

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LA
MAQUINARIA EN LA PRODUCCIÓN DE
SELLOS HIDRÁULICOS EN LA EMPRESA
SELLOS ÓLEO HIDRÁULICOS S.A.C.”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Manuel Adrian Bustamante Castañeda

Alexandra Magaly Woolcott Acuña

Asesor:

Mg. Erick Humberto Rabanal Chavez

<https://orcid.org/0000-0002-1289-1221>

Lima - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	JUAN ALEJANDRO ORTEGA SACO
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	SHEYLA YULIANA CORNEJO RODRIGUEZ
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	ERICK HUMBERTO RABANAL CHAVEZ
	Nombre y Apellidos

Informe de Similitud



Página 2 of 81 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: trncold::1:3108939997

13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

▶ Bibliografía


Exclusiones

▶ N.º de fuentes excluidas

Fuentes principales

10%  Fuentes de Internet

8%  Publicaciones

9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión



Texto oculto

993 caracteres sospechosos en N.º de páginas

El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

Le dedico el resultado de este trabajo a mi madre, por su presencia, respaldo y cariño que me impulsan a salir adelante, a mi hermanito Sebastián quien es la sonrisa en mí, mi felicidad y a su corta edad me ha enseñado muchas cosas. Agradezco a todos los que estuvieron presentes, por ser ese soporte que me ayudo en el camino para lograr mi título de Ingeniera Industrial.

Dedico el resultado de este trabajo a Dios quien es el forjador de mi vida, a mis padres que siempre están brindándome su apoyo, y haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Agradecimiento

Agradecer a DIOS, quien es el que permite que haya logrado nuestros propósitos porque sin el nada es posible, por otorgarnos la vida que es lo más maravilloso que existe y por tener a nuestros padres cerca, quienes son nuestro motor para continuar creciendo personal y profesionalmente. Gracias a ellos por confiar en cada uno de nosotros y sobre todo por encaminar nuestras vidas.

Agradecemos también al Mg. Erick Humberto Rabanal Chávez por su labor como tutor durante la que ha demostrado no solo un gran conocimiento, sino también una comprensión y empatía sin las que el trabajo no hubiera sido posible realizarlo.

Tabla de contenidos

JURADO EVALUADOR.....	2
Informe de Similitud.....	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento.....	5
Índice de tablas	7
Índice de Figuras.....	8
Resumen	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	22
CAPÍTULO III: RESULTADOS	29
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	66
REFERENCIAS.....	71
ANEXOS	73

Índice de tablas

Tabla 1 Resumen de resultados de indicadores de mantenimiento del año 2022.....	32
Tabla 2 Resumen de resultados del MTBF durante el año 2022.....	33
Tabla 3 Resumen de resultados del MTTR durante el año 2022.....	34
Tabla 4 Resumen de resultados del impacto económico	35
Tabla 5 Priorización de causas raíz	38
Tabla 6 Matriz de selección de la herramienta de solución.....	40
Tabla 7 Resumen de soluciones de acuerdo a causas priorizadas	42
Tabla 8 Resumen de indicadores antes vs después de la implementación de mantenimiento preventivo	58
Tabla 9 Resultados del beneficio de la implementación	60
Tabla 10 Resumen de costos de la implementación de mantenimiento preventivo	61
Tabla 11 Resultados de los indicadores económicos.....	63
Tabla 12 Flujo de cajas	63
Tabla 13 Resultados de la prueba de normalidad	64
Tabla 14 Resultados de la prueba de normalidad	65

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación estratégica de la empresa Sellos Óleo Hidráulicos S.A.C	29
Figura 2 Tendencia de la disponibilidad (%) de los tornos convencionales durante el año 2022	31
Figura 3 Causas raíz mostradas en el diagrama de ishikawa.....	37
Figura 4 Pareto con la priorización de causas raíz	39
Figura 5 Evidencia del cronograma de la implementación de un plan de mantenimiento	44
Figura 6 Evidencia del cronograma de lubricación para los 6 tornos convencionales..	46
Figura 7 Evidencia de la lubricación del torno.....	47
Figura 8 Evidencia del checklist de Monitoreo de las Piezas de los 6 Tornos Convencionales.....	48
Figura 9 Evidencia del formato de inspección visual.....	50
Figura 10 Evidencia del registro de reemplazo de componentes	51
Figura 11 Evidencia del cronograma de limpieza periódica y mantenimiento preventivo de componentes	53
Figura 12 Formato de Inspecciones y Calibraciones Periódicas de Piezas Móviles.....	55
Figura 13 Resultados de la disponibilidad antes vs después de la implementación de mantenimiento preventivo	56

Resumen

La presente investigación tuvo el objetivo de determinar en qué medida la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la maquinaria en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC. La investigación se justificó en la necesidad de abordar la problemática de baja disponibilidad de los tornos convencionales, que impactaba negativamente en la productividad y generaba pérdidas económicas significativas. La metodología empleada fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño pre experimental. El plan incluyó actividades clave como lubricación y monitoreo de piezas, inspección y reemplazo preventivo de componentes, limpieza periódica y calibración de piezas móviles. Los principales resultados mostraron un incremento en la disponibilidad promedio de los tornos, pasando del 97.42% al 99.07%, y una reducción significativa en el número de fallas, de 45 a 21 meses. Además, los indicadores económicos reflejaron la viabilidad del plan, con un VAN de S/ 62,664.30, una TIR de 64.6%, y un período de recuperación de 0.91 años. Se concluye que el mantenimiento preventivo es una estrategia efectiva y rentable para mejorar la operatividad y reducir costos operativos en contextos industriales similares.

Palabras Claves: Mantenimiento preventivo, disponibilidad Operativa, Producción Industrial, Gestión de Maquinaria

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

La baja disponibilidad de maquinarias en la producción de sellos hidráulicos representa un desafío crítico para las empresas a nivel global, ya que afecta directamente la eficiencia operativa y la capacidad de cumplir con los plazos de entrega. La falta de un mantenimiento preventivo adecuado incrementa las tasas de fallas y tiempos de inactividad, lo que se traduce en pérdidas económicas significativas y una reducción en la competitividad del mercado. Estudios recientes han demostrado que la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo puede mejorar significativamente la disponibilidad de equipos en la industria manufacturera, reduciendo hasta en un 30% los tiempos de inactividad no planificados y optimizando la productividad (Ronceros y Pomblas, 2023).

En Estados Unidos, un informe de Theinsightpartners (2024) señaló que las empresas del sector experimentaron un aumento del 18% en costos operativos debido a fallas inesperadas en maquinarias, lo que se tradujo en pérdidas anuales de 2.5 millones de dólares en producción, a pesar de que el mercado de sellos hidráulicos, valorado en US\$ 3.950,09 millones en 2019, se proyecta que alcance los US\$ 5.770,71 millones para 2027. De manera similar, en Alemania, un informe de Businessmarketinsights (2021) reveló que la falta de disponibilidad de equipos en las fábricas de sellos hidráulicos provocó una reducción del 22% en la capacidad de producción, generando pérdidas de hasta 1.8 millones de euros anuales, a pesar de las proyecciones de crecimiento del mercado global de sellos hidráulicos a una tasa compuesta anual del 4,9% para el mismo periodo.

En Perú, la baja disponibilidad de maquinarias en las empresas dedicadas a la fabricación de sellos hidráulicos constituye un desafío significativo que afecta

negativamente la productividad y competitividad del sector. Según el reporte de producción manufacturera del Ministerio de la Producción (2024), las empresas manufactureras del país han experimentado una disminución del 15% en su capacidad productiva debido a fallas mecánicas recurrentes en sus equipos. Las industrias con mayor incidencia negativa incluyeron la reparación de maquinaria, que registró una caída del 39.6%, contribuyendo a una contracción del sector del -4.4%.

La empresa en estudio, Sellos Óleo Hidráulicos SAC, se especializa en la fabricación de sellos hidráulicos. Según el reporte del año 2022, se evidenció una preocupante baja en la disponibilidad de las maquinarias, un desafío crítico que ha impactado significativamente la productividad de la empresa. Esta problemática se observó en los 6 tornos convencionales, los cuales son fundamentales para el proceso productivo de la línea de fabricación. Durante el año 2022, estos equipos experimentaron una disponibilidad promedio del 97.42%, lo que, aunque indica que las máquinas estuvieron operativas la mayor parte del tiempo, se sitúa por debajo del estándar esperado tanto por la empresa como por el sector, que es de 98.5%. A lo largo del año, se registraron un total de 537 fallas, con un tiempo promedio de reparación (MTTR) de 2.45 horas por falla, lo que provocó interrupciones constantes en las operaciones y una disminución notable en la eficiencia general de la producción. Este escenario ha tenido un impacto económico considerable, con pérdidas estimadas en S/ 110,255.16, derivadas de la pérdida de producción, costos de reparación y costos operativos adicionales. Estas cifras subrayan la urgencia de implementar medidas correctivas para mejorar la disponibilidad y reducir las interrupciones en la producción.

Antecedentes

Attia et al. (2024) en su artículo publicado en Arabia Saudita, tuvo como objetivo integrar la planificación del mantenimiento y la programación de la producción desde una

perspectiva ecológica. El plan de mantenimiento preventivo (PM) se utilizó para asegurar que las máquinas funcionaran en condiciones saludables. Los resultados revelaron que la falta de actividades de mantenimiento aumentaba el tiempo de producción programado en más del 21,80%, incrementaba el tiempo total de mantenimiento necesario para mantener la máquina en buen estado en un 75,33%. Este modelo demostró ser útil no solo para la planificación del mantenimiento sino también para la programación de la producción. El aporte de este artículo radica en la demostración de que un enfoque integrado de mantenimiento y producción no solo mejora la disponibilidad de las máquinas, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental, proporcionando una base sólida para la implementación de prácticas más eficientes y sostenibles en el entorno industrial.

Ropero Gaona y Lucas Mármol (2023) el artículo publicado en México tuvo como objetivo mejorar la confiabilidad y seguridad de la unidad de bombeo mecánico VSH-2. El plan de mantenimiento preventivo se centró en el rediseño del sistema mecánico de estas unidades, particularmente en la sustitución del sistema de mangueras por tuberías de acero inoxidable 316, utilizando el Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA) como metodología principal. Los resultados mostraron que el rediseño incrementó significativamente la confiabilidad del sistema, reduciendo la frecuencia de fallas en un 90% y extendiendo la vida útil de los componentes críticos hasta 92,000 horas de operación. Este enfoque permitió no solo mejorar la confiabilidad del sistema, sino también optimizar los recursos financieros relacionados con las paradas por mantenimiento, al disminuir los costos asociados con fallas y reparaciones. El aporte de este artículo en el estudio es demostrar que la aplicación de un enfoque basado en la confiabilidad, como el RCM, puede resultar en mejoras sustanciales en la disponibilidad

y eficiencia de los equipos, proporcionando una base metodológica sólida para optimizar la gestión del mantenimiento en contextos industriales similares.

Al Refaie y Almowas (2023) en su artículo publicado en Jordania tuvo como objetivo desarrollar y evaluar un modelo para la implementación concurrente de políticas de mantenimiento correctivo y preventivo en un sistema de máquinas configuradas en serie. El plan de mantenimiento preventivo se diseñó para maximizar la disponibilidad, los ingresos netos y minimizar los costos, considerando diferentes distribuciones de probabilidad para el tiempo hasta la falla y el tiempo hasta la reparación. El modelo fue implementado en un estudio de caso real, donde se compararon los resultados obtenidos bajo la política actual de mantenimiento (90 días) con la política optimizada de mantenimiento correctivo y preventivo concurrente. Los hallazgos mostraron que la disponibilidad de las máquinas y las ganancias aumentaron del 94,4% al 96,5% y de \$20,091 a \$24,803, respectivamente, mientras que los costos se redujeron de \$1,104.8 a \$797.22. El modelo propuesto demostró ser eficaz no solo para mejorar el rendimiento de los sistemas de producción y mantenimiento, sino también para optimizar la gestión de los recursos de mantenimiento. El aporte de este artículo al estudio es demostrar de que un enfoque de plande mantenimiento preventivo puede optimizar la disponibilidad y la rentabilidad, proporcionando una base sólida para mejorar la gestión del mantenimiento en sistemas industriales complejos.

Velmurugan et al. (2022) en su artículo publicado en la India, tuvo como objetivo identificar el subsistema crítico de una planta de producción de repuestos para automóviles en Tamil Nadu, India, y priorizar las actividades de mantenimiento mediante el establecimiento de una arquitectura de mantenimiento preventivo autónomo.. El plan de mantenimiento preventivo se basó en la aplicación del enfoque del modelo de decisión de Markov para analizar las variables actuales de los sistemas de producción y pronosticar

parámetros óptimos de mantenimiento, como la tasa de fallas y la tasa de reparación, a través de un análisis de disponibilidad. Los resultados revelaron que el sistema B (Piercing) fue identificado como el subsistema más crítico, con una tasa de fallas de 0,0371, una tasa de reparación de 0,7094 y una disponibilidad de 0,5056, debido a su variación abrupta de disponibilidad en comparación con otros sistemas de producción. La implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo autónomo y la utilización de una fuerza laboral de mantenimiento más eficaz resultaron en una mejora significativa de la productividad y satisfacción del cliente en las PYME. El aporte de este artículo radica en la validación de la efectividad de un enfoque autónomo y predictivo para optimizar la disponibilidad de los equipos, lo que es aplicable en contextos industriales para mejorar la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente.

Arroyo Vaca y Obando Quito (2022) en su artículo publicado en Ecuador, tuvo como objetivo analizar la importancia de la implementación del mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos, enmarcándose dentro de las teorías de gestión de mantenimiento. Los resultados obtenidos demostraron que el mantenimiento preventivo mejoró la productividad hasta en un 25%, redujo los costos de mantenimiento en un 30% y prolongó la vida útil de la maquinaria y equipos en un 50%. El aporte de este artículo evidencia de que el mantenimiento preventivo no solo mejora la eficiencia operativa y reduce los costos, sino que también prolonga la vida útil de los equipos, haciendo este enfoque altamente relevante y aplicable en la optimización de la gestión del mantenimiento industrial.

Banda et al. (2024) en su artículo titulado tuvo como objetivo implementar y dar seguimiento a un plan de gestión de mantenimiento basado en el análisis de modos de falla, mantenimiento autónomo y preventivo, con el propósito de mantener los equipos de perforación en condiciones óptimas, asegurar un nivel adecuado de disponibilidad y

extender la vida útil de los activos. Este plan buscó mitigar los impactos negativos que la disminución de la operabilidad y disponibilidad del equipo podría haber generado en las organizaciones. Los resultados obtenidos evidenciaron que la disponibilidad del equipo podía alcanzar un 95%, considerado óptimo para las operaciones continuas en el sector minero. El aporte de este artículo radica en la validación del enfoque preventivo y autónomo como una estrategia efectiva para alcanzar niveles óptimos de disponibilidad, lo que directamente es aplicable en el contexto de la empresa para mejorar la eficiencia operativa y asegurar la continuidad de la producción.

