

Influence of preventive maintenance over a metalworking company productivity

Kenler Quiroz Sánchez ¹, Abner Ronall Reyes Quispe ², and Patricia del Pilar Pinedo Palacios ³

^{1,2,3}Universidad César Vallejo, Perú, kquirozsa@ucvvirtual.edu.pe, rabnerqu@ucvvirtual.edu.pe, dpinedopa@ucvvirtual.edu.pe

Abstract– The general objective of this research was to determine how maintenance management influences the productivity of a metal-mechanical company in Chimbote. The methodology used was applied, quantitative approach and pre-experimental design. As results, it was initially determined that the average time between failures indicator was 21 hours, the average time to repair indicator was 12.67 hours, the availability indicator obtained a total of 62.33%, the performance indicator was 83.62%, the quality was 74.74%, and the OEE came out 39.01%, likewise, the efficiency dimension was 77.55% and in the effectiveness dimension it was 76.86%, being very low indicators; For this, preventive maintenance management was applied where the implementation of machine maintenance protocols included both calibration and preventive measures, a preventive maintenance schedule was developed based on the average time between machine failures, the 5S methodology and a training plan was developed. In conclusion, it was found that efficiency increased by 17.55% and effectiveness increased by 18.52%, implying that now the metalworking company fulfills its orders within the established time.

Keywords: maintenance management, metalworking, productivity.

Influencia del mantenimiento preventivo sobre la productividad de una empresa metalmecánica

Influence of preventive maintenance over a metalworking company productivity

Kenler Quiroz Sánchez¹, Abner Ronall Reyes Quispe², and Patricia del Pilar Pinedo Palacios³

^{1,2,3}Universidad César Vallejo, Perú, kquirozsa@ucvvirtual.edu.pe, rabnerqu@ucvvirtual.edu.pe, dpinedopa@ucvvirtual.edu.pe

Resumen– La presente investigación tuvo como objetivo general determinar de qué manera influye la gestión de mantenimiento sobre la productividad de una empresa metal mecánica en Chimbote. La metodología empleada fue de tipo aplicado, enfoque cuantitativo y de diseño pre experimental. Como resultados se determinó de manera inicial que el indicador tiempo medio entre fallas salió 21 horas, el indicador tiempo medio para reparar fue de 12.67 horas, el indicador disponibilidad se obtuvo un total de 62.33%, el indicador rendimiento fue de 83.62%, el indicador calidad fue de 74.74%, y el OEE salió 39.01%, asimismo, la dimensión eficiencia fue de 77.55% y en la dimensión eficacia fue de 76.86%, siendo indicadores muy bajo; para ello, se aplicó la gestión de mantenimiento preventivo donde se realizó la implementación de protocolos de mantenimiento de las máquinas incluyó tanto calibración como medidas preventivas, se elaboró un cronograma de mantenimiento preventivo en base al tiempo medio entre fallas de las máquinas, se implementó la metodología 5S y se elaboró un plan de capacitaciones. Como conclusión se halló que la eficiencia aumentó un 17.55% y la eficacia incremento un 18.52%, dando a entender que ahora la empresa metalmecánica cumple con sus pedidos en el tiempo establecido.

Palabras clave: gestión de mantenimiento, metalmecánica, productividad.

Summary – The general objective of this research was to determine how maintenance management influences the productivity of a metal-mechanical company in Chimbote. The methodology used was applied, quantitative approach and pre-experimental design. As results, it was initially determined that the average time between failures indicator was 21 hours, the average time to repair indicator was 12.67 hours, the availability indicator obtained a total of 62.33%, the performance indicator was 83.62%, the quality was 74.74%, and the OEE came out 39.01%, likewise, the efficiency dimension was 77.55% and in the effectiveness dimension it was 76.86%, being very low indicators; For this, preventive maintenance management was applied where the implementation of machine maintenance protocols included both calibration and preventive measures, a preventive maintenance schedule was developed based on the average time between machine failures, the 5S methodology and a training plan was developed. In conclusion, it was found that efficiency increased by 17.55% and effectiveness increased by 18.52%, implying that now the metalworking company fulfills its orders within the established time.

Keywords: maintenance management, metalworking, productivity.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión de mantenimiento desempeña un papel crucial en garantizar el funcionamiento adecuado de los equipos y maquinarias en una empresa [1]. Consiste en llevar a cabo inspecciones y reparaciones periódicas en los equipos antes de

que ocurran fallas o averías, lo que resulta la reducción de los costos de reparación y una minimización del tiempo de inactividad [2]. La gestión de mantenimiento tiene un objetivo principal garantizar la productividad de las funciones de las máquinas, permitiendo así la organización de un proceso de producción con calidad, productividad, seguridad y costos adecuado [3].

