

Application of Total Productive Maintenance (TPM) and 5'S to increase the availability of a ham packaging line of a food company

Fernández Torres, Miguel Angel¹; Casapaico Pultay, Fabiola Elizabeth¹; Loja Herrera, Pedro Modesto¹ ¹Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, miguel.fernandez1@unmsm.edu.pe, fabiola.casapaico@unmsm.edu.pe, plojah@unmsm.edu.pe

Abstract – The objective of this article was to apply TPM and 5'S to increase the availability of a ham packaging line in a food company. The model was developed by integrating both methodologies, focusing on the implementation of the 5'S and autonomous maintenance. The results obtained were that the implementation of TPM and the 5'S methodology in the ham packaging line of a food company has been shown to have a positive impact on improving the availability of the equipment. The results showed a significant increase in MTBF by 62.44% and an improvement in availability of 8.63%, going from 81.02% to 88.01%. These improvements represent a considerable reduction in failures and downtime, which has generated greater production and operational stability in the plant. The reduction of MTTR by 5.54% additionally shows that maintenance has been carried out in much shorter periods of time.

Keywords—TPM, Autonomous Maintenance, 5'S, availability.

Aplicación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y 5'S para incrementar la disponibilidad de una línea de empaquetado de jamones de una empresa de alimentos

No authors to guarantee double blind peer review.

After acceptance, you upload the final version with authors and their affiliations

Fernández Torres, Miguel Angel¹; Casapaico Pultay, Fabiola Elizabeth¹; Loja Herrera, Pedro Modesto¹,

¹Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, miguel.fernandez1@unmsm.edu.pe, fabiola.casapaico@unmsm.edu.pe, plojah@unmsm.edu.pe

Resumen—El presente artículo planteó como objetivo el aplicar TPM y 5'S para incrementar la disponibilidad de una línea de empaquetado de jamones de una empresa de alimentos. Se desarrolló el modelo integrando ambas metodologías, centrándose en la implementación de las 5'S y TPM, enfocándose en el mantenimiento autónomo. Obteniendo como resultados que, la implementación del TPM y la metodología 5'S en la línea de empaquetado de jamones de una empresa de alimentos ha demostrado tener un impacto positivo en la mejora de la disponibilidad de los equipos. Se mostró un incremento significativo del MTBF en un 62.44% y una mejora de la disponibilidad del 8.63%, pasando del 81.02% al 88.01%. Estas mejoras representan una reducción considerable en las fallas y en el tiempo de parada, lo que ha generado una mayor producción y estabilidad operativa en la planta. La reducción del MTTR en un 5.54% adicionalmente deja en evidencia que el mantenimiento se ha realizado en periodos de tiempo más cortos.

Keywords—TPM, Mantenimiento autónomo, 5'S, disponibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria, que incluye tanto a los agricultores como a las empresas de fabricación y transformación de alimentos, enfrenta el desafío de aumentar la producción sosteniblemente en un contexto de crecimiento poblacional, requiriendo así, de una gestión adecuada de la producción y una innovación constante [1]. Por lo que, surge la necesidad por implementar estrategias como el Mantenimiento Productivo Total (TPM), el cual ayuda a un mayor rendimiento de los procesos productivos. A tal grado, que diversos estudios han demostrado que el TPM puede reducir las pérdidas por averías en la línea de producción en un 35.8% y mejorar la Efectividad Global de los Equipos (OEE) del 75.8% al 86.4% [2].

La investigación se realizó en una empresa productora de jamones del sector alimentario, que tiene una posición relevante en el segmento de embutidos y quesos en América y Europa, y que además comercializa a través de marcas sólidas con presencia en 18 países. Las líneas de productos más importantes de la empresa son jamones, chorizos y salchichas. Actualmente, según información obtenida de la empresa, la máquina envasadora del área de corte de jamón denominada "Empacadora A" tiene un bajo indicador de efectividad debido

a paradas no programadas, inadecuado control de los equipos, repuestos que no son entregados a tiempo y falta de planificación de mantenimiento.

Por consiguiente, la disponibilidad resultó ser de 81.02% de la línea de producción, dejando en evidencia un bajo resultado de la disponibilidad de la Empacadora A, y luego de haber realizado un análisis detallado del periodo de inactividad no planificados y las interrupciones debidas a los procesos de transición entre productos, se resalta cómo estos factores afectan en la productividad global en el periodo de octubre hasta diciembre de 2023:

Asimismo, el envasado de una línea de jamón supone un reto especial debido a la variabilidad de presentaciones y tipos de producto, por lo que trabajar en la mejora de la producción de embutidos en el área de envasado de jamón mejorará su competitividad en el mercado nacional. También contribuirá a satisfacer la demanda insatisfecha, ya que en los últimos dos años no se ha logrado cumplir con todos los programas de producción en los plazos establecidos, generando que la demanda no cubierta de los clientes ocasione costos adicionales para la empresa, que van desde multas hasta la pérdida de clientes. Por lo que, en base a la problemática expuesta, se planteó como objetivo el aplicar TPM y 5'S para incrementar la disponibilidad de una línea de empaquetado de jamones.