Moloché Echevarría (2021) en su tesis tuvo como objetivo diseñar un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la confiabilidad operacional de las maquinarias de la empresa pesquera TASA. Como parte del mantenimiento preventivo se elaboraron hojas de control, como órdenes de trabajo y listas de análisis predictivos, permitiendo un mantenimiento ordenado y el desarrollo de las actividades de acuerdo con lo programado, esto permitió aumentar la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas en un 16%. El aporte de este estudio demuestra que un enfoque sistemático y ordenado en el mantenimiento preventivo es esencial para mejorar significativamente la disponibilidad y confiabilidad de las maquinarias en un entorno de producción industrial.

Chambilla Chambi (2023) en su tesis tuvo como objetivo evaluar la aplicación del mantenimiento preventivo en la mejora de la disponibilidad de equipos de soldadura en el taller metalmecánico de la empresa Picofam SAC. Los resultados obtenidos demostraron que el mantenimiento preventivo mejoró significativamente la disponibilidad de los equipos de soldadura. Inicialmente, se identificó una confiabilidad del 78.65% y una mantenibilidad del 77.35%, lo que evidenció una disponibilidad del 86.07%. Tras la aplicación del mantenimiento preventivo, la confiabilidad aumentó a 97.28%, la mantenibilidad a 98.07%, y la disponibilidad final alcanzó el 99.31%. El

aporte de este estudio permite demostrar que el mantenimiento preventivo incrementa de manera sustancial la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos, validando su aplicación como una estrategia clave para optimizar la operatividad en contextos industriales similares.

Bases teóricas

Variable: Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es el conjunto de acciones programadas para inspeccionar, reparar y mantener en condiciones óptimas las maquinarias, con el fin de prevenir fallas y asegurar su operatividad (García, 2012). Este enfoque busca reducir la ocurrencia de averías y minimizar las interrupciones en la producción al programar intervenciones de mantenimiento en momentos estratégicos, evitando así paradas imprevistas y costosas. Asimismo, Pérez Rondón (2021) describe el mantenimiento preventivo como una estrategia de gestión que implica la inspección, limpieza, ajuste, reparación y reemplazo de componentes de los equipos antes de que ocurra una falla funcional, con el propósito de reducir la probabilidad de fallos inesperados y mantener un nivel de desempeño adecuado en las operaciones industriales. De manera similar, Dounce Villanueva (2014) indica que el mantenimiento preventivo se refiere a la serie de actividades programadas y ejecutadas periódicamente con el fin de preservar la funcionalidad y confiabilidad de los equipos, lo que se traduce en una reducción significativa de los costos operativos a largo plazo.

Dimensión Frecuencia de Mantenimiento: La frecuencia de mantenimiento se refiere a la regularidad con la que se realizan las actividades de mantenimiento preventivo en las maquinarias. Esta dimensión es crucial para asegurar que las máquinas reciban atención adecuada en intervalos específicos, previniendo así fallas inesperadas y

prolongando la vida útil de los equipos (Dounce Villanueva, 2014). El indicador para medir es el Número de Mantenimientos Realizados, pues mide la regularidad con la que se realizan las actividades de mantenimiento preventivo. La fórmula para medir es:

$$\frac{N^{\circ} \text{ de mantenimientos realizados}}{\text{Periodo} \left(\frac{\text{meses}}{\text{año}} \right)}$$

Dimensión: Costo de Mantenimiento: El costo de mantenimiento refleja el total de los recursos económicos invertidos en la implementación de actividades de mantenimiento preventivo. Esta dimensión permite evaluar la eficiencia económica del plan de mantenimiento, considerando que una correcta inversión en mantenimiento preventivo puede reducir los costos a largo plazo al evitar reparaciones más costosas por fallas imprevistas (Garcia, 2003). El indicador para medir son los gastos totales en mantenimiento preventivo, pues refleja el total de los costos asociados a la realización de actividades de mantenimiento preventivo. La fórmula para medir es a través de costo total de mantenimiento preventivo en soles.

Dimensión Eficiencia de Intervención: El tiempo de intervención mide la duración promedio que se requiere para realizar las actividades de mantenimiento preventivo en las maquinarias. Esta dimensión es fundamental para analizar la eficiencia operativa del plan de mantenimiento, ya que tiempos de intervención más cortos pueden minimizar la interrupción de la producción (Dounce Villanueva, 2014). El indicador Duración Promedio de las Intervenciones de Mantenimiento, pues mide el tiempo promedio que toma realizar cada actividad de mantenimiento preventivo. La fórmula para medir es:

$$\frac{\text{Duración total del mantenimiento}}{\text{Nro. de intervenciones}}$$

Variable dependiente: Disponibilidad de Maquinaria

La Disponibilidad de Maquinaria mide el porcentaje de tiempo en que las máquinas están operativas y disponibles para la producción en relación con el tiempo total programado (García, 2003). Este indicador refleja la efectividad global del mantenimiento y la confiabilidad de los equipos, ya que una alta disponibilidad significa que las máquinas están operativas la mayor parte del tiempo, permitiendo que la producción se realice de manera continua y eficiente (Pérez Rondón, 2021), se mide a través de:

$$\text{Disponibilidad (\%)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Dimensión Tasa de Fallas (MTBF - Mean Time Between Failures): La Tasa de Fallas mide el tiempo promedio que transcurre entre una falla y otra en la maquinaria. (Pérez Rondón, 2021). Es un indicador clave de la confiabilidad de los equipos, ya que una mayor tasa de fallas implica menor tiempo entre fallas, lo que puede afectar la disponibilidad y operatividad de la maquinaria.

$$\frac{\text{Tiempo total de operación (horas)}}{\text{Nro de fallas}} \times 100$$

Dimensión Tiempo Promedio de Reparación (MTTR - Mean Time To Repair): El Tiempo Promedio de Reparación (MTTR) se refiere al tiempo promedio necesario para restaurar la funcionalidad de una máquina después de que ha ocurrido una falla. Este indicador es crucial para evaluar la rapidez con que el equipo de mantenimiento puede reparar la maquinaria, minimizando el tiempo de inactividad (Dounce Villanueva, 2014). Un menor MTTR indica una capacidad eficiente de recuperación tras una falla, lo cual es esencial para mantener la continuidad en la producción.

$$\frac{\textit{Tiempo total de reparación (horas)}}{\textit{Nro. de fallas reparadas}}$$

1.2 Formulación del problema

¿En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la maquinaria en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC?

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar en qué medida la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la maquinaria en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual de la disponibilidad de la maquinaria en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC
- Desarrollar la implementación del plan de mantenimiento preventivo
- Realizar la evaluación económica de la implementación del plan de mantenimiento preventivo.

1.4 Hipótesis

La implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la maquinaria en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC

1.5. Justificación

Justificación Práctica

La implementación de un plan de mantenimiento preventivo en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC se justifica desde un punto de vista práctico porque busca solucionar un problema crítico que afecta directamente la producción y la satisfacción del cliente: las fallas imprevistas de las máquinas. Estas fallas resultan en paros de producción, demoras en la entrega, y pérdida de clientes, lo que tiene un impacto económico significativo en la empresa. Al establecer un mantenimiento preventivo, se logrará una mayor disponibilidad de las máquinas, reduciendo el tiempo muerto y mejorando la eficiencia operativa, lo cual se traducirá en un incremento en la productividad y una disminución en los costos operativos, asegurando así la continuidad del negocio y la satisfacción del cliente.

Justificación Teórica

Desde una perspectiva teórica, este estudio se fundamenta en los principios de gestión del mantenimiento y la teoría de confiabilidad, que sugieren que un enfoque preventivo en el mantenimiento de maquinaria es más efectivo para garantizar la continuidad operativa y extender la vida útil de los equipos. La literatura existente en el campo de la ingeniería industrial respalda que la implementación de un mantenimiento preventivo reduce significativamente las fallas inesperadas, mejorando la disponibilidad de los equipos y, por ende, la eficiencia en los procesos productivos. Este estudio contribuye al cuerpo de conocimiento al aplicar estos principios teóricos en un contexto específico, proporcionando datos empíricos sobre la efectividad de un plan de mantenimiento preventivo en una empresa manufacturera mediana.

Justificación Metodológica

Metodológicamente, este estudio se justifica por la necesidad de evaluar de manera sistemática y cuantitativa el impacto de la implementación de un plan de

mantenimiento preventivo en la disponibilidad de la maquinaria y la eficiencia operativa.

A través de la recopilación y análisis de datos operativos antes y después de la implementación del plan, se podrá identificar de manera precisa las mejoras en los indicadores clave de desempeño. Este enfoque metodológico permitirá no solo validar la efectividad del mantenimiento preventivo en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC, sino también establecer un marco de referencia para otras empresas del sector que enfrentan problemas similares, proporcionando una guía práctica para la optimización de sus procesos de mantenimiento.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La investigación es de tipo aplicada, según Hernández y Mendoza (2018) se define como aquella que se enfoca en resolver problemas prácticos específicos mediante la aplicación de conocimientos y teorías existentes. Este tipo de investigación se orienta hacia la búsqueda de soluciones directas y prácticas para problemas particulares. En este caso, la investigación se centrará en aplicar un plan de mantenimiento preventivo en la empresa y medir su impacto en la disponibilidad de la maquinaria.

El enfoque es cuantitativo, de acuerdo con Hernández y Mendoza (2018), se caracteriza por la recolección y análisis de datos numéricos, con el objetivo de establecer patrones y relaciones entre variables. Este enfoque permite una medición precisa de los fenómenos y es útil para comprobar hipótesis a través del uso de estadísticas y otras herramientas cuantitativas. En este caso, el enfoque cuantitativo permitirá recolectar datos precisos sobre los indicadores clave antes y después de la implementación del plan de mantenimiento preventivo.

El nivel es explicativo, según Hernández y Mendoza (2018), se refiere a estudios que no solo describen o correlacionan variables, sino que también buscan explicar las causas de los fenómenos observados. De acuerdo al nivel se buscará identificar la relación causal entre la implementación del mantenimiento preventivo y la mejora en la disponibilidad de las máquinas.

El diseño es experimental lo cual es definido por Hernández y Mendoza (2018) como un tipo de investigación que permite manipular deliberadamente una o más variables independientes para observar su efecto sobre una o más variables dependientes, bajo condiciones controladas. Dentro de este diseño, el grado pre-experimental implica la aplicación de un tratamiento o intervención en un grupo sin la utilización de un grupo control adecuado, lo que puede limitar la capacidad para hacer inferencias causales

concluyentes, pero es útil en contextos donde se busca una intervención rápida o exploratoria. En este caso el diseño pre-experimental permitirá observar los efectos inmediatos de la implementación del plan de mantenimiento en la disponibilidad de las máquinas, permitiendo recopilar datos valiosos y realizar ajustes en tiempo real.

La población del estudio está conformada por la totalidad de las maquinarias utilizadas en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC, con un enfoque específico en los seis tornos convencionales operativos. Estos equipos han sido identificados como críticos debido a su impacto directo en la continuidad del proceso productivo y la disponibilidad general de la planta. (Hernández y Mendoza, 2018).

La muestra según Hernández y Mendoza (2018) indican que este estudio estará compuesto por un subconjunto representativo de las maquinarias, específicamente los tornos, que son los equipos más críticos en la producción de sellos hidráulicos. La muestra del estudio estará compuesta por los seis tornos convencionales, ya que representan la totalidad de las unidades disponibles en la empresa. Debido a que el estudio se centra en un análisis de la operatividad y eficiencia del mantenimiento de estos equipos, no se realiza una selección parcial de la población, sino que se aborda el universo completo de los equipos relevantes.

El tipo de muestreo utilizado es un muestreo censal, dado que se incluyen los seis tornos convencionales sin aplicar técnicas de selección aleatoria o segmentada. Esto garantiza que los resultados obtenidos reflejen con precisión la situación real del mantenimiento y la disponibilidad de la maquinaria en estudio. No se emplea un criterio aleatorio, sino un enfoque técnico basado en principios de mantenimiento industrial y confiabilidad operacional. La selección de los tornos se fundamenta en criterios de

criticidad operativa, frecuencia de uso y variabilidad en la disponibilidad, alineados con metodologías reconocidas como el Análisis de Criticidad y el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Dado que el objetivo del estudio es evaluar el impacto del mantenimiento preventivo en la eficiencia de los equipos, el muestreo censal permite un análisis integral de los activos críticos, asegurando que las intervenciones se realicen sobre los equipos de mayor impacto en la operatividad.

La técnica empleada para la recolección de datos fue el análisis documental, permitiendo la evaluación sistemática de registros históricos para obtener información relevante sobre la disponibilidad de los tornos convencionales. El instrumento aplicado fue la ficha de registro de mantenimiento histórico (Anexo 3), la cual recopila información detallada sobre los registros de indicadores clave de disponibilidad, como el Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR), correspondientes a los meses de enero a diciembre del año 2022, contabilizando un período total de 12 meses (6 meses antes y 6 meses después de la implementación de mejoras o cambios en el mantenimiento). Este instrumento permitió la recopilación estructurada de datos operativos para analizar la evolución de la disponibilidad de los equipos. Los registros analizados incluyen documentos internos que detallan el historial de fallas, reparaciones y costos de los seis tornos convencionales empleados en el proceso productivo. Asimismo, se analizaron tendencias en los indicadores de rendimiento y se identificaron patrones recurrentes en la operatividad de los equipos, permitiendo establecer comparaciones entre períodos anteriores y posteriores a las estrategias de mantenimiento implementadas. Finalmente, la validez y confiabilidad de los datos está asegurada gracias a la precisión y sistematización de los registros históricos, respaldados por la carta de autorización de la empresa, la cual certifica la veracidad de la información utilizada en la investigación.