El plan de mantenimiento preventivo desempeña una función importante en el funcionamiento adecuado de cualquier planta industrial [4]. Para lograr un buen mantenimiento preventivo, se propone una jerarquía de los equipos de proceso según su importancia en la operación de las plantas [5]. Esta propuesta se basa en la idea de la planificación del plan de mantenimiento debe considerar diversos criterios, no solo el costo o el tiempo, sino que debe ser un enfoque multicriterio [6]

El mantenimiento tiene varios beneficios, como la reducción del tiempo de inactividad no planificado, una mejor conservación del equipo, ahorro en costos de mantenimiento en comparación con el mantenimiento correctivo, generación de información programática y una relación sólida entre producción y mantenimiento [7]. El mantenimiento preventivo evita paradas inesperadas y mejora significativamente la usabilidad de los equipos [8]. Para lograr un servicio de mantenimiento óptimo, es necesario combinar el mantenimiento predictivo y preventivo, aplicando prácticas adecuadas a cada parte del activo para garantizar su disponibilidad en el momento adecuado durante el proceso productivo [9].

En primer lugar, la eficiencia y la productividad son aspectos cruciales para cualquier empresa, especialmente en la industria metalmecánica, donde la maquinaria desempeña un rol fundamental en la producción. La falta de implementación del TPM podría resultar en períodos de inactividad imprevistos, costos de reparación elevados y una disminución en la capacidad productiva, lo cual amenaza la competitividad en un mercado cada vez más exigente [10].

Además, la correcta aplicación del TPM no solo conlleva beneficios económicos, sino también ambientales. Al reducir los tiempos de inactividad de la maquinaria y optimizar su rendimiento, las empresas pueden reducir su consumo de energía, materiales y recursos naturales, contribuyendo así a objetivos de sostenibilidad y a la mitigación del cambio climático. En un contexto donde la responsabilidad ambiental adquiere una creciente relevancia, el TPM se posiciona como una herramienta esencial para fomentar prácticas empresariales responsables [11].

Actualmente vivimos en un mundo altamente competitivo donde las empresas necesitan ser dinámicas en sus mercados, manteniendo niveles de calidad y productividad y sosteniéndolas en su entorno [12]. La gestión del mantenimiento es una tarea de alto valor que requiere un enfoque de mantenimiento bien estructurado que le permita lograr todas las metas y objetivos de su empresa, lo que ayuda a reducir costos, reducir el tiempo de inactividad de los equipos y mejorar la calidad [13]. La fabricación de productos, el aumento de la productividad y el uso de equipos seguros, bien equipados y confiables nos permiten cumplir con las órdenes de producción a tiempo [14].

Ante lo mencionado, se planteó la siguiente pregunta de investigación ¿de qué manera influye la gestión de mantenimiento sobre la productividad de una empresa metal mecánica en Chimbote?

A su vez, la investigación tuvo justificación, ya que la investigación nos ayuda a identificar mejoras en el desempeño en las actividades realizadas por el personal del área de servicio, aumentando la productividad relacionada con el desempeño y la supervisión en las áreas de servicio [15]. Además, las empresas con instalaciones y equipos debidamente mantenidos pueden reducir significativamente el riesgo de accidentes y aumentar la productividad [16].

Técnicamente, en este estudio, al adaptar sus procesos relacionados con la acción preventiva para lograr mejores resultados, el objetivo y la tarea de las empresas es tratar de reducir el tiempo de trabajo y reducir los costos para ser competitivos en los mercados [17]. Por lo tanto, es muy importante observar las medidas preventivas planificadas, ya que reduce el costo de las reparaciones, reduce los errores y extiende la funcionalidad del equipo por años [18].

Se justificó el estudio porque al reducir los costos de realizar las actividades en la gestión de mantenimiento preventivo planificadas, la empresa logrará una mejor producción en condiciones óptimas y reducirá los tiempos muertos [19].

Luego, se planteó el siguiente objetivo general determinar de qué manera influye la gestión de mantenimiento sobre la productividad de una empresa metal mecánica en Chimbote.

Los objetivos específicos que se establecieron fueron OE1: Medir la gestión de mantenimiento y productividad de la empresa. OE2: Implementación de un plan de mantenimiento preventivo. OE3: Medir el impacto ejercido sobre la productividad.

Luego, se planteó la siguiente hipótesis de investigación: la gestión de mantenimiento influye significativamente sobre la productividad de una empresa metal mecánica en Chimbote.

II. METODOLOGIA

La presente investigación es de tipo aplicada, dado que se aplicó un estímulo con la finalidad de mejorar la productividad de la empresa metalmeccánica [20]

El diseño de investigación es denominado pre experimental, debido a que se realiza antes de llevar a cabo esta investigación propiamente dicha [21].

La población estuvo conformada por el total de las 10 máquinas de taller en la empresa metal mecánica ubicada en Chimbote.

La muestra estuvo formada por el total de la población, siendo las 10 máquinas de taller en la empresa metal mecánica ubicada en Chimbote.

Se realizó un muestreo no probabilístico, debido a que, la información puede conseguirse de toda la población objetivo, no requiriendo cálculo de muestreo [22].