II. ESTADO DEL ARTE

A. Disponibilidad de los equipos

Se define como, según lo mencionado por [3], [4], [5], el tiempo operativo considerando pérdidas que detienen la producción planificada, incluyendo averías, reparaciones, cambios de configuración, ajustes e inicios. Definiéndose como la relación entre el periodo de ejecución y el planificado de producción, tomando en cuenta las paradas no planificadas; como periodo de ejecución, se le denomina así al tiempo después de restar todas las pérdidas disponibles del tiempo total de producción se denomina tiempo de ejecución [6], [7]. Además, [8] mencionan que el valor de la disponibilidad de clase mundial es del 90%, por lo que las empresas deben establecer como meta el alcanzar o superar ese valor para tener una disponibilidad adecuada.

Por su parte, Azizah y Rinaldi [4] identifican seis grandes pérdidas que alteran la disponibilidad de los equipos, conocidas como las "Seis Grandes Pérdidas": La primera es la pérdida de inicio, categorizada como pérdida de calidad debido a chatarra/rechazo durante el inicio de producción causado por una configuración incorrecta de la máquina o un proceso de calentamiento insuficiente; le sigue, la pérdida de configuración o ajuste, generada a causa de los largos tiempos de configuración causados por el desgaste de la máquina, capacidad inferior a la esperada, desconocimiento del operador, entre otros; la tercera es la pérdida de tiempo de ciclo, o también denominada pérdida de velocidad debido a una disminución en la velocidad de procesamiento causada por el desgaste de la máquina, capacidad inferior a la indicada, o la ineficiencia del operador; la cuarta es la pérdida de chokotei, a causa de paradas menores y no planificadas, generalmente de menos de un minuto pero de alta frecuencia; la quinta es la pérdida por avería, generada debido a daños en las máquinas y equipos, generando un mantenimiento correctivo; y finalmente, la pérdida por defectos, categorizada como pérdida de calidad debido a rechazos durante la producción.

Tras revisar diversos estudios se identificaron numerosos métodos de solución para mejorar la disponibilidad. Entre ellos, se muestra el estudio de [6], donde mostraron que la aplicación de herramientas Lean, como el SMED, en una máquina de extrusión, mejoró la disponibilidad de la extrusora de 90.50% a 95.36%, representando una mejora del 5.37% e influyendo positivamente en el OEE, que aumentó en un 4.98%. Por su parte, en el estudio de [2] describieron que la implementación del TPM y la Industria 4.0 en una cinta transportadora de activos industriales incrementó la disponibilidad de 86.7% a 92.8%, lo que representa una mejora del 7.04%. Estos estudios demuestran que la aplicación de técnicas modernas de gestión tiene un impacto significativo en la disponibilidad.

B. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Se originó en Japón durante la década de 1970, como una mejora de las prácticas de mantenimiento preventivo, específicamente en la empresa Nippondenso, proveedora de Toyota, que es ampliamente reconocida por la implementación del TPM. Esta metodología se centra en incluir a todos los niveles de la organización, desde los directivos hasta los empleados de línea, promoviendo una cultura de mejora continua y participación activa en el mantenimiento y la optimización de los procesos productivos [9], [10]. Desde su introducción, el TPM ha sido adoptado globalmente en diversos sectores industriales, mejorando la operatividad de las empresas y reduciendo sus costos [11].

El TPM se define como una estrategia sistemática enfocada en maximizar la productividad empresarial a través del aumento de la eficiencia del equipo durante su uso operativo, involucrando y empoderando al personal [12]; además, se enfoca en la eliminación de fallas, accidentes y defectos dentro del sistema de producción [13]. Según Sahoo y Yadav [14], el TPM es un programa de mejora continua que establece un sistema de mantenimiento que sea productivo durante toda la vida útil de

los equipos, involucrando a todos los empleados para asegurar una adecuada utilización de la planta mediante actividades de equipo. En pocas palabras, esta metodología optimiza la efectividad del sistema y mejora la eficiencia de toda la organización, generando una cooperación entre los departamentos de operaciones y mantenimiento [15], [16].

Los pilares del TPM son fundamentales para su implementación y éxito, siendo ocho principios, según lo detallado por [3], entre ellos: mantenimiento autónomo, mejora enfocada, mantenimiento planificado, gestión de la calidad, gestión del desarrollo, educación y capacitación, TPM administrativo y de oficinas, y seguridad, salud y medio ambiente. El pilar del mantenimiento autónomo, considerado el pilar madre del TPM, delega en los operadores de las máquinas la responsabilidad de realizar mantenimientos rutinarios, como limpieza, lubricación, ajustes e inspección [3]; fomentando una actitud de propiedad en los operadores, mejorando sus habilidades para la gestión del equipo [17]. A su vez, el mantenimiento autónomo requiere una transformación cultural en la manera de llevar a cabo el mantenimiento, integrando tecnologías y prácticas de autogestión y automatización para mejorar el OEE [16]. En definitiva, la implementación del TPM, con un enfoque en estos pilares, ha demostrado ser efectiva para mejorar la disponibilidad, reducir la inactividad por paradas no planificadas y aumentar el OEE del sistema de producción [2].