El procedimiento de recolección de datos se llevó a cabo utilizando el Registro de Mantenimiento Histórico, asegurando la precisión y confiabilidad de la información. Primero, se diseñó el instrumento identificando variables clave como tiempo total de operación, número total de fallas, tiempo total de reparación (horas), número total de reparaciones, MTBF (horas por falla), MTTR (horas por reparación) y disponibilidad (%), asegurando que el formato del registro incluye campos detallados para cada una de estas métricas. Posteriormente, se obtuvo el permiso de la empresa mediante una solicitud formal, explicando los objetivos de la investigación y la importancia del acceso a los registros, asegurando la confidencialidad de los datos a través de acuerdos firmados. Se coordinó con el personal de mantenimiento para programar la recolección de datos en campo, accediendo a los documentos internos y bases de datos que contienen el historial de mantenimiento de los seis tornos convencionales empleados en la producción de sellos hidráulicos. La extracción de información se centró en mantenimiento preventivo y correctivo, tiempos de inactividad, frecuencia de fallas y costos operativos, asegurando la consistencia y completitud de los datos. Toda la información recopilada fue documentada en hojas de cálculo y bases de datos digitales, verificando su integridad antes de la digitalización y clasificación según los indicadores de mantenimiento y disponibilidad (MTBF y MTTR). La estructura del registro permitió organizar los datos mes a mes, proporcionando un análisis detallado de la evolución del mantenimiento y disponibilidad de los equipos. Este proceso permitió analizar la evolución de la disponibilidad de la maquinaria y evaluar el impacto de las estrategias de mantenimiento en la productividad de la empresa, proporcionando una base objetiva para la toma de decisiones.

Con respecto al procedimiento de análisis de datos a continuación se describen los pasos ordenados:

1. Cálculo de los datos de acuerdo a las fórmulas de la matriz de operacionalización de variables

Cálculo de Indicadores: Se calcularon los indicadores clave definidos en la matriz de operacionalización de variables, tales como la frecuencia de mantenimiento, tiempo de intervención, tasa de fallas (MTBF), tiempo promedio de reparación (MTTR), y disponibilidad de la maquinaria.

Registro de Resultados: Los resultados de estos cálculos fueron registrados en una base de datos estructurada, lo que permitió organizar los datos de manera precisa para su análisis posterior.

2. Prueba de Normalidad utilizando SPSS

Importación de Datos: Los datos calculados fueron importados al software SPSS para llevar a cabo el análisis estadístico.

Selección de la Prueba de Normalidad: Se seleccionó la prueba de normalidad más adecuada, como Shapiro-Wilk, para evaluar si los datos seguían una distribución normal.

Ejecución de la Prueba: Se ejecutó la prueba de normalidad en SPSS para cada una de las variables relevantes. Los resultados se interpretaron en función del valor de significancia:

- Si $p > 0.05$, se asumió que los datos seguían una distribución normal.
- Si $p \leq 0.05$, se concluyó que los datos no seguían una distribución normal.

Registro de Resultados: Los resultados de la prueba de normalidad fueron documentados, indicando si las variables cumplían con la suposición de normalidad.

3. Análisis Inferencial

Selección de la Prueba Estadística: Según los resultados de la prueba de normalidad, se seleccionó la prueba estadística más adecuada para el análisis inferencial:

- **Prueba t de Student:** Se utilizó para comparar las medias de las variables antes y después de la implementación del plan de mantenimiento preventivo, si los datos seguían una distribución normal.
- **Prueba de Wilcoxon:** Se utilizó en lugar de la prueba t cuando los datos no seguían una distribución normal, comparando las medianas de las variables en los dos momentos de interés.

Ejecución del Análisis: Se realizó el análisis inferencial utilizando SPSS. Las pruebas seleccionadas fueron ejecutadas para determinar si existían diferencias significativas entre los datos pre y post implementación del plan de mantenimiento.

Interpretación de Resultados: Los resultados fueron interpretados para identificar si la implementación del plan de mantenimiento preventivo generó cambios significativos en las variables de interés, como la disponibilidad de la maquinaria.

4. Contrastación de Hipótesis

Definición de Hipótesis: Se formularon la hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_1):

- H_{0H_0} : No existe un efecto significativo del mantenimiento preventivo en la disponibilidad de la maquinaria.
- H_{1H_1} : Existe un efecto significativo del mantenimiento preventivo en la disponibilidad de la maquinaria.

Contraste de Hipótesis: Basado en los resultados de las pruebas inferenciales (t de Student o Wilcoxon), se decidió si se debía rechazar la hipótesis nula.

En la investigación se respetaron estrictamente las consideraciones éticas a lo largo de todo el proceso. Se garantizó el respeto a los derechos de autor al citar adecuadamente todas las fuentes utilizadas, conforme a las normas de propiedad intelectual, reconociendo el trabajo de los autores originales. Asimismo, se aseguró la confidencialidad de la información proporcionada por la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC, firmando acuerdos de confidencialidad que protegieron los datos sensibles y estratégicos de la organización. La información obtenida se utilizó exclusivamente para los fines de esta investigación y no se divulgó a terceros sin la autorización expresa de la empresa. Además, se respetaron los principios de transparencia, integridad y responsabilidad, asegurando que los datos fueran recolectados y analizados de manera objetiva y sin manipulación. Se garantizó el anonimato de los participantes en las entrevistas y se les informó previamente sobre los objetivos y alcances del estudio, asegurando su consentimiento informado. Estas medidas fueron implementadas para salvaguardar la ética y el rigor académico, así como para asegurar la confianza y colaboración de todas las partes involucradas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

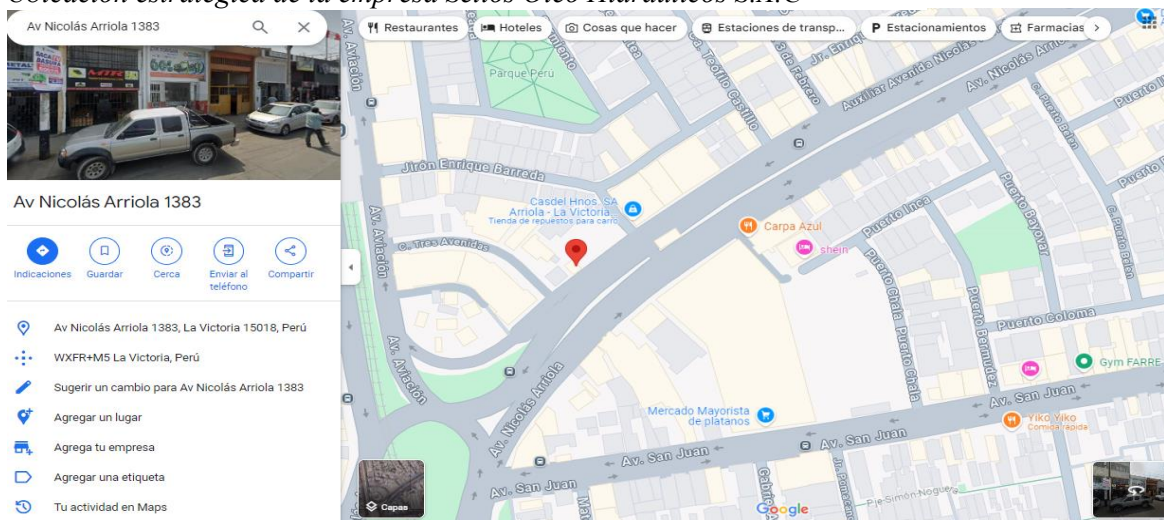
3.1. Diagnóstico de la situación actual de la disponibilidad de la maquinaria

3.1.1. Datos generales de la empresa

Sellos Óleo Hidráulicos S.A.C. es una empresa peruana con RUC 20512612831, dedicada a la fabricación de sellos hidráulicos para maquinaria pesada de alta calidad. Fundada el 4 de marzo de 2006, la empresa tiene su sede legal en la Av. Nicolás de Arriola Nro. 1383, en la urbanización Apolo del distrito de La Victoria, Lima. Desde su creación, la empresa ha estado comprometida con el desarrollo de soluciones innovadoras en sellos hidráulicos, atendiendo las necesidades de diferentes sectores industriales que dependen de la hidráulica para garantizar el buen funcionamiento de sus sistemas.

Figura 1

Ubicación estratégica de la empresa Sellos Óleo Hidráulicos S.A.C



Objetivo de la empresa

Proporcionar a sus clientes productos de excelente calidad que aseguren la durabilidad y efectividad de los sistemas hidráulicos en los que se aplican. La empresa se enfoca en satisfacer los requerimientos específicos de sus clientes, ofreciéndoles

productos que garanticen la seguridad y confiabilidad en diversas operaciones industriales.

Misión

Ser líder en la fabricación de sellos hidráulicos en el mercado nacional, brindando productos que se distingan por su alto rendimiento y capacidad de soportar condiciones extremas. Sellos Óleo Hidráulicos S.A.C. busca continuamente innovar en sus procesos productivos para cumplir con los más altos estándares de calidad y asegurar la plena satisfacción de sus clientes.

Visión

Consolidarse como una de las principales empresas en el sector de sellos hidráulicos en América Latina, expandiendo su presencia en mercados internacionales y contribuyendo al desarrollo industrial mediante soluciones hidráulicas eficientes y sostenibles.

Productos

Entre los productos que ofrece Sellos Óleo Hidráulicos S.A.C. se encuentran una amplia variedad de sellos hidráulicos, como sellos de pistón, sellos de vástago, juntas tóricas y rascadores. Estos productos están diseñados para ser utilizados en maquinaria pesada, sistemas hidráulicos industriales, y en aplicaciones que requieren resistencia a altas presiones y temperaturas extremas. Además, la empresa ofrece servicios personalizados de fabricación y asesoramiento técnico para ayudar a sus clientes a seleccionar el sello más adecuado para sus necesidades específicas.

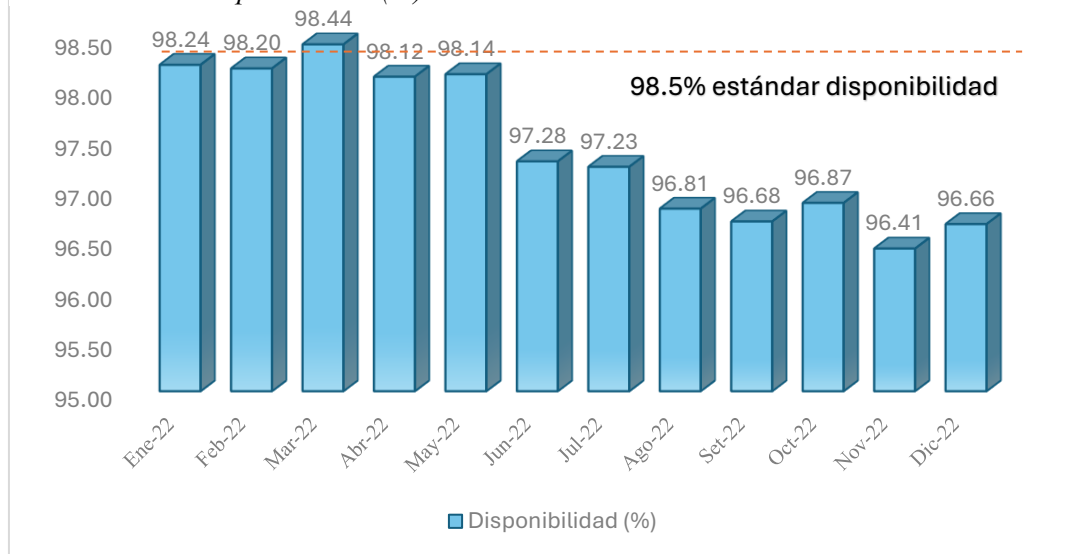
Sellos Óleo Hidráulicos S.A.C. ha mantenido un fuerte compromiso con la calidad y la innovación a lo largo de los años, y continúa trabajando para mantener su reputación como un proveedor confiable y eficiente en la industria hidráulica.

3.1.2. Disponibilidad inicial

Según el registro de mantenimiento correspondiente al año 2022, la empresa Sellos Óleo Hidráulicos S.A.C. reportó una disponibilidad promedio del 97.42% en los 6 tornos convencionales utilizados en su línea de fabricación de sellos hidráulicos. Este valor se encuentra por debajo de la meta establecida por la empresa, debido a una disminución constante en los últimos meses del año, particularmente entre junio y septiembre de 2022. Esta tendencia negativa fue consecuencia de las fallas mecánicas recurrentes que afectaron el rendimiento de las máquinas a lo largo del año, lo que generó un impacto económico significativo para la empresa. Estas fallas no solo redujeron la disponibilidad de los equipos, sino que también incrementaron los costos de reparación y tiempos de inactividad, afectando de manera directa la productividad. A continuación, se presenta la tendencia de la baja disponibilidad registrada durante los últimos seis meses del año 2022, evidenciando el deterioro progresivo en el rendimiento de los equipos clave para la producción.

Figura 2

Tendencia de la disponibilidad (%) de los tornos convencionales durante el año 2022



Este bajo índice de disponibilidad se debió principalmente a la disminución en los indicadores clave de mantenimiento. El MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) mostró una reducción significativa, alcanzando las 97.55 horas, lo que representa una disminución considerable en comparación con el año anterior. Esto indica que las máquinas fallaron con mayor frecuencia durante 2022. Asimismo, el MTTR (Tiempo Medio de Reparación) se mantuvo en 2.45 horas, lo que refleja un tiempo prolongado de reparación para cada incidente, contribuyendo al incumplimiento de los objetivos de disponibilidad establecidos por la empresa. Estas fallas y tiempos de reparación prolongados no solo afectaron la operatividad de las maquinarias, sino que también tuvieron un impacto directo en la eficiencia productiva y en la capacidad de cumplir con los plazos de entrega, lo que resultó en pérdidas económicas significativas. A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el año 2022 en relación con los indicadores de mantenimiento, mostrando la tendencia negativa que afectó la operatividad de la empresa.

Tabla 1

Resumen de resultados de indicadores de mantenimiento del año 2022

Mes	MTBF (Hrs por fallo)	MTTR (Hrs/reparación)	Disponibilidad (%)
Ene-22	154.31	2.77	98.24
Feb-22	126.25	2.31	98.20
Mar-22	116.24	1.84	98.44
Abr-22	98.14	1.88	98.12
May-22	94.24	1.78	98.14
Jun-22	101.31	2.83	97.28
Jul-22	92.45	2.64	97.23
Ago-22	76.76	2.53	96.81
Set-22	74.79	2.57	96.68
Oct-22	80.17	2.59	96.87
Nov-22	77.98	2.90	96.41

Dic-22	77.96	2.70	96.66
Promedio	97.55	2.45	97.42

Con respecto al MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas), se identificó un valor de 97.55 horas, lo que significa que, en promedio, las máquinas operaron de manera continua durante ese tiempo antes de presentar una falla. Este valor refleja una menor fiabilidad en comparación con estándares óptimos de operación, lo que impactó negativamente en la eficiencia general de la producción. Este resultado se obtuvo debido a un promedio mensual de 45 fallas en los 6 tornos convencionales, que estuvieron en funcionamiento durante un total de 4,167 horas operativas mensuales a lo largo del año 2022. Estas cifras subrayan que, aunque las máquinas estuvieron en operación la mayor parte del tiempo, la frecuencia de las fallas fue elevada, afectando considerablemente el rendimiento productivo y contribuyendo a las pérdidas económicas y operativas de la empresa. A continuación, se presenta el resumen detallado de los datos de mantenimiento recogidos durante el año 2022, destacando los indicadores clave como el MTBF y el tiempo total operativo de los equipos.