El objeto de estudio en esta investigación fueron las máquinas de la empresa metalmeccánica.

La técnica permite observar el comportamiento de unas situaciones que se desea estudiar [23].

Para la presente investigación como técnica al análisis documental, este es un proceso para recolectar información mediante documentos y se usa para tener conocimientos previos, sobre el tema [24].

Como instrumento de recolección de datos se utilizó a la ficha de recolección de datos, tanto para la variable gestión de mantenimiento y la productividad [25].

La investigación empleó dos métodos distintos de análisis: el método de análisis descriptivo y el método de análisis inferencial [26].

III. RESULTADOS

Al medir la gestión de mantenimiento y productividad de la empresa se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 1.

En la tabla 1 se muestra que el indicador tiempo medio entre fallas salió 21 horas, esto refleja que en promedio cada 21 horas una máquina sufre una falla intempestivamente. El indicador tiempo medio para reparar fue de 12.67 horas, el cual refleja que en promedio el área de mantenimiento se demora 12.67 horas en reparar esa falla que se produjo. En el indicador disponibilidad se obtuvo un total de 62.33%, el cual refleja que, de cada 100 horas de trabajos disponibles, 62.33 horas se encuentran disponibles las máquinas para ser usadas en trabajo. En el indicador rendimiento se obtuvo 83.62%, el cual indica que de 100 pedidos que la empresa recibe, solo 83.62 de ellos, puede cumplir a tiempo. En el indicador calidad se obtuvo 74.74%, mostrando que, de cada 100 productos obtenidos, solo 74.74 de ellos, salen en óptimas condiciones. Finalmente, el indicador OEE salió 39.01% el cual refleja que existe un nivel malo en cuanto a la gestión de mantenimiento dentro de la empresa metalmeccánica

Tabla 1. Resumen de la evaluación de los indicadores de la variable independiente.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Resultado obtenido
Análisis de fallas		Tiempo medio entre fallas: Tiempo disponible de producción / (paradas de máquinas + otras paradas)	21 horas
		Tiempo medio para reparar: (Tiempo de paradas de máquinas + tiempo de otras paradas) / (paradas de máquinas + otras paradas)	12.67 horas
Gestión de mantenimiento		Disponibilidad: (Tiempo programado tiempo de parada) / tiempo programado	62.33%
		Rendimiento: (Tiempo de ciclo teórico cantidad procesado) / tiempo de operación	83.62%
Eficiencia general de los equipos (OEE)		Calidad: (cantidad defectos) / cantidad procesada	74.74%
		OEE: Disponibilidad x Rendimiento x Calidad	39.01% (ver anexo 10)

Fuente: datos obtenidos de la empresa metalmecánica.

En la tabla 3 se muestra que la dimensión eficiencia fue de 77.55%, lo cual indica que por cada 100 horas disponibles que las máquinas están, solo 77.55 horas son eficientes, las demás horas están en mantenimiento correctivo. En la dimensión eficacia fue de 76.86%, lo que indica que, de un total de 100 trabajos a realizar, solo 76.86 de ellos, se cumplen a tiempo, mientras que los demás se entregan a destiempo.

Tabla 2. Resumen de la evaluación de los indicadores de la variable dependiente.

Variable	Dimensión	Indicadores	Resultado obtenido
Productividad	Eficiencia	Horas máquinas trabajadas / horas máquinas disponibles	77.55%
		Eficacia	Producción real / producción programada

Fuente: datos obtenidos de la empresa metalmecánica.

Implementación de un plan de mantenimiento preventivo
Después de analizar la situación actual dentro de la empresa, se determinó cuatro causas raíces a solucionar (ver tabla 3). Como respuesta, se implementó una estrategia de gestión de mantenimiento preventivo.

Tabla 3. Alternativas de solución a las principales causas halladas.

Nº	Causa raíz a solucionar	Herramientas de mejora	Lugar
1	Procedimientos sub estándar del operario con la máquina	La implementación de protocolos de mantenimiento de las máquinas incluyó tanto calibración como medidas preventivas	Máquinas de taller en la empresa metal mecánica ubicada en Chimbote
2	Falta de un plan de mantenimiento preventivo	Se elaboró un cronograma de mantenimiento preventivo en base al tiempo medio entre fallas de las máquinas	
3	Falta de orden y limpieza en el área de mantenimiento	Se implementó la metodología 5S	
4	Personal no capacitado	Se elaboró un plan de capacitaciones	

Fuente: elaboración propia.

Habiendo analizado los aspectos dentro de la gestión de mantenimiento a continuación se expone de qué manera se implementaron las herramientas de mejora de la tabla anterior.

Para garantizar el correcto mantenimiento de cada máquina de la empresa metalmecánica, se desarrolló un protocolo de mantenimiento integral. Este protocolo describe los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo que son específicos de cada máquina.

En la figura 1 se detallan todos los pasos a realizar para llevar a cabo un mantenimiento preventivo adecuado de las máquinas en la empresa metalmecánica.