Tras realizar la revisión de literatura se identificó una gran cantidad de investigaciones que implementaron el TPM, llegando a mejorar la disponibilidad. Tales como el de Canahua [18] quien reporta que, tras aplicar TPM en una productora de repuestos, la disponibilidad aumentó de 76.68% a 96.88%, mejorando también los indicadores MTBF y MTTR. Por su parte, Xiang y Feng [17] encontraron que, en una PYME manufacturera, la disponibilidad de una máquina CF_Mill incrementó de 80.2% a 95.3%. Asimismo, en el estudio de [15] describieron que la disponibilidad en una máquina cerradora de una empresa agroindustrial aumentó de 81.32% a 97.85%, integrando TPM con SMED y estandarización del trabajo. Otros estudios, como el de Ihueze y U-Dominic [19] encontraron mejoras en una empresa de procesamiento de alimentación, donde la disponibilidad aumentó de 70.37% a 88.92%. En el sector textil, el estudio de [20] dejaron en evidencia que la aplicación de TPM y Lean Manufacturing generó un aumento en la eficiencia productiva del 42% y una reducción del 73.81% en la improductividad y las mermas. Finalmente, en el estudio de [21] redujeron las intervenciones correctivas en centros de mecanizado y tornos CNC, a causa del TPM. Esto deja en evidencia el impacto positivo que genera el TPM en la disponibilidad y en diversos ámbitos empresariales.

C. Metodología 5'S

Se considera como la base de la filosofía Lean Manufacturing, la cual tiene como objetivo mejorar el rendimiento del sistema productivo mediante la erradicación de procesos que no generan valor. La implementación de Lean, apoyada en herramientas como las 5'S, la gestión visual, VSM, Kaizen o Kanban, incrementa la probabilidad de aumentar la productividad al reducir el flujo de desperdicios, disminuyendo así los costos y mejorando la calidad del producto [22]. A la par, se destaca que el principio de orden y limpieza de las 5'S puede ser aplicado en cualquier lugar de trabajo, desde tiendas y servicios hasta manufactura, construcción, almacenes y oficinas [23]; además tener influencia en la seguridad laboral. Citando a [24], se describe a las 5'S como un método originado en Japón para establecer un espacio de trabajo limpio y eficiente, actuando como fundamento para crear una filosofía de trabajo entre la administración y los empleados, quienes deben sostener estas prácticas para lograr un entorno laboral productivo.

Cada una de las 5'S abarca un aspecto específico de la organización y limpieza del espacio de trabajo. Dicho por [25], la primera S, Seiri (Clasificar), implica la separación de los elementos necesarios de los innecesarios, eliminando lo que no se utiliza; la segunda S, Seiton (Organizar), se refiere a la disposición de los elementos necesarios, de manera que se minimicen las demoras y se facilite el acceso rápido a los mismos; la tercera S, Seiso (Limpiar), promueve la limpieza del área de trabajo, involucrando a toda la estructura organizativa para mantener un entorno ordenado y sin pérdidas de materiales; la cuarta S, Seiketsu (Estandarizar), se centra en mantener y mejorar la limpieza y el orden, asegurando que todos los procesos cumplan con los estándares establecidos, lo que mejora la imagen de la empresa; finalmente, la quinta S, Shitsuke (Disciplina), refleja la importancia de la voluntad y

compromiso para realizar las tareas correctamente y mejorar continuamente, fomentando un ambiente de trabajo organizado y contribuyendo al desarrollo profesional y personal del personal de trabajo.

Tras realizar la revisión de literatura se identificaron investigaciones que implementaron las 5'S, llegando a tener un impacto positivo en la organización. Así como [22], describieron que la integración de las 5'S con los pilares del TPM excedió las expectativas del indicador MTBF por 45 minutos y garantizó un aumento del 3.36% en la disponibilidad. Asimismo, en el sector de la confección, en el estudio de [26] descubrieron que la implementación de las 5'S junto con TPM y DDMRP en una PYME del sector textil y de confección resultó en un aumento del 87.77% en la precisión total del inventario y del 95% en la precisión del inventario, además de una reducción de productos defectuosos en un 2%. Por su parte, Zadry y Darwin [27] mostraron que en una PYME en Sumatra Occidental, la aplicación de las 5'S y el ciclo PDCA redujo los productos no conformes del 12% al 0%, generando una ganancia de 0.76 rupias por cada rupia invertida. Por último, en el sector alimentario, en el estudio de [28] mostraron que la aplicación de las 5'S, TPM y SMED en una línea de producción aumentó la capacidad utilizada de la producción en un 39% y el OEE en un 11.99%. Dejando en evidencia el impacto positivo que genera la aplicación de las 5'S.

III. APORTE / CONTRIBUCIÓN

A. Modelo de solución

Se diseña un modelo de proceso el cual se basa en el 5'S y el TPM con un enfoque en el mantenimiento autónomo, con el fin de mejorar la baja disponibilidad de los equipos, tal y como se muestra en la Fig. 1.