Tabla 2

Resumen de resultados del MTBF durante el año 2022

Mes	Tiempo total de operación	Nro. total de fallas	MTBF (Hrs por fallo)
Ene-22	4,012	26	154.31
Feb-22	4,040	32	126.25
Mar-22	4,417	38	116.24
Abr-22	4,122	42	98.14
May-22	4,335	46	94.24
Jun-22	4,255	42	101.31
Jul-22	4,345	47	92.45
Ago-22	3,915	51	76.76
Set-22	3,964	53	74.79

Oct-22	4,329	54	80.17
Nov-22	3,899	50	77.98
Dic-22	4,366	56	77.96
Promedio	4,167	45	97.55

En cuanto al MTTR (Tiempo Medio de Reparación), durante el año 2022 se registró un promedio de 2.45 horas, lo cual significa que, en promedio, cada vez que una de las máquinas fallaba, tomaba aproximadamente 2.45 horas para repararla y devolverla a su estado operativo. Este valor indica un tiempo considerable dedicado a la reparación de fallas, lo que impacta directamente en la disponibilidad general de las maquinarias. Este resultado se debe a que, en promedio, se realizaron 45 reparaciones al mes, acumulando un tiempo total de reparación de 110 horas mensuales. Estos tiempos de reparación prolongados redujeron significativamente el tiempo efectivo de operación de las maquinarias, afectando tanto la productividad como la capacidad de cumplir con los plazos de entrega establecidos. A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos en relación con el MTTR durante el año 2022, reflejando el impacto de los tiempos de inactividad por reparación en los tornos convencionales.

Tabla 3

Resumen de resultados del MTTR durante el año 2022

Mes	Tiempo Total de Reparación (Hrs)	Nro total de reparaciones	MTTR (Hrs/reparación)
Ene-22	72	26	2.77
Feb-22	74	32	2.31
Mar-22	70	38	1.84
Abr-22	79	42	1.88
May-22	82	46	1.78
Jun-22	119	42	2.83
Jul-22	124	47	2.64
Ago-22	129	51	2.53
Set-22	136	53	2.57
Oct-22	140	54	2.59
Nov-22	145	50	2.90

Dic-22	151	56	2.70
Promedio	110	45	2.45

3.1.3. Impacto Económico

La baja disponibilidad de los 6 tornos convencionales en la línea de producción de Sellos Óleo Hidráulicos S.A.C. generó un impacto económico significativo de S/ 110,255.16 durante el año 2022. Este impacto se debió a diversos factores, entre los que destacan la Pérdida de Producción, derivada de la menor capacidad operativa por las fallas recurrentes; los costos de reparación, que aumentaron debido a la frecuencia y complejidad de las intervenciones necesarias para mantener las máquinas operativas; y los costos operativos adicionales, que se incrementaron como resultado de los tiempos de inactividad y la necesidad de reprogramar las operaciones. Estos factores no solo afectaron la productividad de la empresa, sino que también provocaron un aumento considerable en los gastos, afectando la rentabilidad general de la operación. A continuación, se presenta el resumen detallado de los resultados del impacto económico acumulado durante el año 2022, desglosando cada uno de los componentes que contribuyeron a esta pérdida financiera.

Tabla 4

Resumen de resultados del impacto económico

Concepto	Descripción	Fórmula	Impacto económico
Pérdida de Producción	Disminución del 5% en la capacidad productiva debido a fallas mecánicas recurrentes.	Valor de producción	S/1,440,000.00
		Porcentaje de reducción (%)	5
		Pérdida	S/72,000.00
Costos de Reparación	Costos asociados a las reparaciones frecuentes (537 fallas al año, MTTR de 2.45 horas).	Costo por hora de reparación	S/25.00
		MTTR	2.45
		Numero de fallas	537
		Pérdida	S/32,828.04
		Costos operativos anual	S/45,226.00

Costos Operativos Adicionales	Incremento del 12% en costos operativos debido a la ineficiencia y tiempos de inactividad.	Incremento del costo operativo (%)	12
		Pérdida	S/5,427.12
		Total Impacto Económico	S/110,255.16

3.1.4. Identificación causas raíz

La identificación de las causas raíz permitió establecer claramente los factores que contribuyen a la baja disponibilidad de los tornos convencionales en la línea de producción de sellos hidráulicos. Estas causas fueron clasificadas en cuatro categorías principales: capacitación del personal, operación y uso de la maquinaria, mantenimiento deficiente, y gestión de inventarios y repuestos. Cada una de estas categorías agrupa tanto las causas principales como las secundarias que, de manera conjunta, han impactado negativamente en la eficiencia operativa de los equipos.

En la categoría de capacitación del personal, se identificó que la falta de formación adecuada en el manejo de los tornos y las tareas de mantenimiento ha contribuido al mal uso y a la prolongación de los tiempos de reparación. En cuanto a la operación y uso de la maquinaria, el funcionamiento fuera de los parámetros recomendados y el uso de herramientas inadecuadas han causado fallos frecuentes y desajustes en las piezas móviles.

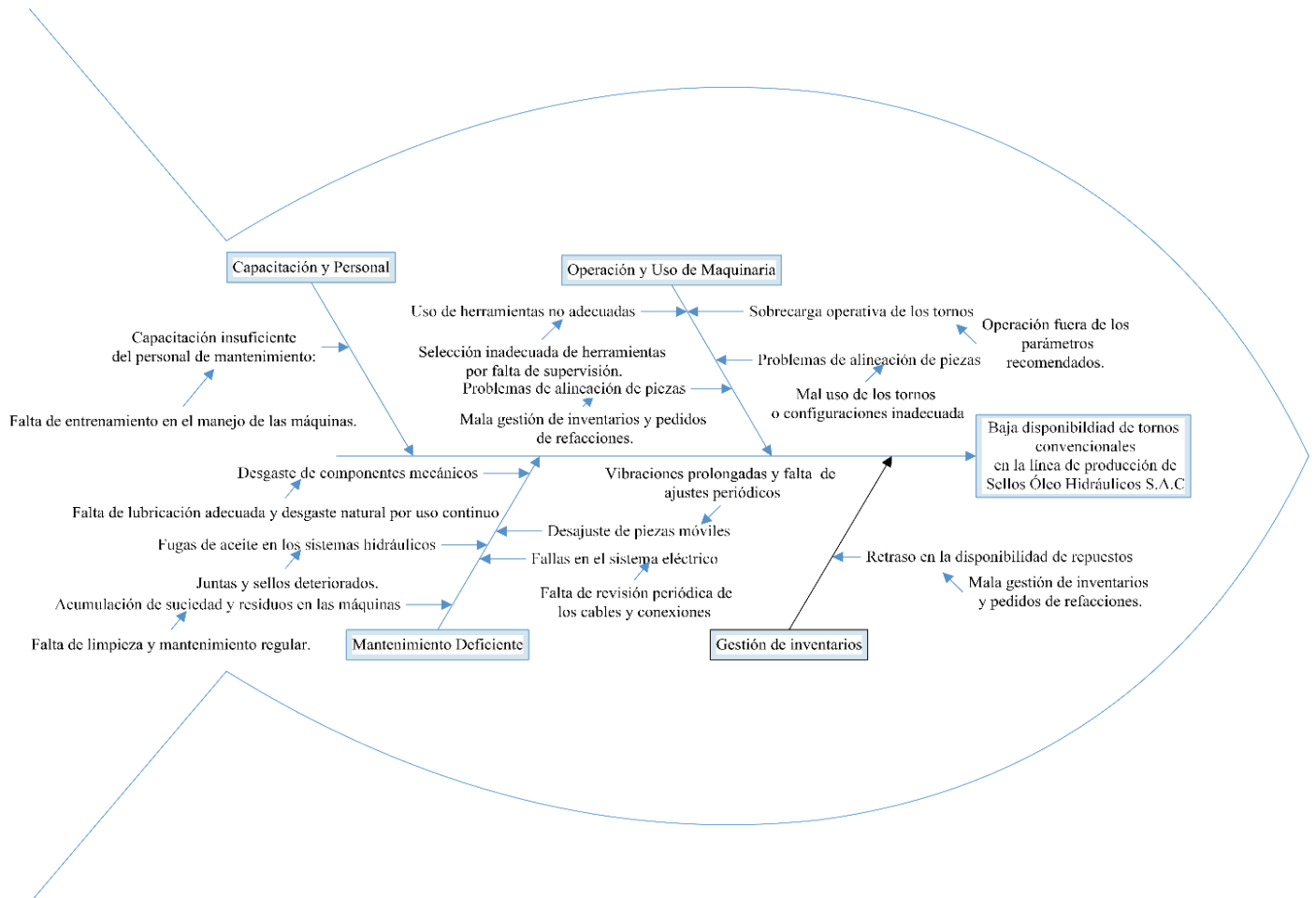
Por otro lado, en la categoría de mantenimiento deficiente, la falta de una correcta lubricación, la acumulación de suciedad, y las vibraciones no controladas han reducido la fiabilidad de los equipos. Finalmente, la gestión de inventarios y repuestos deficiente ha provocado retrasos en la reparación de las máquinas debido a la falta de piezas críticas.

A continuación, se presenta el diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa-efecto o espina de pescado, que ilustra de manera detallada las causas principales y secundarias responsables de la baja disponibilidad de los tornos convencionales en la línea de producción de sellos hidráulicos. Este enfoque visual ayuda

a clasificar las diferentes fuentes de problemas, lo que permite una comprensión más clara de los factores que afectan la operación de los equipos y su impacto en la productividad general de la empresa

Figura 3

Causas raíz mostradas en el diagrama de Ishikawa



La priorización de las causas raíz ha permitido identificar que las primeras cuatro causas generan el 78% del problema relacionado con la baja disponibilidad de los tornos convencionales en la línea de producción de sellos hidráulicos. Este análisis ha sido fundamental para determinar que, al abordar y solucionar estas cuatro causas prioritarias, se lograría una mejora sustancial en la disponibilidad de los equipos, lo que impactaría directamente en la eficiencia operativa de la empresa. La alta frecuencia de ocurrencia de estas causas fue determinada a partir del número de veces que dichas causas se

presentaron durante el diagnóstico realizado en la investigación. Esto permitió identificar los factores más críticos y focalizar los esfuerzos en las áreas de mayor impacto.

Al resolver estos problemas recurrentes, que incluyen el desgaste de componentes mecánicos, las fugas de aceite en los sistemas hidráulicos, la acumulación de suciedad, y el desajuste de piezas móviles, se prevé una mejora significativa en la operatividad de los equipos, reduciendo tanto los tiempos de inactividad como los costos de mantenimiento.

A continuación, se presenta la matriz de causas raíz, que detalla tanto las causas principales como las secundarias, ofreciendo una visión clara y estructurada de las áreas prioritarias a resolver. Esta matriz servirá como base para implementar un plan de acción efectivo orientado a mejorar la disponibilidad de las maquinarias y, con ello, optimizar la productividad de la empresa.

Tabla 5

Priorización de causas raíz

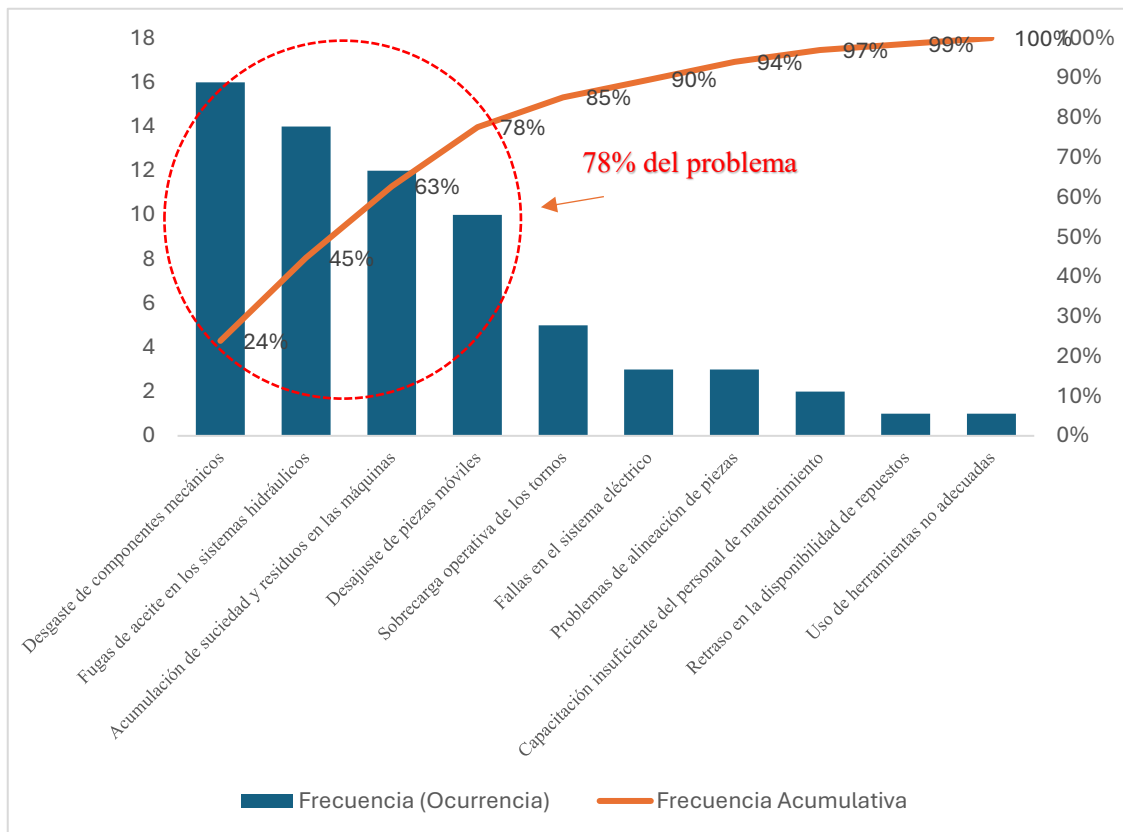
Nro.	Descripción de causas raíz	Frecuencia (Ocurrencia)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulativa
1	Desgaste de componentes mecánicos	16	24%	24%
2	Fugas de aceite en los sistemas hidráulicos	14	21%	45%
3	Acumulación de suciedad y residuos en las máquinas	12	18%	63%
4	Desajuste de piezas móviles	10	15%	78%
5	Sobrecarga operativa de los tornos	5	7%	85%
6	Fallas en el sistema eléctrico	3	4%	90%
7	Problemas de alineación de piezas	3	4%	94%
8	Capacitación insuficiente del personal de mantenimiento	2	3%	97%
9	Retraso en la disponibilidad de repuestos	1	1%	99%
10	Uso de herramientas no adecuadas	1	1%	100%
Total		67		

En el siguiente diagrama de Pareto se muestran las causas priorizadas que generan la problemática actual de baja disponibilidad en los tornos convencionales de la línea de producción de sellos hidráulicos. Este gráfico visualiza claramente que un pequeño

número de causas es responsable de la mayor parte del problema, demostrando el principio de Pareto, según el cual el 80% de las consecuencias proviene del 20% de las causas. En este caso, las primeras cuatro causas representan el 78% del impacto negativo en la disponibilidad de los equipos.