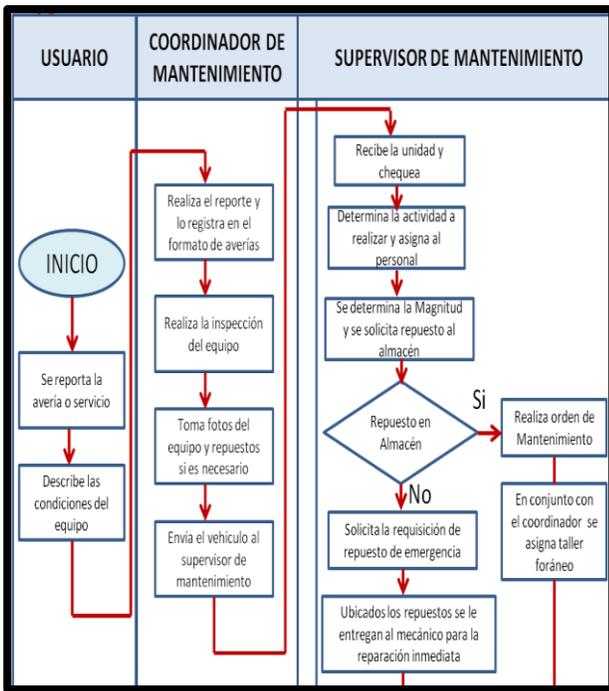


Figura 1. Flujo grama de mantenimiento preventivo.
Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, la empresa de investigación implementó la metodología 5S como enfoque para mejorar la organización y el orden del stock actual de su almacén. Se delineó un proceso para la clasificación y organización de los materiales actuales que se encuentran dentro la empresa metalmeccánica. La disposición del almacén y la distribución física actualizada se puede observar en la figura 2.

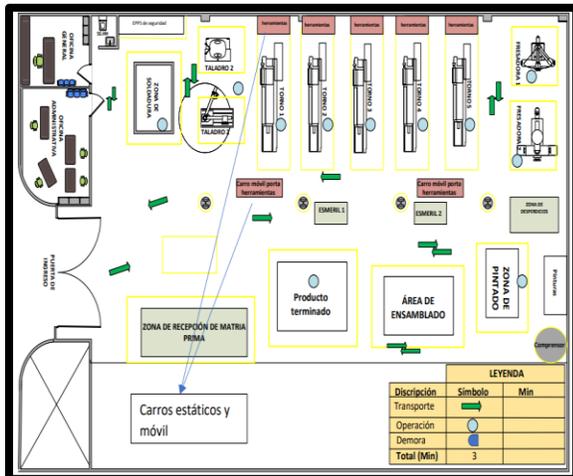


Figura 2. Nuevo layout físico de la empresa metalmeccánica

El programa de mantenimiento para las 10 máquinas principales utilizadas por la empresa metalmeccánica para

completar los proyectos de los clientes. Este plan fue diseñado para evitar posibles problemas y garantizar que las máquinas funcionen correctamente, donde el criterio para realizar este cronograma de mantenimiento preventivo fue debido al historial de fallas (tiempo medio entre fallas) y la ficha técnica de cada máquina, según ello, se fue dando mayor mantenimiento preventivo, que correctivo, de esa manera, la disponibilidad de las máquinas aumentó de manera significativa. La empresa logró alcanzar un índice de cumplimiento del 100% del plan de mantenimiento, lo que indica que todas las tareas necesarias se completaron según lo programado de abril a septiembre de 2023.

Para abordar el último problema subyacente, se creó un régimen de capacitación centrado en mejorar la disponibilidad de las máquinas, implementar el mantenimiento preventivo y utilizar la metodología 5S. Los temas de capacitación que se realizaron entre junio y septiembre de 2023. Se programaron y culminaron exitosamente siete diferentes temas de capacitación, con un perfecto cumplimiento del cronograma de capacitación logrando un cumplimiento del 100%.

MEDIR EL IMPACTO EJERCIDO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD

Después de haber implementado la gestión de mantenimiento preventivo dentro de la empresa metalmeccánica, se procedió a evaluar las mejoras obtenidas en cuanto a la productividad de la misma.

En la tabla 4 se muestra que el indicador tiempo medio entre fallas salió 49.43 horas, esto refleja que en promedio cada 49.43 horas una máquina sufre una falla intempestivamente.

El indicador tiempo medio para reparar fue de 0.50 horas, el cual refleja que en promedio el área de mantenimiento se demora 0.50 horas en reparar esa falla que se produjo.

En el indicador disponibilidad se obtuvo un total de 99.00%, el cual refleja que, de cada 100 horas de trabajos disponibles, 99 horas se encuentran disponibles las máquinas para ser usadas en trabajo.

En el indicador rendimiento se obtuvo 95.31%, el cual indica que de 100 pedidos que la empresa recibe, solo 95.31 de ellos, puede cumplir a tiempo.