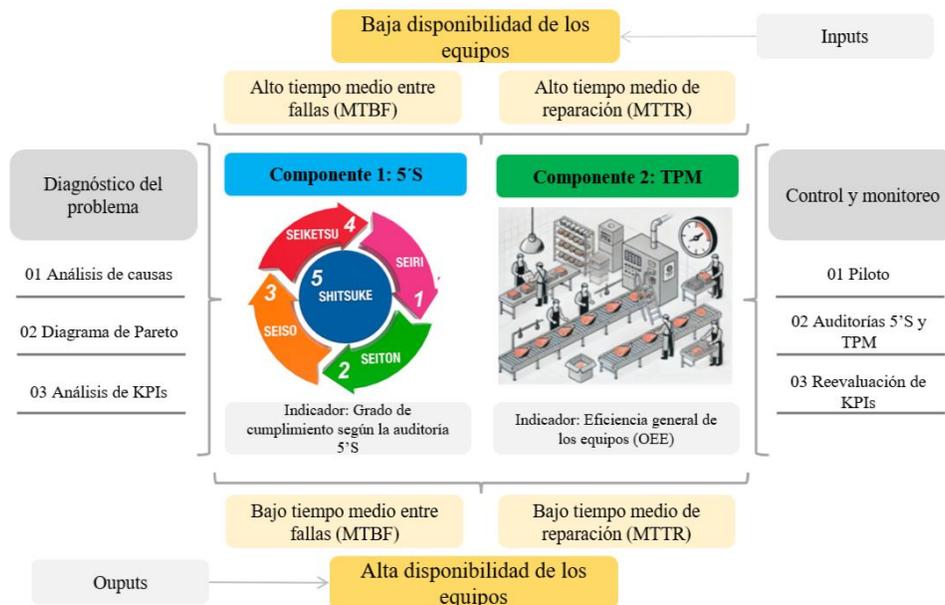


Fig. 1 Modelo de solución basado en las 5'S y TPM.

El modelo propuesto se explica en la necesidad de aumentar la disponibilidad de los equipos, abordando problemas como el bajo tiempo medio entre fallas (MTBF) y el alto tiempo medio de reparación (MTTR); por lo que, el modelo integra dos componentes clave: las 5'S y el TPM. En el caso de las 5'S, esta mejora la organización, clasificación y limpieza, desempeñando actividades de estandarización y disciplina en el lugar de trabajo que complementen la mejora, mientras que el TPM involucra a todos los empleados en el mantenimiento autónomo, además de la educación continua. La implementación se realiza en fases, comenzando con un diagnóstico del problema y el análisis de KPIs, seguido de la implementación de componentes, para posteriormente, realizar las auditorías y reevaluación de los indicadores. Se espera que este enfoque incremente el MTBF, reduzca el MTTR, y mejore la disponibilidad, logrando una producción continua y de alta calidad en la línea de empaquetado de jamones.

B. Componentes del modelo

a) 5'S

Los procedimientos se dividen en tres fases, una en donde se realiza la planificación preliminar de la implementación, otra en donde se implementan cada una de las 5'S, y la última en donde se realiza un seguimiento y mejora, siendo necesario identificar si existieron algunas no conformidades.

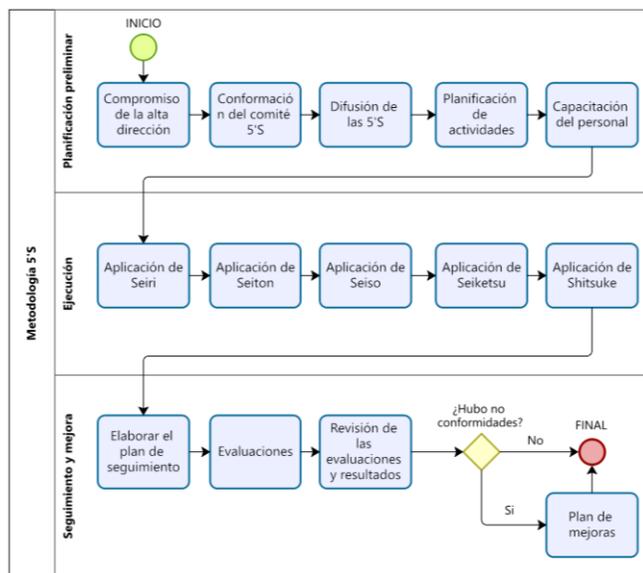


Fig. 2 Desarrollo de las 5'S.

b) TPM

En el caso del TPM, se está enfocando sobre todo en la implementación del mantenimiento autónomo, en donde se establecen siete actividades, tal y como se visualiza en la Fig. 3, en donde es necesario involucrar a todo el personal de la línea de empaquetado de jamones para la realización de actividades de limpieza básicas, lubricación y especialización en cada uno de sus puestos de trabajo.

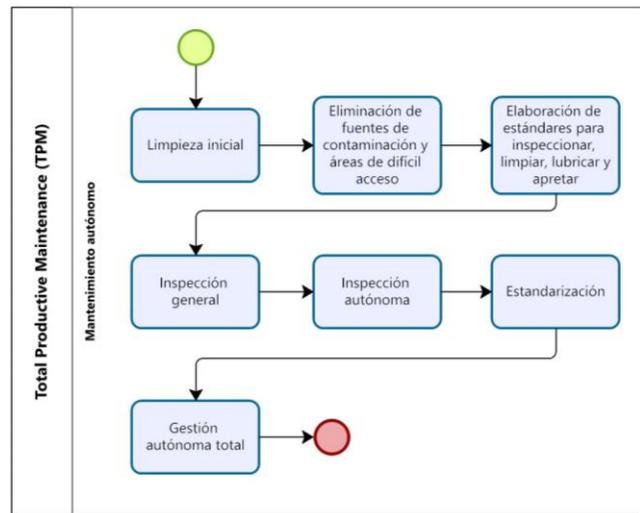


Fig. 3 Desarrollo del TPM.