Figura 4

Pareto con la priorización de causas raíz



3.1.5. Matriz de selección de herramienta de solución

Se realizó una selección de herramienta de solución de acuerdo a un sistema de puntajes (1 a 5), donde 5 es la mejor calificación y 1 fue la peor, para evaluar se determinó la más adecuada para solucionar la baja disponibilidad de los tornos convencionales.

Tabla 6

Matriz de selección de la herramienta de solución

Criterio	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Correctivo	TPM (Mantenimiento Productivo Total)	Análisis de Fallas (FMEA)
Reducción de Fallas Mecánicas	5	2	5	4
Optimización del Tiempo de Operación	5	1	3	3
Costo de implementación	5	2	5	4
Facilidad de Implementación	4	2	3	3
Mejora en la Disponibilidad de Maquinaria	5	2	5	4
Prevención de Fallas Recurrentes	5	1	5	4
Total	29	10	26	22

De acuerdo a la evaluación según los criterios establecidos se determinó que el mantenimiento preventivo es más adecuado porque cumple los criterios y lineamientos de estudio. A continuación, se muestra el resumen de los resultados obtenidos:

- **Mantenimiento Preventivo (29 puntos):** Se obtiene el puntaje más alto, lo que indica que es la herramienta más adecuada para solucionar la baja disponibilidad de los tornos convencionales. Destaca por su capacidad para prevenir fallas, optimizar el tiempo de operación y mejorar la disponibilidad de la maquinaria.
- **Mantenimiento Correctivo (10 puntos):** Aunque corrige las fallas, obtiene un puntaje bajo, ya que no previene ni optimiza el tiempo de operación, lo que lo convierte en una opción menos eficiente.
- **TPM (Mantenimiento Productivo Total) (26 puntos):** Aunque también es efectivo para la prevención de fallas y la optimización del tiempo de operación, es más complejo de implementar en comparación con el mantenimiento preventivo.

- **Análisis de Fallas (FMEA) (22 puntos):** Es útil para identificar y prevenir fallas críticas, pero su aplicación es más específica y no aborda de manera global el problema de la disponibilidad.

La herramienta recomendada es Mantenimiento Preventivo, ya que obtuvo el puntaje más alto en la evaluación de criterios clave, lo que sugiere que es la solución más efectiva y adecuada para mejorar la disponibilidad de los tornos convencionales en la línea de producción de sellos hidráulicos. Asimismo, a continuación, se precisa a nivel de detalle el análisis de acuerdo a cada criterio considerado:

- **Reducción de Fallas Mecánicas (5 puntos):** El mantenimiento preventivo se enfoca en la inspección regular y el reemplazo de componentes antes de que fallen, lo que reduce significativamente la ocurrencia de fallas mecánicas. Implementa revisiones periódicas, ajustes y reemplazos de piezas que aseguran que las máquinas funcionen de manera óptima.
- **Optimización del Tiempo de Operación (5 puntos):** Dado que las reparaciones preventivas se realizan en intervalos planificados, se minimizan las interrupciones inesperadas, maximizando el tiempo de operación de los tornos.
- **Impacto Económico (5 puntos):** Aunque requiere inversión inicial para realizar los mantenimientos periódicos, a largo plazo reduce significativamente los costos de reparación correctiva y el tiempo de inactividad, generando ahorros importantes para la empresa.
- **Facilidad de Implementación (4 puntos):** Es relativamente sencillo implementar un plan de mantenimiento preventivo, ya que se puede programar con anticipación y no requiere herramientas o formación avanzada. Sin embargo, la coordinación para que los equipos no paren durante el tiempo de producción puede suponer un reto menor.

- **Mejora en la Disponibilidad de Maquinaria (5 puntos):** Al mantener las máquinas en condiciones óptimas de manera continua, se asegura que las fallas inesperadas se reduzcan drásticamente, aumentando la disponibilidad general de los tornos.
- **Prevención de Fallas Recurrentes (5 puntos):** El mantenimiento preventivo está diseñado específicamente para prevenir fallas recurrentes, ya que aborda los problemas antes de que se conviertan en fallas graves, extendiendo la vida útil de los equipos.

3.1.6. Matriz de soluciones de acuerdo al mantenimiento preventivo

A continuación, se presenta la matriz de soluciones para cada causa raíz identificada, las cuales se abordarán mediante el plan de mantenimiento preventivo. Estas soluciones están diseñadas para mejorar la disponibilidad de los tornos convencionales y garantizar su funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo.

Tabla 7

Resumen de soluciones de acuerdo a causas priorizadas

Causa Principal	Solución mediante Mantenimiento Preventivo
1. Desgaste de componentes mecánicos	Implementación de un programa regular de lubricación y monitoreo del desgaste de piezas.
2. Fugas de aceite en los sistemas hidráulicos	Revisión e inspección periódica de sellos y juntas, reemplazo preventivo de piezas desgastadas.
3. Acumulación de suciedad y residuos en las máquinas	Establecer un cronograma de limpieza periódica y mantenimiento preventivo de componentes para eliminar residuos acumulados.
4. Desajuste de piezas móviles	Realización de inspecciones y calibraciones periódicas de las piezas móviles para asegurar un correcto ajuste y funcionamiento.

3.2. Implementación del plan de mantenimiento preventivo

El cronograma de implementación del mantenimiento preventivo en los tornos convencionales de la línea de fabricación de sellos hidráulicos, desarrollado entre febrero de 2023 y agosto de 2024, refleja un enfoque estructurado y progresivo para abordar los problemas detectados y garantizar mejoras significativas en la disponibilidad y eficiencia de las máquinas. El proceso comenzó en febrero de 2023 con una reunión de supervisión del área, donde se alinearon los objetivos del proyecto y se asignaron responsabilidades al equipo de trabajo. Posteriormente, se realizó un diagnóstico exhaustivo de la situación inicial, entre el 17 y el 24 de febrero de 2023, evaluando el estado actual de los tornos convencionales y detectando problemas clave como desgastes excesivos, desajustes en piezas móviles y acumulación de residuos. En marzo de 2023, se implementó un programa regular de lubricación y monitoreo del desgaste de piezas, lo que permitió aplicar lubricantes especializados y realizar un seguimiento detallado del estado de los componentes críticos para reducir su desgaste y prolongar su vida útil. Durante abril de 2023, se llevó a cabo la revisión e inspección periódica de sellos y juntas, identificando y reemplazando de manera preventiva aquellos elementos desgastados para evitar fugas de aceite y otros problemas operativos. En mayo de 2023, se desarrolló un cronograma de limpieza periódica y mantenimiento preventivo de componentes, enfocado en eliminar residuos y contaminantes que afectaban el rendimiento de los equipos. A continuación, en junio de 2023, se realizaron inspecciones y calibraciones periódicas de las piezas móviles para garantizar su correcto ajuste y funcionamiento, utilizando herramientas de precisión como calibradores y alineadores.

Entre agosto de 2023 y julio de 2024, se dio continuidad al mantenimiento preventivo mediante el desarrollo de actividades regulares y un monitoreo constante de los resultados obtenidos. Esta fase permitió evaluar el impacto de las acciones realizadas

en indicadores clave como el MTBF, MTTR y la disponibilidad de las máquinas. Finalmente, en agosto de 2024, se consolidaron y analizaron los resultados finales del proyecto, los cuales evidenciaron mejoras significativas en la operación de los tornos convencionales y una notable reducción de los costos asociados a fallas y reparaciones.

Este cronograma resalta la importancia de una planificación adecuada y una ejecución disciplinada, permitiendo abordar de manera integral los problemas identificados y optimizar el desempeño de los tornos convencionales, garantizando así la continuidad operativa y la eficiencia en la producción de sellos hidráulicos.

Figura 5

Evidencia del cronograma de la implementación de un plan de mantenimiento

Nro.	Actividad	Fecha de inicio	Fecha de fin	Feb-23	Mar-23	Abr-23	May-23	Jun-23	Ago-23	Jul-24	Ago-24
1	Reunión con supervisión del área	15/02/2023	15/02/2023	■■■■■							
2	Diagnóstico de la situación inicial	17/02/2023	24/02/2023	■■■■■							
3	Implementación de un programa de lubricación y monitoreo del desgaste de piezas.	6/03/2023	13/03/2023		■■■■■						
4	Revisión e inspección periódica de sellos y juntas, reemplazo preventivo de piezas desgastadas	2/04/2023	30/04/2023			■■■■■					
5	Establecer un cronograma de limpieza periódica y mantenimiento preventivo	4/05/2023	30/05/2023				■■■■■				
6	Realización de inspecciones y calibraciones periódicas de las piezas móviles.	5/06/2023	30/06/2023					■■■■■			
7	Desarrollo continuo del MP - Resultados post-test	1/08/2023	30/07/2024						■■■■■	■■■■■	
8	Obtención de resultados finales	1/08/2024	16/08/2024								■■■■■

3.2.1. Implementación de un programa regular de lubricación y monitoreo del desgaste de piezas

Se implementó un programa regular de lubricación y monitoreo mediante un checklist de monitoreo de piezas con el propósito de abordar el problema del desgaste de componentes mecánicos en los tornos convencionales. Este programa, iniciado a inicio de marzo del 2023, tuvo como objetivo principal reducir la fricción entre las piezas móviles y prolongar la vida útil de los componentes mecánicos críticos de los equipos. Entre las acciones realizadas se incluyó la aplicación de lubricantes especializados en ejes, rodamientos y engranajes, lo que permitió optimizar el rendimiento de los tornos. Además, se utilizarán herramientas de monitoreo avanzado, como medidores de vibración y cámaras de termografía, para detectar tempranamente signos de desgaste o anomalías en las piezas clave.

El programa también contempla el registro detallado de cada intervención en un formato de control de lubricación, asegurando un seguimiento adecuado y facilitando la planificación de futuras tareas de mantenimiento. Estas actividades fueron ejecutadas por el técnico encargado del mantenimiento preventivo, quien complementó un papel crucial en la implementación de las acciones y en garantizar la correcta ejecución del programa. Como resultado, se logró minimizar los tiempos de inactividad, mejorar la disponibilidad de los tornos y aumentar la eficiencia operativa de la línea de producción de sellos hidráulicos. A continuación, se presenta el registro del cronograma de lubricación para los 6 tornos convencionales correspondiente al mes de marzo de 2023, evidenciando las acciones implementadas y su impacto positivo en los equipos.

Figura 6

Evidencia del cronograma de lubricación para los 6 tornos convencionales

Cronograma de Lubricación para los 6 Tornos Convencionales					
Empresa	Sellos Óleo Hidráulicos SAC				
Area:	Producción				
Mes	Abril del 2023				
Fecha	Torno	Componentes a lubricar	Producto de lubricación	Técnico Responsable	Observaciones
3 de abril de 2023	Torno 1	Ejes y husillos	Grasa industrial de alta presión	Manuel Gonzales	Pecados ocultos
3 de abril de 2023	Torno 2	Rodamientos	Grasa industrial de alta presión	Manuel Gonzales	Dejar el desgaste detectado
3 de abril de 2023	Torno 3	Guías lineales	Grasa industrial de alta presión	Manuel Gonzales	Pecados ocultos
3 de abril de 2023	Torno 4	Engranajes	Aceite para altas temperaturas	Pedro López	Fricción reducida
3 de abril de 2023	Torno 5	Correas	Aceite para altas temperaturas	Pedro López	Desgaste menor en correas
3 de abril de 2023	Torno 6	Piezas móviles	Aceite para altas temperaturas	Pedro López	Pecados ocultos
10 de abril de 2023	Torno 1	Ejes y husillos	Grasa industrial de alta presión	Manuel Gonzales	Lubricación correcta
10 de abril de 2023	Torno 2	Rodamientos	Grasa industrial de alta presión	Manuel Gonzales	Dejar de detectar ruido
10 de abril de 2023	Torno 3	Guías lineales	Grasa industrial de alta presión	Manuel Gonzales	Pecados ocultos
10 de abril de 2023	Torno 4	Engranajes	Aceite para altas temperaturas	Pedro López	Operación normal
10 de abril de 2023	Torno 5	Correas	Aceite para altas temperaturas	Pedro López	Requiere reemplazo en junio
10 de abril de 2023	Torno 6	Piezas móviles	Aceite para altas temperaturas	Pedro López	Lubricación correcta
17 de abril de 2023	Torno 1	Ejes y husillos	Grasa industrial de alta presión	Manuel Gonzales	Pecados ocultos
17 de abril de 2023	Torno 2	Rodamientos	Grasa industrial de alta presión	Manuel Gonzales	Pecados ocultos
17 de abril de 2023	Torno 3	Guías lineales	Grasa industrial de alta presión	Manuel Gonzales	Pecados ocultos

Como evidencia en la figura siguiente se visualiza el técnico realizando intervenciones en uno de los componentes críticos del torno, enfocándose en la aplicación de lubricantes en puntos clave como husillos, guías lineales y rodamientos. Estas acciones fueron fundamentales para asegurar el óptimo desempeño del equipo, ya que redujeron significativamente la fricción entre las piezas móviles, previnieron el desgaste prematuro y prolongaron la vida útil de los componentes mecánicos. La correcta ejecución de estas

tareas como parte del programa de mantenimiento preventivo, contribuyendo no solo a evitar fallas inesperadas, sino también a garantizar la continuidad operativa de los tornos convencionales. Esto resultó en una notable disminución de los tiempos de inactividad relacionados con problemas de mantenimiento y permitió mantener la producción de sellos hidráulicos dentro de los estándares de eficiencia establecidos por la empresa.

