamente significativas, lo cual respalda la fidelidad del modelo AS IS como base para el análisis y mejora del proceso.

Tabla VII Indicadores obtenidos del proceso real y el modelo AS IS

Indicadores	Resultado	
Productividad	Proceso real	72%
	AS IS	72.05%
	Δ	0.50 %
Disponibilidad paleteadora	Proceso real	70.32%
	AS IS	70.36%
	Δ	0.04%
Disponibilidad moldeadora	Proceso real	79.69%
	AS IS	79.70%
	Δ	0.01%
Disponibilidad empaquetadora	Proceso real	86.46%
	AS IS	86.63%
	Δ	0.17%
Tiempo de ciclo	Proceso real	13.69 horas
	AS IS	13.19 horas
	Δ	1.27%
Tiempo de cambio	Proceso real	2.5 horas
	AS IS	2.54 horas
	Δ	0.04%

La Figura 6 ilustra el modelo de simulación TO BE en Arena, representando las diversas etapas del proceso: dosificado, mezclado, precalentado, calentamiento, pasteurizado, enfriado (identificados como procesos térmicos), madurado, aireado, moldeado, paletado, bañado, empaquetado, encajado y encintado.

En el contexto en el proceso productivo se muestra los resultados de un análisis de tiempos, incluyendo los indicadores claves que permitan tener una visión más objetivo en la línea de producción, los principales indicadores. Con ello, permite a la implementación de estrategias para poder realizar mejoras significativas en la productividad.

OUTPUTS					
Identifier	Average	Half-width	Minimum	Maximum	# Replications
tiempo_ciclo_lote	13.190	.27354	10.455	17.300	120
tiempo_setup_A3	2.5420	.00145	2.5236	2.5608	120
tiempo_encajado_encintado	4.9975	.01587	4.9767	5.7142	120
tiempo_setup_palitos	.59794	.11275	.01963	2.9119	120
total_cajas_producidas	27.000	.00000	27.000	27.000	120

Fig. 6 Indicadores del Modelo AS IS

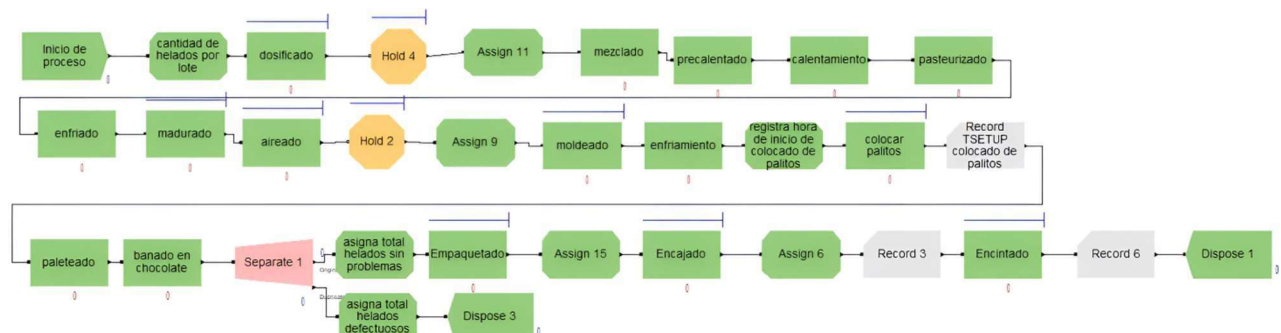


Fig. 7 Modelo TO BE

La Figura 7 presenta los resultados obtenidos a partir de la simulación del modelo TO BE, el cual representa la propuesta de mejora para el proceso de producción. Este modelo proyecta cómo funcionaría el sistema una vez implementadas las mejoras diseñadas. Al igual que en la simulación del modelo AS IS, el análisis se realizó con 120 réplicas, lo que permitió evaluar la estabilidad del sistema bajo las nuevas condiciones operativas. Los resultados muestran un comportamiento más eficiente y estable en la mayoría de las etapas del proceso. Se observan tiempos de producción consistentes y tiempos de configuración con márgenes predecibles, lo que refleja una mejora significativa en la eficiencia operativa.