C. Indicadores del modelo propuesto

a) MTBF (Tiempo medio entre fallas)

Se emplea para mostrar el tiempo promedio que una máquina opera sin fallos [5], [22].

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo disponible} - \text{Tiempo de parada}}{\text{Número de fallas}} \quad (1)$$

b) MTTR (Tiempo medio de reparación)

Es el tiempo medio empleado para reparar el equipo o sistema tras una avería [23].

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de fallas}} \quad (2)$$

c) Disponibilidad (D)

Indica la capacidad de un equipo o sistema para estar operativo cuando se necesita [5], [22].

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3)$$

IV. VALIDACIÓN

A. Diagnóstico inicial

Para el diagnóstico se analizaron los datos del periodo de octubre a diciembre del 2023 de la línea de empaquetado de jamones, mostrando el resumen en la Tabla I, en donde se evidencia que el tiempo total disponible fue de 71 588 minutos, con un tiempo de parada acumulado de 13 590 minutos y un total de 249 fallas. El MTBF promedio durante este período fue de 232.92 minutos, mientras que el MTTR fue de 54.58 minutos. Por su parte, la disponibilidad promedio de los equipos se mantuvo en 81.02%. Así se justifica la necesidad de disminuir las interrupciones no planificadas y aumentar la disponibilidad de los equipos.

TABLA I
SITUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD EN EL PRE TEST

Mes	Tiempo disponible (min)	Tiempo de parada (min)	Número de fallas	MTBF (min)	MTTR (min)	D (%)
Oct-23	23863	4530	77	251.07	58.83	81.02%
Nov-23	22830	4575	89	205.11	51.40	79.96%
Dic-23	24895	4485	83	245.90	54.04	81.98%
Total	71588	13590	249	232.92	54.58	81.02%

B. Diseño de validación

Dentro de la implementación en la Empacadora A, primero se realizó la aplicación de las 5'S. La cual comenzó con una fase de planificación preliminar donde la alta dirección se comprometió firmemente y entendió la importancia de cada fase, estableciendo los procedimientos para la implementación de las 5'S y conformando un Comité 5'S. Durante esta fase, se difundió la metodología entre el personal, se planificaron los objetivos y se capacitó a los empleados. Se necesitó de gran apoyo de la alta dirección para motivar la colaboración de todos los empleados en pro de lograr los beneficios de las 5'S.

En la fase de Ejecución, se implementaron de manera práctica las cinco etapas de la metodología 5'S. La primera etapa, Clasificar, se centró en organizar y eliminar lo innecesario, donde se identificaron y clasificaron los elementos necesarios e innecesarios mediante un flujograma de disposición, utilizando tarjetas de eliminación. En la etapa Organizar, se ordenaron los elementos necesarios para facilitar el acceso y uso, con la ayuda de un diagrama de espagueti para optimizar los movimientos y la distribución del área de trabajo. La tercera etapa, Limpiar, se enfocó en la limpieza y el mantenimiento del área de trabajo, con un programa de limpieza detallado que especifica tareas diarias, semanales y mensuales, y el uso de productos químicos autorizados. En la etapa Estandarizar, se definieron normas para preservar la organización y la higiene alcanzadas en fases previas mediante listas de verificación, procedimientos estandarizados y controles visuales. Finalmente, en la etapa Disciplina, se promovió la disciplina y el compromiso continuo con las prácticas establecidas, realizando auditorías regulares y un sistema de reconocimiento e incentivos para motivar al personal.

La fase de Seguimiento y Mejora aseguró la sostenibilidad y efectividad a largo plazo de la implementación de las 5'S. Se elaboró un plan de seguimiento para monitorear el progreso y cumplimiento de las prácticas establecidas. Se realizaron evaluaciones periódicas para medir el desempeño y se revisaron los resultados obtenidos. Basándose en estas evaluaciones, se identificaron áreas de mejora y se desarrollaron planes para continuar optimizando los procesos. Por ejemplo, tras la implementación de Clasificar, se observó que la situación inicial de la estantería de materiales y la zona de limpieza mejoró significativamente, reduciendo movimientos innecesarios y tiempos de búsqueda. La implementación de

Organizar resultó en un grado de cumplimiento del 80.53% en la última auditoría, mejorando desde un 10.53% en la auditoría inicial. En general, la implementación de las 5'S mejoró el entorno de trabajo más ordenado, seguro y eficiente, incrementando la disponibilidad en la línea de empaquetado de jamones.

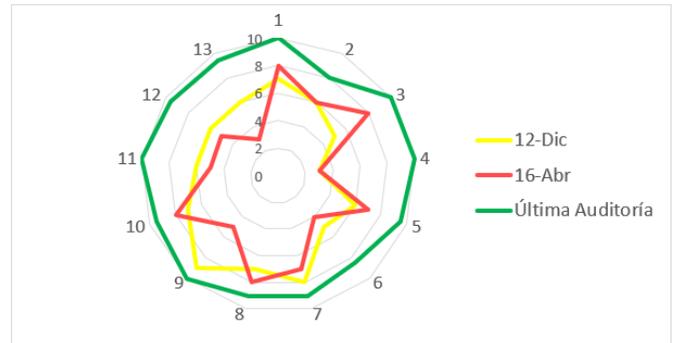


Fig. 4 Nivel de cumplimiento de la primera S.