En el indicador calidad se obtuvo 94.17%, mostrando que, de cada 100 productos obtenidos, solo 94.17 de ellos, salen en óptimas condiciones.

Finalmente, el indicador OEE salió 88.85% el cual refleja que existe un nivel muy buena y aceptable en cuanto a la gestión de mantenimiento dentro de la empresa metalmeccánica.

En la tabla 5 se muestra que la dimensión eficiencia fue de 95.07%, lo cual indica que por cada 100 horas disponibles que las máquinas están, solo 95.07 horas son eficientes.

En la dimensión eficacia fue de 95.38%, lo que indica que, de un total de 100 trabajos a realizar, solo 95.38 de ellos, se cumplen a tiempo.

Tabla 4. Resumen de la evaluación de los indicadores de la variable independiente.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Resultado obtenido
	Análisis de fallas	Tiempo medio entre fallas: Tiempo disponible de producción / (paradas de máquinas + otras paradas)	49.43 horas
		Tiempo medio para reparar: (Tiempo de paradas de máquinas + tiempo de otras paradas) / (paradas de máquinas + otras paradas)	
Gestión de mantenimiento		Disponibilidad: (Tiempo programado – tiempo de parada) / tiempo programado	99.00%
		Rendimiento: (Tiempo de ciclo teórico / cantidad procesado) / tiempo de operación	95.31%
	Eficiencia general de los equipos (OEE)	Calidad: (cantidad procesada – defectos) / cantidad procesada	94.17%
		OEE: Disponibilidad x Rendimiento x Calidad	88.85%

Fuente: datos obtenidos de la empresa metalmecánica.

En la tabla 6 se muestra que la dimensión eficiencia aumentó un 17.55% con respecto al dato inicial obtenido, dando a entender que ahora se aprovechan 17.55 horas en trabajo y ya no en mantenimiento correctivo, siendo muy favorable para la empresa metalmecánica.

En el indicador eficacia se muestra que el incremento fue del 18.52%, dando a entender que ahora la empresa metalmecánica cumple con 18.52 pedidos más con respecto a lo que cumplía al inicio, siendo esto muy favorable para la compañía ya que su productividad fue de aumento en aumento de manera significativa trayendo grandes beneficios económicos.

Tabla 5. Resumen de la evaluación de los indicadores de la variable dependiente.

Variable	Dimensión	Indicadores	Resultado obtenido
Productividad	Eficiencia	Horas máquinas trabajadas / horas máquinas disponibles	95.07%
		Eficacia	Producción real / producción programada

Fuente: datos obtenidos de la empresa metalmecánica.

Tabla 6. Comparación de los indicadores de la variable dependiente.

Variable	Dimensión	Resultado inicial	Resultado final	Incremento
Productividad	Eficiencia	77.55%	95.07%	17.55%
		Eficacia	76.86%	95.38%

Fuente: datos obtenidos de la empresa metalmecánica.

Finalmente, al determinar que la productividad aumentó de manera significativa, entonces se afirma que se valida la hipótesis alterna de la investigación que hace mención que la gestión de mantenimiento influye significativamente sobre la productividad de una empresa metal mecánica en Chimbote.

IV. DISCUSIÓN

Analizando los resultados obtenidos, se procedió a discutir con los antecedentes de la investigación, para ello, se determinó de manera inicial que el indicador tiempo medio entre fallas salió 21 horas, el indicador tiempo medio para reparar fue de 12.67 horas, el indicador disponibilidad se obtuvo un total de 62.33%, el indicador rendimiento fue de 83.62%, el indicador calidad fue de 74.74%, y el indicador OEE salió 39.01% el cual refleja que existe un nivel malo en cuanto a la gestión de mantenimiento dentro de la empresa metalmecánica. Asimismo, se determinó de manera inicial que la dimensión eficiencia fue de 77.55% y en la dimensión eficacia fue de 76.86%, siendo indicadores muy bajo dentro de la empresa metalmecánica. El mantenimiento es un problema operativo desafiante donde el objetivo es planificar suficiente mantenimiento preventivo (PM) para evitar revisiones y fallas de los activos. Uno de los procesos básicos en cualquier entidad para garantizar su sostenibilidad económica es el proceso de mantenimiento [27]. Existen herramientas como la del aprendizaje autónomo que es aplicable en la gestión de mantenimiento con el fin de predecir fallas en el funcionamiento del motor [28]. Los principales beneficios de la aplicación de herramientas de la optimización se centran en los costos de mantenimiento preventivo y tiempos de intervención, que contribuyen a la mejora de la fiabilidad y la gestión del mantenimiento [29].

El mantenimiento y su gestión constituyen una herramienta que asegura el desempeño de los equipos [30]. Los costos de implementación, operación y mantenimiento, en las empresas puede generar un ahorro de hasta el 25% más en las utilidades [31]. La metodología del mantenimiento integra en los avances y cumplimientos de objetivos a la empresa [1]. La gestión del mantenimiento debe ser estratégica porque es esencial para la supervivencia y el éxito de la organización. Una herramienta de apoyo para tomar decisiones de mantenimiento basadas en el análisis de datos y la importancia de las fallas [2].