B. Resultados de la simulación

Tras analizar los resultados de los escenarios AS IS y TO BE, se identificaron mejoras significativas en diversos indicadores de producción, tal como se resume en la Tabla 8. La disponibilidad de los equipos críticos (paletizadora, moldeadora y empaquetadora) aumentó en promedio un 15.69%, superando el 93%, lo que refleja una mayor confiabilidad operativa. Los tiempos de mantenimiento también mejoraron notablemente: el MTTR se redujo de 2.21 a 1.19 horas y el MTBF aumentó de 10.67 a 106 horas, lo que indica una mayor estabilidad y adaptabilidad de los equipos. Gracias a la implementación de la metodología SMED, el tiempo de cambio entre lotes se redujo de 2.54 a 1.47 horas. Además, la producción diaria se incrementó de 27 a 30 cajas, el tiempo de ciclo por lote disminuyó en un 9.70% y la productividad general aumentó del 72.05% al 81.08%, lo que representa una mejora del 11.12%. De manera destacada, el tiempo del cuello de botella, desde el encajado hasta el encintado, se redujo en un 42.43%.

Tabla VIII. Resultados del modelo AS IS VS TO BE

Indicadores		Resultado
Productividad	AS IS	72.97%
	TO BE	81.08%
	Δ	8.11%
Disponibilidad paleteadora	AS IS	70.36%
	TO BE	93.38%
	Δ	23.02%
Disponibilidad moldeadora	AS IS	79.70%
	TO BE	93.97%
	Δ	14.27%
Disponibilidad empaquetadora	AS IS	86.63%
	TO BE	96.41%
	Δ	9.78%
Tiempo entre reparaciones	AS IS	2.21 horas
	TO BE	1.19 horas
	Δ	46.15%
Tiempo entre fallas	AS IS	10.67 horas
	TO BE	106 horas
	Δ	95.33 horas
Cantidad de cajas producidas	AS IS	27 cajas
	TO BE	30 cajas
	Δ	11.12%
Tiempo de cambio	AS IS	2.54 horas
	TO BE	1.47 horas
	Δ	42.13%
Tiempo de ciclo de un lote	AS IS	13.19 horas
	TO BE	11.91 horas
	Δ	9.70%
Tiempo transcurrido desde el encajado al encintado	AS IS	4.99 horas
	TO BE	2.88 horas
	Δ	42.43%

Identifier	OUTPUTS				
	Average	Half-width	Minimum	Maximum	# Replications
tiempo_ciclo_lote	11.910	.15285	10.473	14.583	120
tiempo_setup_A3	1.4736	.00282	1.4363	1.5066	120
tiempo_encajado_encintado	2.8771	9.0353E-6	2.8771	2.8771	120
tiempo_setup_palitos	.07660	.02411	.01877	.81950	120
total cajas producidas	30.000	.00000	30.000	30.000	120

Fig. 8 Indicadores del modelo TO BE

A partir de la simulación del modelo TO BE, se registraron mejoras significativas en diversos indicadores de producción en comparación con el escenario actual. La disponibilidad de los equipos críticos —paletizadora, moldeadora y empaquetadora— aumentó en promedio un 15.69%, alcanzando niveles superiores al 93%, lo que evidencia una mayor confiabilidad del sistema. Los tiempos de mantenimiento y reparación también mostraron mejoras importantes: el MTTR (tiempo medio de reparación) se redujo de 2.21 a 1.19 horas, mientras que el MTBF (tiempo medio entre fallas) se incrementó de 10.67 a 106 horas, reflejando una mayor estabilidad y adaptabilidad operativa. Además, gracias a la aplicación de la metodología SMED, el tiempo de cambio entre lotes se redujo de 2.54 a 1.47 horas. En términos de productividad, la producción diaria aumentó de 27 a 30 cajas, el tiempo de ciclo por lote disminuyó en 9.70% y la productividad global mejoró del 72.05% al 81.08%, representando una ganancia del 8.11%. Uno de los avances más relevantes se observó en el cuello de botella, donde el tiempo desde el encajado hasta el encintado se redujo en 42.43%. Estas mejoras son resultado directo de la implementación de herramientas como TPM (Mantenimiento Productivo Total) y la estandarización del trabajo, y validan la efectividad del modelo TO BE como estrategia para optimizar el desempeño del sistema productivo.