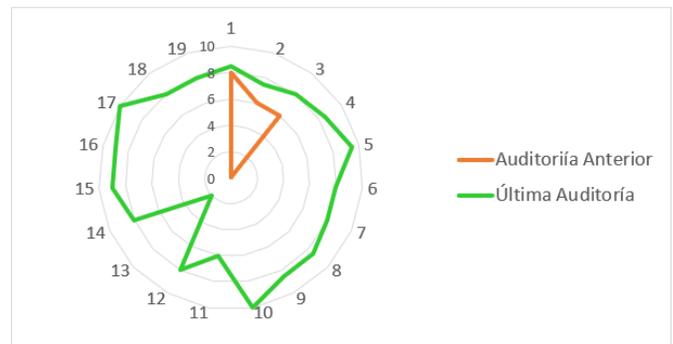


Fig. 5 Nivel de cumplimiento de segunda S

Para la implementación del TPM, el Paso 1 se enfoca en la Limpieza Inicial, permitiendo identificar y corregir anomalías evidentes en los equipos. El Paso 2 implica la Erradicación de fuentes de contaminación y zonas de difícil acceso, asegurando un ambiente de trabajo limpio y seguro. En el Paso 3, se procede con la Inspección General de los equipos, identificando posibles fallas y áreas de mejora. El Paso 4 introduce la Inspección Autónoma, donde los operadores de máquinas realizan tareas básicas de mantenimiento como limpieza, lubricación e inspección.



Fig. 6 Tablero de implementación del mantenimiento autónomo

El Paso 5 se centra en la Elaboración de estándares para inspeccionar, limpiar, lubricar y apretar (LALI), estandarizando estas actividades de mantenimiento autónomo para cada máquina, incluyendo diagramas, métodos y herramientas necesarias. El Paso 6 implica la Estandarización de todos los procedimientos y prácticas de mantenimiento para asegurar consistencia y calidad en las operaciones. Finalmente, el Paso 7 establece la Gestión Autónoma Total, donde los operadores son completamente responsables de la operación y el mantenimiento de los equipos, fomentando una cultura de mejora continua y autogestión.

C. Resultados obtenidos

Tras la implementación de las mejoras, los resultados demostraron un aumento en la disponibilidad de la línea de empaquetado de jamones. En este caso se evaluaron los meses de abril y mayo del 2024, mostrando que el tiempo disponible fue de 47 290 minutos con un tiempo de parada de 5671 minutos y 110 fallas, obteniendo un MTBF promedio de 378.36 minutos (Visualizar Fig. 7), un MTTR promedio de 51.55 minutos (Visualizar Fig. 8) y una disponibilidad promedio del 88.01%. Estos resultados indican una mejora en la disponibilidad del 7.09% en comparación con el promedio de 81.02% antes de la implementación de las mejoras (Visualizar Fig. 9).

TABLA II
SITUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD EN EL POST TEST

Mes	Tiempo disponible (min)	Tiempo de parada (min)	Número de fallas	MTBF (min)	MTTR (min)	D (%)
Abr-24	28340	3204	61	412.06	52.53	88.69%
May-24	18950	2467	49	336.40	50.34	86.98%
Total	47290	5671	110	378.36	51.55	88.01%

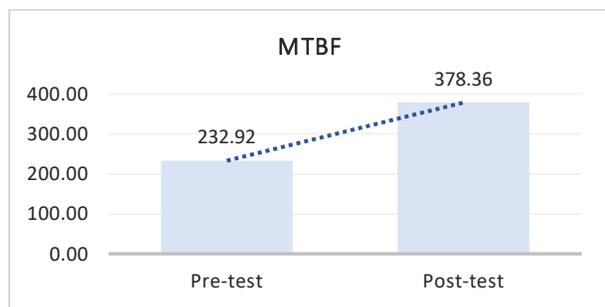


Fig. 7 Comparación de MTBF.

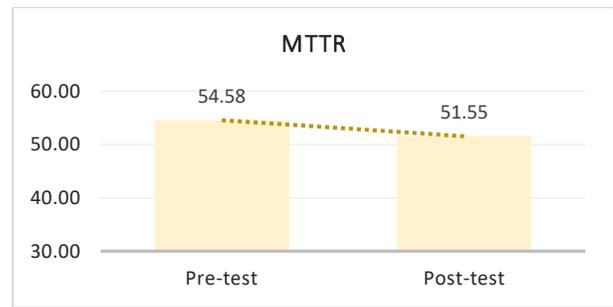


Fig. 8 Comparación de MTTR.

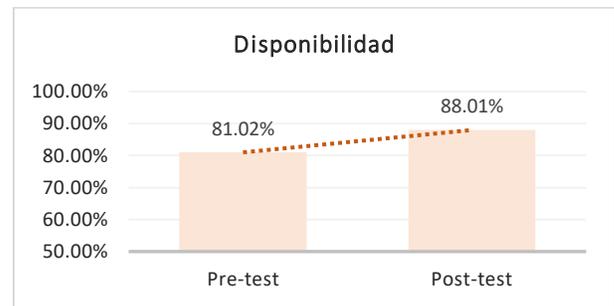


Fig. 9 Comparación de la disponibilidad.

Estos resultados muestran los beneficios del TPM y 5'S en la Empacadora A y la reducción de paradas no planificadas durante el proceso de empaquetado de jamones.