Figura 7

Evidencia de la lubricación del torno



La evidencia del checklist de monitoreo de las piezas de los 6 tornos convencionales mostró que se llevaron a cabo inspecciones detalladas de los componentes clave durante el período evaluado. Estas inspecciones permitieron identificar el estado actual de piezas como rodamientos, husillos, guías lineales, engranajes y piezas móviles. Durante el monitoreo, se detectan condiciones como nivel de desgaste, acumulación de residuos y desajustes en algunos tornos, lo que permitió programar acciones correctivas y preventivas específicas, tales como lubricación, ajustes y reemplazo de componentes críticos. El proceso de monitoreo también incluyó la recopilación de datos sistemáticos

que facilitaron la planificación de tareas de mantenimiento futuro y garantizaron que las piezas inspeccionadas cumplieron con los estándares operativos de la línea de producción.

Figura 8

Evidencia del checklist de Monitoreo de las Piezas de los 6 Tornos Convencionales

Checklist de Monitoreo de las Piezas de los 6 Tornos Convencionales						
Empresa	Sellos Óleo Hidráulicos SAC					
Area:	Producción					
Mes	Mayo del 2023					
Fecha	Torno	Pieza Monitoreada	Estado actual	Acción correctiva necesaria	Técnico Responsable	Observaciones
02 de mayo de 2023	Torno 1	Rodamientos	Bueno	No requiere acción	Manuel Gonzales	Pecados ocultos
02 de mayo de 2023	Torno 2	Husillos	Desgaste leve	Programar reemplazo en junio	Manuel Gonzales	Nivel de vibración detectado
02 de mayo de 2023	Torno 3	Guías lineales	Regular	Lubricar urgentemente	Manuel Gonzales	Falla en el movimiento suave
9 de mayo de 2023	Torno 4	Ejes	Bueno	No requiere acción	Pedro López	Pecados ocultos
9 de mayo de 2023	Torno 5	Piezas móviles	Regular	Ajustar calibración	Pedro López	Desajuste nivel identificado
9 de mayo de 2023	Torno 6	Engranajes	Desgaste moderado	Reemplazar pieza desgastada	Pedro López	Alta fricción observada
16 de mayo de 2023	Torno 1	Rodamientos	Bueno	No requiere acción	Manuel Gonzales	Pecados ocultos
16 de mayo de 2023	Torno 2	Correas	Regular	Ajustar tensión	Manuel Gonzales	Tensión inadecuada detectada
16 de mayo de 2023	Torno 3	Piezas móviles	Bueno	No requiere acción	Manuel Gonzales	Pecados ocultos
23 de mayo de 2023	Torno 4	Husillos	Regular	Lubricar y limpiar residuos	Pedro López	Acumulación de suciedad
23 de mayo de 2023	Torno 5	Engranajes	Bueno	No requiere acción	Pedro López	Pecados ocultos
23 de mayo de 2023	Torno 6	Ejes	Desgaste moderado	Programar inspección adicional	Pedro López	Vibración detectada
30 de mayo de 2023	Torno 1	Correas	Regular	Ajustar tensión	Manuel Gonzales	Tensión ligeramente baja
30 de mayo de 2023	Torno 2	Piezas móviles	Bueno	No requiere acción	Manuel Gonzales	Pecados ocultos
30 de mayo de 2023	Torno 3	Rodamientos	Desgaste moderado	Reemplazar piezas deterioradas	Manuel Gonzales	Fricción elevada detectada

3.2.2. Revisión e inspección periódica de sellos y juntas, reemplazo preventivo de piezas desgastadas

La revisión e inspección periódica de sellos, así como el reemplazo preventivo de piezas desgastadas, se desarrollaron a partir de abril de 2023 como parte del plan de mantenimiento preventivo. Estas actividades permitieron abordar exitosamente uno de los principales problemas detectados: las fugas de aceite en los sistemas hidráulicos de los tornos convencionales. Dichas acciones garantizaron la estanqueidad de los sistemas, evitando el deterioro adicional de los componentes internos y asegurando una operación más eficiente y confiable en la línea de producción de sellos hidráulicos.

Para ejecutar estas tareas, se empleó un formato de inspección visual, el cual permitió identificar de manera sistemática el estado de los sellos y juntas, registrando anomalías como grietas, desgaste o deformaciones. Este formato facilitó la priorización de las intervenciones necesarias, como reemplazos o ajustes, minimizando las fallas inesperadas.

La figura siguiente muestra como evidencia un ejemplo de la aplicación de este formato en campo, destacando su utilidad en la detección temprana de problemas y en la planificación del mantenimiento correctivo. Además, se diseñó y utilizó un formato de registro de reemplazo de componentes, el cual documentó cada acción correctiva realizada, especificando el tipo de pieza reemplazada, las razones del cambio y las especificaciones del nuevo componente instalado. Este formato no solo permitió un control detallado de las intervenciones realizadas, sino que también brindó trazabilidad al proceso de mantenimiento.

Figura 9

Evidencia del formato de inspección visual

Formato de Inspección Visual						
Empresa	Sellos Óleo Hidráulicos SAC					
Area:	Producción					
Mes	Mayo del 2023					
Fecha	Hora	Máquina (Torno)	Componente inspeccionado	Estado detectado	Acción requerida	Observaciones
1/05/2023	9:00 a. m.	Torno 1	Sello hidráulico	Grieta	Reemplazar	Desgaste visible
1/05/2023	9:30 a. m.	Torno 2	Junta	Nivel de deformación	Inspección adicional	Operación parcialmente afectada
1/05/2023	10:00 a. m.	Torno 3	Junta	Fuga de aceite	Reemplazar	Pérdida mínima detectada
1/05/2023	10:30 a. m.	Torno 4	Sello hidráulico	Sin anomalías	No aplica	
1/05/2023	11:00 a. m.	Torno 5	Junta	Desgaste	Reemplazar	
1/05/2023	11:30 a. m.	Torno 6	Junta	Sin anomalías	No aplica	
5/02/2023	9:00 a. m.	Torno 1	Sello hidráulico	Nivel de deformación	Inspección adicional	
5/02/2023	9:30 a. m.	Torno 2	Junta	Grieta	Reemplazar	
5/02/2023	10:00 a. m.	Torno 3	Sello hidráulico	Fuga de aceite	Reemplazar	
5/02/2023	10:30 a. m.	Torno 4	Junta	Sin anomalías	No aplica	
5/02/2023	11:00 a. m.	Torno 5	Junta	Desgaste	Reemplazar	
5/02/2023	11:30 a. m.	Torno 6	Sello hidráulico	Grieta	Reemplazar	

En la figura siguiente se presenta como evidencia este formato, destacando su papel fundamental en la mejora de la gestión del mantenimiento preventivo y en la optimización de los recursos utilizados. Estas acciones conjuntas fortalecieron significativamente la confiabilidad operativa de los tornos convencionales, redujeron las paradas no programadas y mejoraron los indicadores de mantenimiento de la empresa.

Figura 10

Evidencia del registro de reemplazo de componentes

Formato de Registro de Reemplazo de Componentes						
Empresa	Sellos Óleo Hidráulicos SAC					
Area:	Producción					
Mes	Mayo del 2023					
Fecha	Hora	Máquina (Torno)	Componente reemplazado	Motivo del reemplazo	Nuevo componente instalado	Especificaciones técnicas
1/05/2023	9:00 a. m.	Torno 1	Sello hidráulico	Grieta detectada	Sello de alta presión	Dimensiones: 50 mm, Material: PTFE
7/05/2023	9:30 a. m.	Torno 2	Junta	Deformación	Junta resistente a los químicos	Material: Vitón, diámetro: 40 mm
10/05/2023	10:00 a. m.	Torno 3	Junta	Fuga de aceite	Junta de doble contacto	Material: EPDM, diámetro: 60 mm
12/05/2023	10:30 a. m.	Torno 4	Sello hidráulico	Grieta detectada	Sello hidráulico estándar	Dimensiones: 45 mm, Material: NBR
14/05/2023	11:00 a. m.	Torno 5	Junta	Desgaste severo	Junta resistente a altas temperaturas	Material: Vitón, diámetro: 50 mm
20/05/2023	11:30 a. m.	Torno 6	Sello hidráulico	Deformación	Sello hidráulico reforzado	Material: PTFE, diámetro: 55 mm
21/05/2023	9:00 a. m.	Torno 1	Sello hidráulico	Deformación	Sello hidráulico estándar	Dimensiones: 50 mm, Material: NBR
22/05/2023	9:30 a. m.	Torno 2	Junta	Fuga de aceite	Junta de alta resistencia	Material: EPDM, diámetro: 60 mm
23/05/2023	10:00 a. m.	Torno 3	Junta	Desgaste severo	Junta de contacto dual	Material: Vitón, diámetro: 45 mm
26/05/2023	11:30 a. m.	Torno 6	Sello hidráulico	Grietas severas	Sello hidráulico reforzado	Dimensiones: 55 mm, Material: NBR

3.2.3. Establecer un cronograma de limpieza periódica y mantenimiento preventivo de componentes para eliminar residuos acumulados.

La ejecución del cronograma de limpieza periódica y mantenimiento preventivo de componentes comenzó en junio de 2023, con el objetivo fundamental de preservar la operatividad de los tornos convencionales mediante la eliminación de contaminantes como polvo, residuos de aceite y partículas metálicas que pueden comprometer el rendimiento de las máquinas y provocar fallas prematuras. Este programa buscó no solo mejorar las condiciones de limpieza, sino también prevenir el desgaste acelerado de los

componentes clave, promoviendo una operación eficiente y prolongando la vida útil de los equipos.

Entre las actividades realizadas destacaron la limpieza exhaustiva de guías lineales, husillos, engranajes y piezas móviles, utilizando desengrasantes industriales, cepillos metálicos, paños y lubricantes de alta calidad, seleccionados para garantizar un cuidado óptimo de cada componente. Además, se efectuarán inspecciones visuales periódicas para detectar acumulación de residuos o signos de desgaste que requieran intervenciones correctivas inmediatas. El cronograma fue ejecutado por técnicos especializados, quienes se encargaron de seguir un calendario detallado que cubría todos los tornos convencionales de la línea de producción, asegurando la cobertura integral del programa.

La planificación meticulosa y la ejecución disciplinada resultaron en beneficios tangibles, como una mejora notable en las condiciones de limpieza, una disminución significativa en los tiempos de inactividad por mantenimiento no planificado, y un aumento en la confiabilidad y eficiencia de la línea de producción de sellos. hidráulicos. Estos logros consolidaron la importancia de un enfoque preventivo para garantizar la continuidad operativa y la competitividad del proceso productivo.

Los resultados del programa fueron contundentes, evidenciándose mejoras notables en la limpieza general de los equipos, una reducción considerable de fallas y un aumento en la confiabilidad operativa. Esto garantizó la continuidad del proceso de producción, fortaleciendo la competitividad de la empresa. En conclusión, el cronograma de limpieza y mantenimiento preventivo demostró ser una herramienta fundamental para optimizar el rendimiento de los tornos convencionales, proporcionando beneficios operativos y económicos que contribuyen al éxito sostenible del proceso productivo.

Figura 11

Evidencia del cronograma de limpieza periódica y mantenimiento preventivo de componentes

Cronograma de Limpieza Periódica y Mantenimiento Preventivo de Componentes						
Empresa	Sellos Óleo Hidráulicos SAC					
Area:	Producción					
Mes	Mayo del 2023					
Fecha	Torno	Componentes para Limpiar/Mantener	Actividad realizada	Material/Producto utilizado	Técnico Responsable	Observaciones
6/05/2023	Torno 1	Guías lineales, husillos, ejes	Limpieza profunda, lubricación	Desengrasante industrial, grasa	Juan Pérez	Residuo acumulado en guías
6/06/2023	Torno 2	Engranajes, rodamientos	Limpieza y ajuste	Cepillo metálico, aceite lubricante	Pedro López	Falla menor detectada en engranaje
6/07/2023	Torno 3	Cubiertas, piezas móviles	Desmontaje y limpieza general	Detergente industrial, paños	Juan Pérez	Pecados ocultos
6/08/2023	Torno 4	Motor, correas	Inspección y limpieza externa	Aire comprimido, cepillo suave	Pedro López	Residuos de polvo eliminados
6/09/2023	Torno 5	Rodamientos, husillos	Limpieza, ajuste y lubricación	Grasa para alta presión	Juan Pérez	Lubricación completa
6/12/2023	Torno 6	Engranajes, guías lineales	Limpieza y calibración	Desengrasante industrial	Pedro López	Pecados ocultos
13/06/2023	Torno 1	Piezas móviles	Limpieza y ajuste	Lubricante multiuso	Juan Pérez	Suavidad mejorada en piezas
14/06/2023	Torno 2	Husillos, guías	Limpieza y lubricación profunda	Grasa sintética	Pedro López	Residuos eliminados completamente
15/06/2023	Torno 3	Engranajes	Desmontaje, limpieza y ajuste	Aceite para alta presión	Juan Pérez	Pecados ocultos
16/06/2023	Torno 4	Motor, rodamientos	Inspección y limpieza interna	Cepillo metálico, paños	Pedro López	Residuo mínimo detectado
19/06/2023	Torno 5	Piezas móviles, correas	Limpieza superficial	Aire comprimido	Juan Pérez	Correas en bu
20/06/2023	Torno 6	Engranajes	Limpieza general y lubricación	Desengrasante industrial	Pedro López	Pecados ocultos

3.2.4. Realización de inspecciones y calibraciones periódicas de las piezas móviles para asegurar un correcto ajuste y funcionamiento

A partir de junio de 2023, se llevaron a cabo inspecciones y calibraciones periódicas de las piezas móviles en los tornos convencionales con el objetivo principal de garantizar el correcto ajuste y funcionamiento de estas piezas. Estas acciones se implementaron como parte del plan de mantenimiento preventivo para abordar el problema recurrente de desajuste en las piezas móviles, que había generado un impacto negativo en la operación de la maquinaria. El objetivo clave fue minimizar desgastes, reducir los tiempos de inactividad y prevenir desajustes que afectarán la productividad de la línea de fabricación de sellos hidráulicos.

Las actividades realizadas incluyen la inspección minuciosa de piezas móviles críticas, tales como correas, husillos y guías lineales, para identificar anomalías como desgaste, vibraciones excesivas o desalineación. Asimismo, se ejecutaron calibraciones utilizando herramientas especializadas como alineadores láser y calibradores de alta precisión, garantizando que los componentes volverán a sus parámetros operativos óptimos. Todas estas actividades fueron registradas sistemáticamente en un formato de inspección y calibración, lo que permitió documentar cada intervención, facilitar la trazabilidad y mejorar la gestión de las tareas de mantenimiento. Gracias a estas intervenciones, se redujeron significativamente las incidencias relacionadas con desajustes, mejorando la estabilidad operativa de los tornos convencionales. Este enfoque preventivo aseguró una operación más fluida, optimizó la vida útil de los componentes móviles y aumentó la eficiencia de la producción.