C. Discusión

En comparación con el estudio presentado en [5], donde la implementación de TPM combinada con la estandarización del trabajo generó un incremento del 19% en la productividad, alcanzando un índice de 0.84, la presente investigación, a través de simulación, validó una mejora del 8.11%, logrando una productividad de 0.81. En cuanto al tiempo de ciclo, el estudio anterior reportó una reducción del 16.7%, mientras que en este trabajo se obtuvo una disminución del 9.70%. Esta diferencia puede atribuirse al alcance de aplicación de las herramientas, ya que el estudio previo aplicó la estandarización a todo el proceso productivo, mientras que la presente investigación se enfocó específicamente en las etapas de encajado y encintado, donde la intervención de mano de obra directa tiene mayor impacto.

No obstante, esta investigación superó al estudio de [5] en la reducción del tiempo entre reparaciones (MTTR), logrando una mejora del 46.15%, frente al 32.16% obtenido anteriormente, lo que evidencia un avance más significativo en la gestión del mantenimiento. Por otro lado, al contrastar con los resultados de [6], donde se logró una reducción del 45.5% en el tiempo de cambio entre lotes, la presente investigación alcanzó un valor muy cercano, con una disminución del 42.13%, mediante la aplicación de la metodología SMED. En cuanto a la disponibilidad de los equipos, el estudio comparativo reportó un valor de 97.85%, mientras que esta investigación obtuvo un rango de

disponibilidad entre 93.38% y 96.41%, lo cual sigue siendo un resultado favorable dentro de los estándares operativos.

En conjunto, el modelo TO BE propuesto en esta investigación demuestra su eficacia al optimizar procesos clave en la producción de helados. Se logró maximizar la tasa de productividad total y la disponibilidad de los equipos, al tiempo que se redujeron significativamente los tiempos de procesamiento desde la estación de encajado hasta el encintado, el tiempo de ciclo total y el tiempo de cambio entre lotes. Estos resultados validan una mejora integral en la eficiencia y el rendimiento del sistema, destacando el valor de las herramientas aplicadas y la utilidad de la simulación para anticipar beneficios antes de su implementación real.

IV. Conclusiones

La presente investigación demuestra que la implementación de herramientas de Lean Manufacturing, respaldada por la simulación en el software arena, permite alcanzar mejoras sustanciales en la eficiencia del proceso de producción de helados. A través del análisis con Value Stream Mapping (VSM), se identificaron los principales problemas del sistema actual: baja disponibilidad de equipos críticos, tiempos de cambio prolongados y cuellos de botella en las etapas finales del proceso. La aplicación de TPM fue clave para aumentar la disponibilidad de las máquinas en un 15.69%, reducir en 46.15% el tiempo de reparación y extender el tiempo medio entre fallas a 106 horas, lo cual refleja una mejora notable en la gestión del mantenimiento. Por su parte, la estandarización del trabajo, enfocada en las estaciones de encajado y encintado, permitió una disminución del 42.43% en el tiempo de producción de dichas etapas. Además, mediante la integración de SMED y Standard Work, se logró reducir el tiempo de cambio entre lotes en un 43.13%. Como resultado global, la productividad se incrementó en 8.11%, alcanzando un índice de 0.81. Estos hallazgos validan que el modelo propuesto no solo mejora el desempeño operativo, sino que también sirve como una herramienta eficaz para la toma de decisiones estratégicas antes de implementar cambios reales, asegurando así una mejora integral y sostenible en el sistema productivo.