V. DISCUSIÓN

Los resultados de la implementación del TPM y las 5'S en la línea de empaquetado de jamones mostraron mejoras en los indicadores. Después de la implementación, el MTBF aumentó a 378.36 minutos, mostrando una mejora del 62.44%, el MTTR se redujo a 51.55 minutos, representando una reducción del 5.54%, y la disponibilidad incrementó a 88.01%, lo que refleja una mejora del 8.63%. Estos resultados fueron similares con estudios previos, como el de [24], donde se observó un incremento en la disponibilidad del 79.25% al 94.63% tras la aplicación de TPM y 5'S, y un aumento del OEE del 74.75% al 92.63%. Similarmente, Canahua [18] evidenció mejoras en una empresa metalmecánica con incrementos en el MTBF de 50.86 a 237.65 horas y una reducción del MTTR de 7.76 a 0.27 horas, llevando la disponibilidad del 76.68% al 96.88%, una mejora del 26.34%. Asimismo, en el estudio de [15] también se generó un incremento en la disponibilidad del 81.32% al 97.85% y un aumento en el MTBF de 21.43 a 94.06 horas. Esto refleja que la implementación de TPM y 5'S en diferentes industrias ha resultado en mejoras en la disponibilidad de los equipos, alineándose con los resultados obtenidos en la línea de empaquetado de jamones. La mejora del 8.63% en la disponibilidad en esta investigación muestra un impacto positivo, aunque ligeramente menor al compararlo con los incrementos reportados en otras investigaciones, señalando que es necesario continuar con la mejora de la Empacadora A,

pudiéndose continuar con la implementación de los pilares del TPM para alcanzar niveles de mejora aún mayores.