Como evidencia, se presenta el formato utilizado en julio de 2023, correspondiente a las Inspecciones y Calibraciones Periódicas de Piezas Móviles, el cual documentó detalladamente las actividades realizadas y los resultados obtenidos.

Figura 12

Formato de Inspecciones y Calibraciones Periódicas de Piezas Móviles

Formato de Inspecciones y Calibraciones Periódicas de Piezas Móviles							
Empresa	Sellos Óleo Hidráulicos SAC						
Area:	Producción						
Mes	Julio del 2023						
Fecha	Hora	Máquina (Torno)	Componente inspeccionado	Condición detectada	Calibración realizada	Herramienta utilizada	Resultado final
1/07/2023	9:00 a. m.	Torno 1	Guías lineales	Desgaste menor	Ajuste de tensión	Llave dinamométrica	Correcto funcionamiento
7/02/2023	9:30 a. m.	Torno 2	Husillos	Vibraciones ligeras	Realineación	Medidor de vibración	Reducción de vibraciones
3/07/2023	10:00 a. m.	Torno 3	Rodamientos	Fricción anómala	Sustitución	Extractor de rodamientos	Operación suave
7/04/2023	10:30 a. m.	Torno 4	Ejes	Sin anomalías	Calibración	Micrómetro	Ajuste en parámetros estándar
7/05/2023	11:00 a. m.	Torno 5	Engranajes	Desalinización menor	Ajuste	Herramienta calibradora	Alineación correcta
6/07/2023	11:30 a. m.	Torno 6	Piezas móviles	Holgura excesiva	Ajuste de tornillería	Llave inglesa	Holgura eliminada
7/07/2023	9:00 a. m.	Torno 1	Husillos	Sin anomalías	Inspección	Medidor de vibración	Confirmada operación estable
8/07/2023	9:30 a. m.	Torno 2	Guías lineales	Suciedad acumulada	Limpieza	Cepillo metálico	Movimiento optimizado
7/10/2023	10:00 a. m.	Torno 3	Rodamientos	Sin anomalías	Inspección	Extractor de rodamientos	Operación en parámetros estándar
11/07/2023	10:30 a. m.	Torno 4	Engranajes	Desgaste en borde	Reemplazar	Herramienta calibradora	Operación restaurada
7/12/2023	11:00 a. m.	Torno 5	Ejes	Vibraciones leves	Ajuste y lubricación	Llave dinamométrica	Reducción de vibraciones
13/07/2023	11:30 a. m.	Torno 6	Piezas móviles	Sin anomalías	Inspección	Llave inglesa	Confirmada operación estable
14/07/2023	9:00 a. m.	Torno 1	Engranajes	Sin anomalías	Ajuste de tensión	Llave dinamométrica	Parámetros óptimos alcanzados
15/07/2023	9:30 a. m.	Torno 2	Husillos	Vibración reducida	Realineación	Medidor de vibración	Operación más fluida
16/07/2023	10:00 a. m.	Torno 3	Rodamientos	Sin anomalías	Lubricación	Extractor de rodamientos	Operación suave

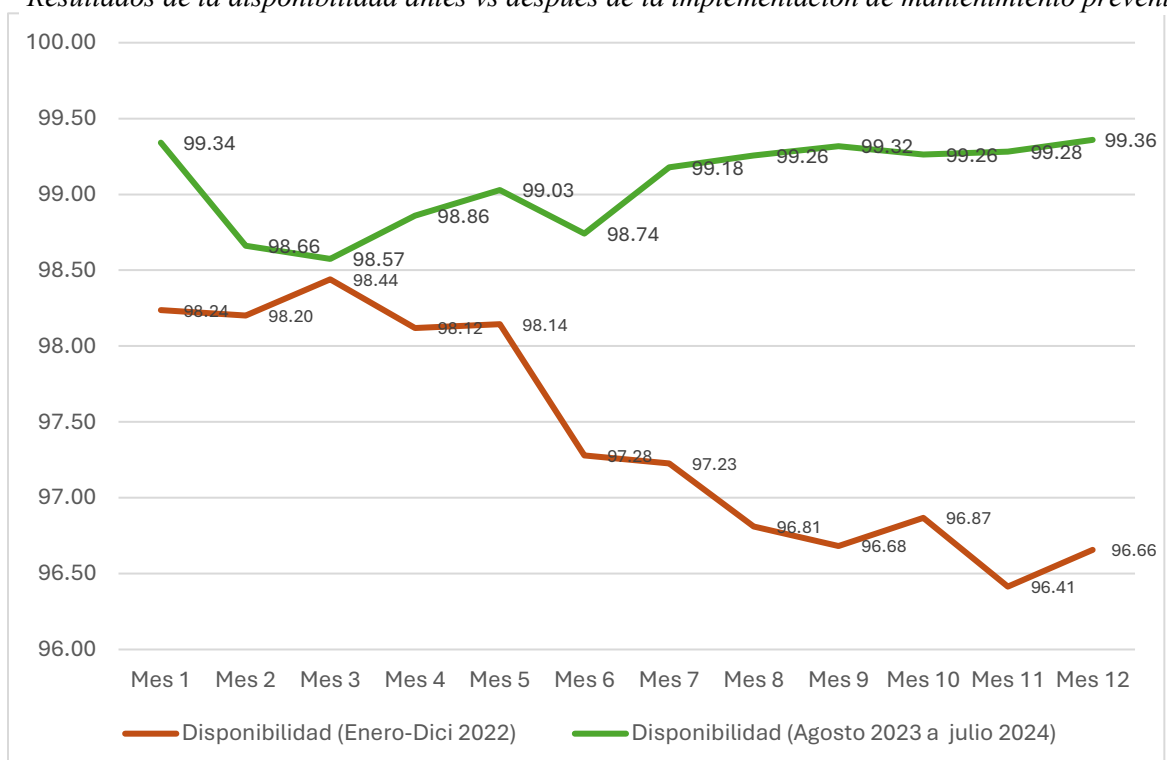
Resultados de la implementación del mantenimiento preventivo

Disponibilidad

Después de la implementación del mantenimiento preventivo, la disponibilidad de los tornos convencionales se incrementó a 99.07%, superando el estándar del sector, que estaba establecido en un 98.5%. Este resultado garantizó una mayor continuidad operativa en las actividades productivas, representando un avance significativo en la estabilidad y eficiencia del proceso de fabricación. Este aumento reflejó la efectividad de las estrategias preventivas implementadas, tales como inspecciones periódicas, calibraciones regulares, limpieza sistemática y el reemplazo programado de componentes críticos, lo cual permitió minimizar las paradas no programadas causadas por fallas mecánicas. Además, este nivel de disponibilidad asegura que las máquinas operen de manera consistente y confiable, reduciendo las interrupciones en la producción y maximizando la utilización del tiempo operativo.

Figura 13

Resultados de la disponibilidad antes vs después de la implementación de mantenimiento preventivo



Después de la implementación del plan de mantenimiento preventivo, el MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) experimentó un incremento significativo, alcanzando un promedio de 230.46 horas, lo que representa una mejora superior al 136% en comparación con los niveles anteriores. Este cambio positivo evidencia que las fallas se redujeron de manera considerable gracias a un enfoque preventivo integral, que incluyó inspecciones regulares para detectar y abordar problemas antes de que se convirtieran en fallas críticas, el reemplazo planificado de componentes mecánicos desgastados, y el monitoreo continuo de las condiciones operativas de los tornos convencionales. Estas acciones preventivas no solo prolongaron los intervalos entre fallas, sino que también garantizaron una mayor estabilidad en las operaciones, minimizando las interrupciones y mejorando notablemente la eficiencia global de la línea de producción de sellos hidráulicos. Este resultado subraya la importancia del mantenimiento preventivo como una estrategia clave para mejorar la confiabilidad de los equipos y optimizar el flujo productivo.

Por otro lado, el MTTR (Tiempo Medio de Reparación) también mostró una mejora significativa tras la implementación del mantenimiento preventivo, reduciéndose a un promedio de 2.05 horas, lo que equivale a un incremento en la eficiencia de las reparaciones. Este avance se atribuyó a la correcta planificación y programación de las tareas de mantenimiento, la capacitación especializada del personal encargado de ejecutar las reparaciones, y la incorporación de un sistema eficiente de gestión de inventarios que aseguró la disponibilidad inmediata de repuestos y herramientas necesarias para las intervenciones. Este enfoque permitió atender las fallas de manera más rápida y eficiente, minimizando los tiempos muertos y el impacto de las interrupciones en el proceso productivo. Como resultado, se logró una mejora sustancial en el rendimiento operativo de los tornos convencionales, fortaleciendo la continuidad de las operaciones y

consolidando la competitividad de la empresa en el mercado de fabricación de sellos hidráulicos.

Tabla 8

Resumen de indicadores antes vs después de la implementación de mantenimiento preventivo

Nro	Indicadores	Antes	Despues
1	Tiempo total de operación (horas)	49,999	51,107
2	Nro total de fallas	537	248
3	Tiempo Total de Reparación (Hrs)	1,321	479
4	MTBF (Hrs por fallo)	97.55	230.46
5	MTRR (Hrs/reparación)	2.45	2.05
6	Disponibilidad (%)	97.42	99.07

3.3. Evaluación económica de la implementación del plan de mantenimiento preventivo.

Beneficio de la implementación

Beneficio debido al aumento de la producción: Antes de la implementación del mantenimiento preventivo, las constantes interrupciones generadas por fallas en los tornos convencionales afectaban directamente la capacidad de producción, lo que resultó en pérdidas estimadas de S/ 72,000.00, correspondientes al 5% del valor total de producción anual, valorado en S/ 1,440,000.00. Estas interrupciones no solo reducían el volumen de sellos hidráulicos fabricados, sino que también impactaban en la capacidad de la empresa para cumplir con los plazos de entrega y satisfacer la demanda de los clientes. Sin embargo, en el período agosto 2023 a julio 2024, tras la implementación del mantenimiento preventivo, las pérdidas se redujeron al 3%, recuperando S/ 26,460.00 y elevando el valor de producción a S/ 1,518,000.00. Este aumento refleja cómo la mejora en la disponibilidad de los equipos permitió una operación más estable, con menos interrupciones y un mayor cumplimiento de los objetivos de producción.

Ahorro debido a la disminución de los costos de reparación: Los costos asociados con reparaciones correctivas representaron un desafío importante antes del mantenimiento preventivo, con 537 fallas registradas durante el año y un costo promedio de S/ 25.00 por hora de reparación, lo que generaba un gasto anual de S/ 32,828.04. Estas fallas frecuentes no solo aumentaban los costos de mantenimiento correctivo, sino que también prolongaban los tiempos de inactividad. Tras la implementación del plan de mantenimiento preventivo, las fallas se redujeron significativamente a 248, lo que equivale a 289 fallas menos al año. Esto permitió reducir los costos de reparación a S/12,691.03, generando un ahorro de S/ 20,137.01. Este resultado destaca la efectividad del mantenimiento preventivo para reducir la frecuencia de fallas mediante acciones como la inspección periódica, el reemplazo preventivo de piezas críticas y el monitoreo constante de las condiciones de los equipos.

Ahorro debido a la disminución de costos operativos adicionales: Antes de la implementación del mantenimiento preventivo, los costos operativos adicionales atribuibles a interrupciones imprevistas y ajustes en los procesos ascendían a S/ 5,427.12, representando un incremento del 12% en los costos operativos anuales, valorados en S/45,226.00. Estas interrupciones no solo impactaban en los costos de operación, sino que también generaban ineficiencias como el aumento de tiempos muertos, reprogramación de tareas y pérdida de recursos humanos. Tras el mantenimiento preventivo, el incremento en costos operativos se redujo al 5%, disminuyendo los costos adicionales a S/ 1,512.50 y generando un ahorro total de S/ 3,914.62. Este resultado evidencia que el mantenimiento preventivo, al reducir las fallas y optimizar los procesos, también disminuye significativamente los gastos imprevistos y mejora la gestión de recursos.

Tabla 9

Resultados del beneficio de la implementación

Ahorro	Fórmula	Antes de la implementación del MP	Después de la implementación del MP	Beneficio
Beneficio debido al aumento de la producción	Valor de producción	S/1,440,000.00	S/1,518,000	S/78,000.00
	Porcentaje de reducción (%)	5	3	
	Pérdida	S/72,000.00	S/45,540.00	S/26,460.00
Ahorro debido a la disminución de costos de reparación	Costo por hora de reparación	S/25.00	S/25.00	
	MTTR	2.45	2.05	0.40
	Numero de fallas	537	248	289.00
	Pérdida	S/32,828.04	S/12,691.03	S/20,137.01
Ahorro debido a la disminución de costos operativos	Costos operativos anual	S/45,226.00	S/30,250.00	S/14,976.00
	Incremento del costo operativo (%)	12	5	
	Pérdida	S/5,427.12	S/1,512.50	S/3,914.62
Total Impacto Económico		S/110,255.16	S/59,743.53	S/50,511.63

En el período enero 2022 a diciembre 2022, el impacto económico total generado por la baja disponibilidad de los tornos convencionales ascendió a S/ 110,255.16 . sin embargo, en el período agosto 2023 a julio 2024 tras la implementación del mantenimiento preventivo, este impacto se redujo significativamente a S/ 59,743.53, generando un ahorro total de s/ 50,511.63. Este beneficio económico demuestra que las estrategias preventivas no solo redujeron las pérdidas financieras, sino que también mejoraron la estabilidad operativa y aseguraron una mayor sostenibilidad económica en la producción de sellos hidráulicos.

Costos de la implementación

La inversión de S/ 45,620.00 en la implementación del mantenimiento preventivo se dio debido a la compra de suministros, compra de repuestos, costos de capacitación del personal y costos de equipos de monitoreo. a continuación, se menciona el detalle:

Tabla 10

Resumen de costos de la implementación de mantenimiento preventivo

Rubro	Detalle	Costo (S/.)
Compra de Suministros	Lubricantes, productos de limpieza, equipos básicos de mantenimiento.	S/12,500.00
Compra de repuestos	Sellos, juntas, componentes hidráulicos y piezas móviles críticas	S/20,000.00
Capacitación personal del	Programas de formación en mantenimiento preventivo y calibración	S/8,000.00
Equipos de Monitoreo	Herramientas de medición (vibración, temperatura, calibradores)	S/5,120.00
Total		S/45,620.00

La implementación del mantenimiento preventivo en los tornos convencionales de la línea de producción de sellos hidráulicos implicó un costo total de S/ 45,620.00. A continuación, se detalla la interpretación de cada costo:

1. **Compra de Suministros (S/ 12,500.00):** Este costo incluyó la adquisición de lubricantes, productos de limpieza y equipos básicos de mantenimiento, los cuales fueron utilizados para garantizar el correcto funcionamiento de los tornos. Estos suministros permitieron reducir la fricción y el desgaste en los componentes mecánicos, así como eliminar la suciedad y residuos acumulados que podrían interferir con las operaciones. Este costo representó la base operativa para mantener los equipos en condiciones óptimas y prevenir fallas mayores.
2. **Compra de Repuestos (S/ 20,000.00):** La inversión más significativa correspondió a la adquisición de sellos, juntas, componentes hidráulicos y piezas móviles críticas. Estos repuestos fueron esenciales para reemplazar piezas desgastadas o defectuosas antes de que se convirtieran en fallas críticas, lo cual aseguró la continuidad operativa de los tornos convencionales. Este costo permitió evitar interrupciones prolongadas y garantizar la eficiencia en la producción,

asegurando la disponibilidad de componentes clave durante el período de implementación.