REFERENCIAS

- [1] BROOKINGS. Global manufacturing scorecard: How the US compares to 18 other nations. 2018. Available from: <https://www.brookings.edu/articles/global-manufacturing-scorecard-how-the-us-compares-to-18-other-nations/>
- [2] Comex Perú. Reporte Laboral 013. Comex Perú. 2024 Dec 21. Available from: <https://www.comexperu.org.pe/upload/articles/reportes/reporte-laboral-013-.pdf>
- [3] Output Industries. What is machine downtime. 2024. Available from: <https://www.output.industries/insights/what-is-machine-downtime>
- [4] Evocon. Machine availability. 2024.. Available from: <https://evocon.com/articles/machine-availability/>
- [5] F. A. Pacheco-Colcas, M. P. Medina-Torres, and J. C. Quiroz-Flores, "Production Model based on Systematic Layout Planning and Total Productive Maintenance to increase Productivity in food manufacturing companies," in ACM International Conference Proceeding Series, Association for Computing Machinery, Sep. 2022, pp. 299–306. doi: 10.1145/3568834.3568854.
- [6] R. Condo-Palomino, L. Cruz-Barreto, and J. Quiroz-Flores, "Increased equipment performance in agro-industrial companies through a maintenance model based on the TPM approach," in Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2022. doi: 10.18687/LACCEI2022.1.1.77.
- [7] Rockwell Automation. Manufacturing simulation. 2024. Available from: <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/software/arena-simulation/discrete-event-modeling/manufacturing.html>.
- [8] D. B. Román Ocampo, J. D. Rojas Cid, W. Pérez Bailón, P. Castillo Cedillo, and G. Valencia Gutiérrez, "Simulación en software arena para mejorar el proceso de empaque de mango," Multidisciplinas de la Ingeniería, vol. 3, no. 03, pp. 317–332, Dec. 2023, doi: 10.29105/mdi.v3i03.113.
- [9] M. Rajadell and J. L. Sánchez, LEAN MANUFACTURING. La evidencia de una necesidad, Ediciones Díaz de Santos, 1ª ed., 2010, ISBN: 978-84-7978-967-1.
- [10] Baca G. Introducción a la ingeniería industrial. 2021 Mar. Available from: <https://todoproyecto.wordpress.com/wp-content/uploads/2021/03/introduccion-a-la-ingenieria-industrial-gabriel-baca.pdf>
- [11] González J, Pérez M. Análisis de la competitividad de la industria automotriz en México. 2019 Jun 15;24(2):45-60. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/944/94443423006.pdf>
- [12] D. Mendes, P. D. Gaspar, F. Charrua-Santos, and H. Navas, "Enhanced Real-Time Maintenance Management Model—A Step toward Industry 4.0 through Lean: Conveyor Belt Operation Case Study," Electronics (Switzerland), vol. 12, no. 18, Sep. 2023, doi: 10.3390/electronics12183872.
- [13] J. Bobadilla-Calderón, C. Martinez-Flores, and C. León-Chavarri, "Implementation of Integrated Autonomous Maintenance and Standard Work to improve the productivity in post-harvest production: Case study of a Peruvian coffee farm," in Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2022. doi: 10.18687/LACCEI2022.1.1.732.
- [14] M. M. Maalouf and M. Zaduminska, "A case study of vsm and smed in the food processing industry," Management and Production Engineering Review, vol. 10, no. 2, pp. 60–68, 2019, doi: 10.24425/mper.2019.129569.
- [15] Pedro J. Torres Vega, "Simulación de sistemas con el software Arena," Universidad de Lima, Fondo Editorial, primera edición digital, ISBN: 978-9972-45-321-2, marzo 2016.
- [16] B.-F. T. Emmanuel Lorou, P. N. Muchiri, P. Kuloba, and J. K. Kimotho, "Performance Improvement of Truck Assembly Line through Modeling and Simulation Using Arena Software," Open Journal of Optimization, vol. 10, no. 03, pp. 88–100, 2021, doi: 10.4236/ojop.2021.103007.