El método FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) se utiliza para encontrar los modos de falla más riesgosos, los métodos MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) y Mudge se utilizan para clasificar los principales criterios utilizados por los expertos al decidir qué línea construir segunda mano está en una condición más crítica [22].

El mantenimiento y su gestión constituyen una herramienta que asegura el desempeño de los equipos [25]. Los costos de implementación, operación y mantenimiento, en las empresas puede generar un ahorro de hasta el 25% más en las utilidades [28]. La metodología del mantenimiento integra en los avances y cumplimientos de objetivos a la empresa [12]. La gestión del mantenimiento debe ser estratégica porque es crucial para la continuidad de la supervivencia y el éxito de la organización. Una herramienta de mucho apoyo para tomar decisiones de mantenimiento basadas en el análisis de datos y la importancia de las fallas. El método FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) se utiliza para encontrar los modos de falla más riesgosos, los métodos MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) y Mudge se utilizan para clasificar los principales criterios utilizados por los expertos al decidir qué línea construir segunda mano está en una condición más crítica [18].

Se aplicó la gestión de mantenimiento preventivo donde se realizó la implementación de protocolos de mantenimiento de las máquinas incluyó tanto calibración como medidas preventivas, se elaboró un cronograma de mantenimiento preventivo en base al tiempo medio entre fallas de las máquinas, se implementó la metodología 5S y se elaboró un plan de capacitaciones. Se determinó después de la implementación de la gestión de mantenimiento preventivo dentro de la empresa metalmecánica que el indicador tiempo medio entre fallas salió 49.43 horas, el indicador tiempo medio para reparar fue de 0.50 horas, el indicador disponibilidad fue de 99.00%, el indicador rendimiento fue de 95.31%, el indicador calidad fue de 94.17%, y el indicador OEE salió 88.85%. Se determinó de manera final que la dimensión eficiencia fue de 95.07% y la dimensión eficacia fue de 95.38%, siendo valores favorables para la empresa metalmecánica, asimismo, se halló que la eficiencia aumentó un 17.55% con respecto al dato inicial obtenido, y la eficacia incremento un 18.52%, dando a entender que ahora la empresa metalmecánica cumple con sus pedidos más con respecto a lo que cumplía al inicio.

La tasa de ocurrencia de fallas puede disminuir, mantenerse constante o aumentar. Esta medida se emplea para representar el patrón de fallas en diversos sistemas de la vida real [20]. El indicador clave de rendimiento (KPI) conocido como tiempo promedio entre fallas (MTBF) se refiere al lapso de tiempo promedio que transcurre entre una falla y la siguiente ocasión en que se produce [11]. Tiempo Medio Para Reparar: El tiempo promedio de reparación (MTTR) se refiere al período necesario para llevar a cabo una reparación una vez que se ha producido una falla. En otras palabras, es el tiempo empleado durante la intervención en un proceso específico [14].

OEE es una métrica de rendimiento que mide la eficiencia general del equipo. Con él, es posible saber qué tan productiva es una empresa, departamento o máquina. Efectividad general del equipo, incluida la disponibilidad, el rendimiento y la calidad [30]. Es la proporción de tiempo en que la máquina está disponible para operar o producir en relación con el tiempo planificado de producción, es decir, la medida del tiempo efectivamente productivo [7]. Demuestra la eficiente utilización de la capacidad de la máquina durante su tiempo de funcionamiento. Las reducciones en el rendimiento suelen ser causadas por breves interrupciones o variaciones de velocidad, que se sitúan por debajo de la capacidad nominal de la máquina [10].

Se considera como unidades defectuosas todas aquellas producidas dentro de los estándares de calidad establecidos, independientemente de si son productos buenos o defectuosos. Estas unidades pueden ser clasificadas como buenas, de segunda calidad o defectuosas. El cálculo de la Eficiencia Global del Equipo (OEE) únicamente tiene en cuenta las unidades producidas que cumplen con los criterios de calidad en la primera instancia, excluyendo las unidades de segunda calidad. Por lo tanto, estas últimas se consideran como unidades defectuosas [16].

CONCLUSIONES

Se determinó de manera inicial que el tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparar, disponibilidad, rendimiento, calidad, y el OEE salió 21 horas, 12.67 horas, 62.33%, 83.62%, 74.74% y 39.01% respectivamente, reflejando que existe un nivel malo en cuanto a la gestión de mantenimiento dentro de la empresa metalmecánica.

Se determinó de manera inicial que la eficiencia y la eficacia fue de 77.55% y 76.86% respectivamente, siendo indicadores muy bajo dentro de la empresa metalmecánica.