VI. CONCLUSIÓN

En conclusión, la implementación del TPM y la metodología 5S en la línea de empaquetado de jamones ha demostrado tener un positivo impacto en la mejora de la disponibilidad de los equipos. Los resultados mostraron un incremento significativo del MTBF en un 62.44% y una mejora de la disponibilidad del 8.63%, pasando del 81.02% al 88.01%. Estas mejoras representan una reducción considerable en las fallas y en el tiempo de parada, lo que ha generado una mayor producción y estabilidad operativa en la planta. La reducción del MTTR en un 5.54% adicionalmente deja en evidencia que el mantenimiento se ha realizado en periodos de tiempo más cortos.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su más sincero agradecimiento a los operarios de la Empacadora A por su dedicación y compromiso durante la implementación del TPM y la metodología 5S. Su esfuerzo y colaboración fueron fundamentales para el éxito del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] I. C. Baierle *et al.*, «Competitiveness of Food Industry in the Era of Digital Transformation towards Agriculture 4.0», *Sustainability*, vol. 14, n.º 18, p. 11779, sep. 2022, doi: 10.3390/su141811779.
- [2] D. Mendes, P. D. Gaspar, F. Charrua, y H. Navas, «Integrating TPM and Industry 4.0 to Increase the Availability of Industrial Assets: A Case Study on a Conveyor Belt», *Processes*, vol. 11, n.º 7, Art. n.º 7, jul. 2023, doi: 10.3390/pr11071956.
- [3] A. Zarreh, H. Wan, Y. Lee, C. Saygin, y R. A. Janahi, «Cybersecurity Concerns for Total Productive Maintenance in Smart Manufacturing Systems», *Procedia Manuf.*, vol. 38, pp. 532-539, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.067.
- [4] F. N. Azizah y D. N. Rinaldi, «Effort to Improve Overall Equipment Effectiveness Performance with Six Big Losses Analysis in the Packaging Industry PT BMJ», *IJIEM - Indones. J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 3, n.º 1, pp. 26-34, feb. 2022, doi: 10.22441/ijiem.v3i1.13508.
- [5] R. Thorat y G. T. Mahesha, «Improvement in productivity through TPM Implementation», *Mater. Today Proc.*, vol. 24, pp. 1508-1517, ene. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.04.470.
- [6] T. Haddad, B. W. Shaheen, y I. Németh, «Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) of Extrusion Machine Using Lean Manufacturing Approach», *Manuf. Technol.*, vol. 21, n.º 1, pp. 56-64, feb. 2021, doi: 10.21062/mft.2021.006.
- [7] S. Di Luozzo, G. R. Pop, y M. M. Schiraldi, «The Human Performance Impact on OEE in the Adoption of New Production Technologies», *Appl. Sci.*, vol. 11, n.º 18, Art. n.º 18, ene. 2021, doi: 10.3390/app11188620.
- [8] S. Di Luozzo, F. Staronni, y M. M. Schiraldi, «On the relationship between human factor and overall equipment effectiveness (OEE): An analysis through the adoption of analytic hierarchy process and ISO 22400», *Int. J. Eng. Bus. Manag.*, vol. 15, p. 18479790231188548, ene. 2023, doi: 10.1177/18479790231188548.
- [9] A. Giuria, C. Noriega, y E. Altamirano, «Maintenance management model based on RCM and TPM to optimize times and costs within the useful life cycle of nautical assets», en *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions"*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2022, doi: 10.18687/LACCEI2022.1.1.747.
- [10] J. S. Guillen y A. M. Depaz, «Mantenimiento productivo total en la eficiencia productiva de las empresas industriales: una breve revisión de literatura», *SIGNOS Investig. En Sist. Gest.*, vol. 16, n.º 1, ene. 2024, doi: 10.15332/24631140.8807.
- [11] K. Escobar, K. Barcia, X. Mancheno, y F. Vergara, «Mejora del cálculo del Indicador de Eficiencia General (OEE) utilizando metodología Seis Sigma, en una planta productora de alimentos balanceados en Durán – Ecuador», en *Proceedings of the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities"*, Jamaica: Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2019, doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.291.
- [12] R. P. Mishra, G. Gupta, y A. Sharma, «Development of a Model for Total Productive Maintenance Barriers to Enhance the Life Cycle of Productive Equipment», *Procedia CIRP*, vol. 98, pp. 241-246, 2021, doi: 10.1016/j.procir.2021.01.037.
- [13] Musthopa, B. Harsanto, y A. Yunani, «Electric power distribution maintenance model for industrial customers: Total productive maintenance (TPM), reliability-centered maintenance (RCM), and four-discipline execution (4DX) approach», *Energy Rep.*, vol. 10, pp. 3186-3196, nov. 2023, doi: 10.1016/j.egy.2023.09.129.
- [14] S. Sahoo y S. Yadav, «Influences of TPM and TQM Practices on Performance of Engineering Product and Component Manufacturers», *Procedia Manuf.*, vol. 43, pp. 728-735, ene. 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.02.111.
- [15] R. A. Condo, L. R. Cruz, y J. C. Quiroz, «Increased equipment performance in agro-industrial companies through a maintenance model based on the TPM approach», en *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions"*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2022, doi: 10.18687/LACCEI2022.1.1.77.
- [16] M. Suryaprakash, M. Gomathi Prabha, M. Yuvaraja, y R. V. Rishi Revanth, «Improvement of overall equipment effectiveness of machining centre using tpm», *Mater. Today Proc.*, vol. 46, pp. 9348-9353, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.820.
- [17] Z. Tian Xiang y C. Jeng Feng, «Implementing total productive maintenance in a manufacturing small or medium-sized enterprise», *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 14, n.º 2, p. 152, feb. 2021, doi: 10.3926/jiem.3286.
- [18] N. M. Canahua, «Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica», *Ind. Data*, vol. 24, n.º 1, Art. n.º 1, ago. 2021, doi: 10.15381/ldata.v24i1.18402.
- [19] C. C. Ihueze y C. M. U-Dominic, «Maximizing Overall Equipment Effectiveness in a Food Processing Industry: A Case Study», *Arch. Curr. Res. Int.*, vol. 11, n.º 4, pp. 1-10, 2017, doi: 10.9734/ACRI/2017/38187.
- [20] P. A. Alcazar, M. F. Collao, y A. E. Escalante, «Production model based on Lean Manufacturing and TPM to increase efficiency in a company in the textile sector», en *Proceedings of the 3rd LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development (LEIRD 2023): "Igniting the Spark of Innovation: Emerging Trends, Disruptive Technologies, and Innovative Models for Business Success"*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2023, doi: 10.18687/LEIRD2023.1.1.589.
- [21] G. Pinto, F. J. G. Silva, A. Baptista, N. O. Fernandes, R. Casais, y C. Carvalho, «TPM implementation and maintenance strategic plan – a case study», *Procedia Manuf.*, vol. 51, pp. 1423-1430, ene. 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.198.
- [22] J. Aguilar, Z. Campos, C. Leon, y M. Saenz, «Model based on TPM and Standardization for the maximization of efficiency in an SME in the plastics sector», en *Proceedings of the 2nd LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development (LEIRD 2022)*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2022, doi: 10.18687/LEIRD2022.1.1.71.
- [23] C. Ruiz, T. Castillo, y M. Paredes, «Effects of Implementation of 5S in Heavy Equipment Maintenance Workshops», presentado en 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC),

- Berkeley, California, USA, jul. 2020, pp. 589-600. doi: 10.24928/2020/0010.
- [24] J. A. González *et al.*, «Application of Lean Manufacturing Tools to increase Productivity in a cleaning products manufacturing company», en *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023): "Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development"*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2023. doi: 10.18687/LACCEI2023.1.1.666.
- [25] J. R. Correa, G. M. Montalvo, y G. A. Montoya, «5S Methodology: literature review and implementation analysis», *J. Sci. Technol. Res. Ind.*, vol. 3, n.º 2, Art. n.º 2, dic. 2022, doi: 10.47422/jstri.v3i2.30.
- [26] C. Cáceres, A. E. Romero, y J. C. Quiroz, «Production management model based on LEAN, TPM, DDMRP, and change management tools to reduce lead times in an SME in the garment manufacturing sector», en *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023): "Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development"*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2023. doi: 10.18687/LACCEI2023.1.1.206.
- [27] H. R. Zadry y R. Darwin, «The Success of 5S and PDCA Implementation in Increasing the Productivity of an SME in West Sumatra», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1003, n.º 1, p. 012075, dic. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012075.
- [28] S. Barbieri, A. Flores, y J. C. Alvarez, «TPM, SMED and 5S model to increase efficiency in an automated production line for a company in the food sector», en *2022 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)*, oct. 2022, pp. 1-5. doi: 10.1109/CONIITI57704.2022.9953721.