Se aplicó la gestión de mantenimiento preventivo donde se determinó que el tiempo medio entre fallas salió 49.43 horas, el tiempo medio para reparar fue de 0.50 horas, la disponibilidad fue de 99.00%, el rendimiento fue de 95.31%, la calidad fue de 94.17%, y el OEE salió 88.85%.

Se determinó de manera final que la eficiencia y la eficacia fue de 95.07% y 95.38% respectivamente, siendo valores favorables para la empresa metalmecánica, asimismo, se halló que la eficiencia aumentó un 17.55% con respecto al dato inicial obtenido, y la eficacia incremento un 18.52%, dando a entender que ahora la empresa metalmecánica cumple con sus pedidos más con respecto a lo que cumplía al inicio.

REFERENCIAS

- [1] ARIAS-ODÓN, F., 2012. El Proyecto de Investigación. 6ta edición. S.I.: s.n. ISBN 9800785299.
- [2] ARTEAGA-CORTEZ, V.M., QUEVEDO-NOLASCO, A., DEL VALLE-PANIAGUA, D.H., CASTRO-POPOCA, M., BRAVO-VINAJA, Á. y RAMÍREZ-ZIEROLD, J.A., 2019. State of art: A current review of the mechanisms that make the artificial wetlands for the removal of nitrogen and phosphorus. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 10, no. 5, ISSN 20072422. DOI 10.24850/j-tyca-2019-05-12.
- [4] BAENA, G., 2017. Metodología de la investigación. 3era Edici. S.I.: s.n. ISBN 9786077440031.
- [5] BECERRA-PEÑA, D. y MEJÍA, M., 2014. The Productivity of the Manufacturing Sector: The Case of Colombia 2005-2016. *Journal of Productivity Analysis*, vol. 41, no. 1, ISSN 15730441. DOI 10.1007/s11123-013-0354-y.
- [6] BORROTO-PENTÓN, Y., CARAZA-MORALES, M., ALFONSO-LLANES, A. y MARRERO-DELGADO, F., 2021. Optimization tools applied to physical asset maintenance management: state of the art. *DYNA (Colombia)*, vol. 88, no. 219, ISSN 00127353. DOI 10.15446/dyna.v88n219.96981.
- [8] CANAHUA, N., 2021. 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. *Industrial Data*, vol. 24, no. 1, ISSN 1560-9146. DOI 10.15381/ida.v24i1.18402.
- [9] DÍAZ-CONCEPCIÓN, A., VILLAR-LEDO, L., RODRÍGUEZ-PIÑEIRO, A.J. y TAMAYO-MENDOZA, J., 2019. Methodology for maintenance management based on diagnostic criteria. *DYNA (Colombia)*, vol. 86, no. 211, ISSN 00127353. DOI 10.15446/dyna.v86n211.77704.
- [10] DÍAZ-CONTRERAS, C., VARGAS, D.A.C., DÍAZ-VIDAL, G.A. y QUEZADA-LARA, V.F., 2020. Efectividad General De Equipos (OEE) Ajustado Por Costos. *Comunicaciones [en línea]*, vol. 45, no. 3. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/339/33962773006/html/#g3>.
- [11] FLORES-TAPIA, C., MAZA-ÁVILA, F., PÉREZ-GONZÁLEZ, M. y FLORES CEVALLOS, K., 2023. The determining factors of productivity and competitiveness from the perspective of territorial and sustainable development. *Regional Studies*, vol. 52, no. 4, ISSN 13600591. DOI 10.1080/00343404.2017.1334118.
- [12] GUERRA-LÓPEZ, E. y OCA-RISCO, A., 2019. Relationship between the productivity, the maintenance and the replacement in the large mining. *Boletín de Ciencias de la Tierra [en línea]*, vol. 45, no. 45, [consulta: 9 mayo 2023]. ISSN 0120-3630. DOI 10.15446/RBCT.N45.68711. Disponible en: http://www.scielo.org/co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-36302019000100014&lng=en&nrm=iso&tlng=es.
- [13] GUEVARA-ROSETO, G., CARRIÓN-CAUJA, C., SIMBAÑA-LANDETA, L. y CAMINO-MOGRO, S., 2023. Identification Properties of Recent Production Function Estimators. *Econometrica*, vol. 83, no. 6, ISSN 0012-9682. DOI 10.3982/ecta13408.
- [14] HERNÁNDEZ, G., MARTÍNEZ, Á., JIMÉNEZ, R. y JIMÉNEZ, F., 2019. Métricas de productividad para equipo de trabajo de desarrollo ágil de software: una revisión sistemática. *TecnoLógicas*, vol. 22, ISSN 0123-7799. DOI 10.22430/22565337.1510.
- [15] HERNÁNDEZ, O., ORTIZ, J.P., ORTIZ, M.P. y OROZCO, M., 2020. Measurement of work behavior and its impact on productivity. *Computacion y Sistemas*, vol. 24, no. 3, ISSN 20079737. DOI 10.13053/CYS-24-3-3489.
- [16] HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P., 2014. Metodología de la investigación. México: Edificio Punta Santa Fe. vol. 1. ISBN 978-1-4562-2396-0.
- [17] LÓPEZ-PADILLA, P., BENITES-ALFARO, E., RODRÍGUEZ-ALEGRE, L., GUTIÉRREZ-ASCÓN, J., ITURRIZAGA-ROMERO, J. y MARTÍNEZ-LOAYZA, J., 2008. Application of the crystal Ball software for uncertainty and sensitivity analyses for predicted concentration and risk levels. octubre 2008. S.I.: s.n.
- [18] MAFLA-YÉPEZ, C., MORALES-BAYETERO, C., HERNÁNDEZ-RUEDA, E. y BENAVIDES-CEVALLOS, I., 2023. Vehicle maintenance management based on machine learning in agricultural tractor engines. *DYNA (Colombia)*, vol. 90, no. 225, ISSN 00127353. DOI 10.15446/dyna.v90n225.103612.
- [19] MARTÍNEZ-VIVAR, R., SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, A. y INFANTE-DÍAZ, Y., 2019. La mejora de la productividad del trabajo en entidades de mantenimiento automotor. *Ciencias Técnicas [en línea]*, vol. 25, no. 2, [consulta: 8 mayo 2023]. ISSN 1027-2127. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/1815/181559111005/>.
- [20] MESA, D., ORTÍZ, Y. y PINZÓN, M., 2006. La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. [en línea]. [consulta: 8 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920491036>.
- [21] ÑAUPAS, H., VALDIVIA, R., PALACIOS, J. y ROMERO, H., 2018. Metodología de la investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis. 5. Bogotá: Ediciones de la U. vol. 1. ISBN 978-958-762-876-0.
- [22] ORTÍZ, A., RODRÍGUEZ, C. y IZQUIERDO, H., 2013. Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista Venezolana de Gerencia [en línea]*, vol. 18, no. 61, [consulta: 8 mayo 2023]. ISSN 1315-9984. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29026161004>.
- [23] PENKOVA, M., 2007. Mantenimiento y análisis de vibraciones. *Ciencia y Sociedad [en línea]*, vol. XXXII, no. 4, [consulta: 9 mayo 2023]. ISSN 0378-7680. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032407>.
- [24] PÉREZ-PÉREZ, M., PÉREZ-RODRÍGUEZ, Á. y PAZ-MARTÍNEZ, E., 2021. Contribución del mantenimiento con enfoque sostenible al control de la calidad en la industria del plástico. *Tecnología Química [en línea]*, vol. 41, no. 1, Disponible en: <https://orcid.org/0000-0001-8508-2225>.
- [25] SARMENTO, M., LUIZ, M. y FERREIRA, R., 2021. Factors affecting construction productivity in Brazil: comparison with recent international research. *Revista Ingeniería de Construcción [en línea]*, vol. 36, Disponible en: www.ricuc.cl.
- [26] SEVILLA, E. y E.T., 2007. La Eficiencia de la Planeación del Mantenimiento Preventivo y los Métodos Multicriterio: Estudio de un Caso. [en línea]. [consulta: 8 mayo 2023]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-55462008000400006&script=sci_abstract.
- [27] SOLÍZ, D., 2019. Cómo hacer un perfil proyecto de Investigación Científica. S.I.: s.n. SOUSA, A. y OLIVEIRA, J., 2019. Use of failure data and criticality analysis in a maintenance management tool for electric power distribution company. *DYNA (Colombia)*, vol. 86, no. 208, ISSN 00127353. DOI 10.15446/dyna.v86n208.69794.
- [28] VARGAS, E.L. y CAMERO, J.W., 2021. Application of Lean Manufacturing (5s and Kaizen) to Increase the Productivity in the Aqueous Adhesives Production Area of a Manufacturing Company. *Industrial Data*, vol. 24, no. 2, ISSN 1560-9146. DOI 10.15381/ida.v24i2.19485.
- [29] VÁZQUEZ, L., ESTUPIÑÁN, R. y BATISTA, N., 2021. A new hybrid multi-criteria decision-making approach for location selection of sustainable offshore wind energy stations: A case study. *Journal of Cleaner Production*, vol. 14, no. 55, ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.124462.
- [30] VILLAR, L., DÍAZ, A., INFANTE, M., VILALTA, J., ALFONSO, A. y RODRÍGUEZ, A., 2018. A survey of the state of condition-based maintenance (CBM) in the nuclear power industry. 1 febrero 2018. S.I.: Elsevier Ltd.
- [31] VISCAÍNO-CUZCO, M., VILLACRÉS-PARRA, S., GALLEGOS-LONDOÑO, C. y NEGRETE-COSTALES, H., 2017. Assessment of the Maintenance Management in Hospitals of the Ecuadorian Institute of Social security of Zona 3 of Ecuador. *IFMBE Proceedings*. S.I.: Springer Verlag, pp. 258-261. vol. 65. ISBN 9789811051210. DOI 10.1007/978-981-10-5122-7_65.