3. **Capacitación del Personal (S/ 8,000.00):** Se llevaron a cabo programas de formación para el personal técnico en tareas de mantenimiento preventivo y calibración. La capacitación mejoró las competencias del equipo encargado, lo que permitió realizar las actividades de mantenimiento con mayor precisión y eficiencia. Este costo fortaleció la capacidad interna de la empresa, reduciendo la dependencia de servicios externos y mejorando la respuesta ante posibles fallas.
4. **Equipos de Monitoreo (S/ 5,120.00):** Se adquirieron herramientas de medición como equipos para monitoreo de vibración, temperatura y calibradores, los cuales fueron utilizados para realizar un monitoreo constante y preciso de las condiciones operativas de los tornos. Estas herramientas facilitan la identificación de problemas antes de que se conviertan en fallas críticas, incrementando la efectividad de las tareas de mantenimiento preventivo y asegurando la operatividad continua de los equipos.

Análisis económico

La evaluación económica de la implementación del mantenimiento preventivo en los tornos convencionales de la línea de producción de sellos hidráulicos demuestra su alta rentabilidad y viabilidad financiera. El proyecto presentó un costo de oportunidad de capital (COK) del 20%, y generó un valor actual neto (VAN) positivo de S/62,664.30, lo que confirma un valor adicional significativo después de recuperar la inversión. La tasa interna de retorno (TIR) alcanzó un 64,6%, superando ampliamente el COK y evidenciando la alta rentabilidad del proyecto. Además, el periodo de recuperación de 0,91 años indica que la inversión será recuperada en menos de un año, lo que asegura un retorno rápido y efectivo. La relación beneficio/costo (B/C) de 1.11 confirma que, por

cada sol invertido, se obtiene un beneficio neto de 0.11 soles, validando la rentabilidad del proyecto. En conjunto, estos resultados destacan que el mantenimiento preventivo no solo es económicamente atractivo, sino que también garantiza una operación más eficiente y sostenible de los equipos a largo plazo.

Tabla 11

Resultados de los indicadores económicos

Indicadores económicos	Valor
Valor actual Neto	S/ 62,664.30
Tasa Interna de Retorno	64.6%
Período de Recuperación	0.91
B/C	1.11

A continuación, se presenta el detalle del flujo de caja para la implementación del mantenimiento preventivo en los tornos convencionales de la línea de producción de sellos hidráulicos. Este flujo de caja incluye tanto los costos iniciales de inversión como los beneficios económicos generados a lo largo del período de evaluación. Se detallan los ingresos adicionales derivados del aumento en la producción, la reducción de los costos de reparación y la disminución de los costos operativos, evidenciando el impacto positivo de las mejoras implementadas

Tabla 12

Flujo de cajas

Conceptos / periodo	0	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
A. Ingresos (Beneficio de la implementación del Mantenimiento Preventivo)	S/-	S/50,511.63	S/51,521.86	S/52,552.30
Beneficio debido al aumento de la producción		S/26,460.00	S/26,989.20	S/27,528.98
Ahorro debido a la disminución de costos de reparación		S/20,137.01	S/20,539.75	S/20,950.54
Ahorro debido a la disminución de costos operativos		S/3,914.62	S/3,992.91	S/4,072.77
B. Egresos (Costos de la implementación del Mantenimiento Preventivo)	S/45,620.00			
Costos de compra de suministros	S/12,500.00			
Costos de compra de repuestos	S/20,000.00			
Costos de capacitación del personal	S/8,000.00			
Costos de compra de equipos de Monitoreo	S/5,120.00			

C. Flujo de caja económico	S/.-45,620.00	S/.50,511.63	S/.51,521.86	S/.52,552.30
Flujo de caja acumulado	S/.-45,620.00	S/.4,891.63	S/.56,413.48	S/.108,965.78

3.4. Contrastación de Hipótesis

H0: La implementación de un plan de mantenimiento preventivo no mejora la disponibilidad de la maquinaria en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC.

H1: La implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la maquinaria en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC

Prueba de normalidad

Tabla 13

Resultados de la prueba de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad de tornos convencionales antes	,850	12	,036
Disponibilidad de tornos convencionales después	,851	12	,038

Los resultados de la prueba de normalidad según Shapiro-Wilk permitieron obtener un valor de significación de 0.036, mientras que para la disponibilidad después de la implementación, el estadístico fue de 0.038. En ambos casos, los valores de significación son menores a 0.05, lo que indica que los datos no cumplen con la suposición de normalidad.

Dado que los datos no presentan una distribución normal, se optará por aplicar una prueba estadística no paramétrica, específicamente la prueba de Wilcoxon, para

evaluar si existe una diferencia significativa entre la disponibilidad antes y después de la implementación del mantenimiento preventivo.

Prueba de estadística

Tabla 14

Resultados de la prueba de normalidad

		Rangos		
		N	Rango promedio	Suma de rangos
Disponibilidad de tornos convencionales después - Disponibilidad de tornos convencionales antes	Rangos negativos	0 ^a	,00	,00
	Rangos positivos	12 ^b	6,50	78,00
	Empates	0 ^c		
	Total	12		
Estadísticos de prueba ^a				
Disponibilidad de tornos convencionales después - Disponibilidad de tornos convencionales antes				
<u>Z</u>		-3,059 ^b		
<u>Sig. asintótica(bilateral)</u>		,002		

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

Los resultados arrojaron un valor de $Z = -3.059$ con una significancia asintótica bilateral de 0.002 en la prueba de Wilcoxon. Dado que el valor de significancia es menor a 0.05, se anula la hipótesis nula que indicaba que no existían diferencias significativas entre la disponibilidad antes y después de la implementación del mantenimiento preventivo. Esto implica que la implementación del plan de mantenimiento tuvo un impacto estadísticamente significativo en la mejora de la disponibilidad de los tornos convencionales, es decir se acepta la hipótesis alterna afirmándose que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la maquinaria en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC. En términos prácticos, los resultados confirman que las estrategias de mantenimiento preventivo aplicadas contribuirán a incrementar la disponibilidad de las máquinas, minimizando las interrupciones en el proceso productivo y mejorando la continuidad operativa.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones de la investigación se presentaron en diferentes aspectos del desarrollo y ejecución de la implementación. En primer lugar, la falta de registros históricos detallados de los mantenimientos realizados antes de la implementación del plan de mantenimiento preventivo dificultó la comparación de los resultados previos y posteriores a la intervención, lo que restringió la precisión del análisis. Asimismo, las condiciones de operación de los tornos convencionales no fueron completamente controladas debido a factores externos, como variaciones en la demanda de producción o en la calidad de los insumos utilizados, lo que pudo haber influido en los resultados obtenidos. Además, la disponibilidad limitada de recursos económicos y logísticos restringió la frecuencia de las inspecciones y calibraciones programadas, así como la adquisición de herramientas de monitoreo más avanzadas.

Por último, el tiempo de implementación de la mejora, aunque permitió observar mejoras significativas en los indicadores de mantenimiento y disponibilidad, resultó insuficiente para evaluar plenamente el impacto a largo plazo del mantenimiento preventivo en la vida útil de los tornos y en la reducción sostenida de los costos operativos. Estas limitaciones resaltaron la necesidad de futuras investigaciones que amplíen el horizonte temporal y aborden los aspectos pendientes para maximizar los beneficios del mantenimiento preventivo en la línea de producción de sellos hidráulicos.

4.2. Discusiones

La implementación de un plan de mantenimiento preventivo en la producción de sellos hidráulicos de Sellos Óleo Hidráulicos SAC evidenció mejoras significativas en la disponibilidad de los tornos convencionales, pasando del 97.42% al 99.07%, superando

el estándar del sector. Este resultado es consistente con investigaciones como las de Chambilla (2023) y Moloche (2021), quienes también observaron incrementos notables en la disponibilidad de equipos tras la implementación de estrategias preventivas. En el caso de Chambilla, la disponibilidad de los equipos de soldadura alcanzó un 99.31%, mientras que Moloche logró un aumento del 16% en la maquinaria pesquera. Ambos antecedentes respaldan que el mantenimiento preventivo es una herramienta efectiva para mejorar la continuidad operativa en entornos industriales similares.

En el análisis inicial, se identificó un MTBF de 97.55 horas y un MTTR de 2.45 horas, indicadores que, aunque cercanos al estándar del sector, reflejaban una alta frecuencia de fallas y tiempos de reparación prolongados, lo que generó pérdidas económicas significativas para la empresa. Estos hallazgos coinciden con estudios como el de Attia et al. (2024), que demostró cómo la ausencia de mantenimiento preventivo incrementa en un 75,33% el tiempo necesario para mantener las máquinas operativas, y el de Velmurugan et al. (2022), quien identificó una disponibilidad crítica de 50.56% en subsistemas clave debido a fallas recurrentes. Estas investigaciones resaltan cómo la falta de mantenimiento puede impactar negativamente en los costos operativos y la productividad de una organización.

La ejecución del plan de mantenimiento preventivo incluyó actividades como lubricación, inspección, limpieza y calibración, lo que redujo las fallas mensuales de 45 a 21 y redujo el MTTR a 2.05 horas. Este logro se atribuyó a la correcta planificación, la capacitación técnica y el uso de herramientas especializadas. Estos resultados son comparables con los obtenidos por Roper y Lucas (2023), quienes lograron una reducción del 90% en fallas gracias al rediseño de sistemas mecánicos, y por Banda et al. (2024), quienes reportaron una disponibilidad óptima del 95% en equipos críticos mediante estrategias preventivas. Ambos antecedentes validan que las actividades de

mantenimiento preventivo, cuando se implementan adecuadamente, son esenciales para reducir fallas y mejorar la eficiencia operativa.

Por último, los indicadores económicos demostraron que la implementación del plan fue rentable, con un VAN de S/ 62,664.30, una TIR de 64.6%.. Este hallazgo se alinea con los estudios de Al Refaie y Almowas (2023) , quienes observaron un aumento en las ganancias de \$20,091 a \$24,803 con una política de mantenimiento optimizada, y Arroyo y Obando (2022) , quienes destacaron un incremento del 25 % en productividad tras la implementación de estrategias preventivas. Estas investigaciones refuerzan que el mantenimiento preventivo no solo mejora la operatividad, sino que también asegura un impacto financiero positivo.

4.3. Implicancias de la investigación

Las implicancias de la investigación se evidenciaron en varios aspectos relevantes para la gestión operativa y la toma de decisiones en la empresa. En primer lugar, la implementación del plan de mantenimiento preventivo demostró ser una estrategia efectiva para mejorar la disponibilidad de los tornos convencionales, lo que implicó una optimización significativa en los procesos productivos de la línea de fabricación de sellos hidráulicos. Este enfoque permitió minimizar los tiempos de inactividad y reducir las interrupciones causadas por fallas mecánicas recurrentes.

En segundo lugar, los resultados obtenidos destacaron la importancia de priorizar el mantenimiento preventivo en lugar de estrategias correctivas, lo cual generó implicancias económicas positivas al reducir costos asociados con reparaciones y pérdidas de producción. Además, la capacitación del personal técnico y la incorporación de herramientas de monitoreo preventivo no solo mejoraron la eficiencia de las operaciones, sino que también promovieron una cultura de mantenimiento planificada

dentro de la organización. Asimismo, las implicancias del estudio señalan la necesidad de fortalecer el registro y análisis de datos históricos de mantenimiento para facilitar futuras evaluaciones y garantizar la sostenibilidad de los beneficios logrados.

Por último, este trabajo proporcionó un modelo replicable que podría ser adaptado y aplicado en otras empresas del sector industrial, resaltando el impacto positivo del mantenimiento preventivo como una herramienta clave para incrementar la eficiencia operativa y la competitividad empresarial.

4.4. Conclusiones

La implementación de un plan de mantenimiento preventivo demostró mejorar significativamente la disponibilidad de las maquinarias en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC. Los resultados indicaron un incremento en la disponibilidad promedio de los tornos convencionales del 97.42% al 99.07%, superando el estándar del sector. Esta mejora evidencia que las estrategias de mantenimiento preventivo fueron efectivas para minimizar los tiempos de inactividad y reducir las fallas mecánicas recurrentes.

Se identificó que, antes de la implementación del plan de mantenimiento preventivo con un MTBF de 97.55 horas y un MTTR de 2.45 horas. Estas cifras, aunque cercanas al estándar del sector, reflejan una alta frecuencia de fallas y tiempos prolongados de reparación que generaron un impacto económico negativo para la empresa, incluyendo pérdidas estimadas en S/ 110,255.16 durante el año 2022.

El plan de mantenimiento preventivo incluyó actividades clave como la lubricación y monitoreo de piezas, inspección y reemplazo preventivo de componentes, limpieza periódica y calibración de piezas móviles. Estas acciones se ejecutaron a partir de marzo de 2023 y lograron disminuir significativamente el número de fallas mensuales

de 45 a 21 en promedio, así como reducir el MTTR a 2.05 horas. El éxito del plan se atribuyó a la correcta planificación, la capacitación del personal técnico y la utilización de herramientas de monitoreo.

La implementación del plan de mantenimiento preventivo resultó económicamente viable y rentable. Los indicadores económicos mostraron un VAN de S/ 62,664.30, una TIR de 64.6%, un beneficio/costo de 1.11 y un período de recuperación de la inversión de 0.91 años. Estos resultados evidencian que la inversión de S/ 45,620.00 en suministros, repuestos, capacitación y herramientas fue ampliamente justificada, generando beneficios económicos tangibles, como la reducción de costos de reparación y operativos, y un incremento en el valor de producción en S/ 78,000.00 anuales.

REFERENCIAS

- Al Refaie, A., & Almowas, H. (2023). Multi-objective maintenance planning under preventive maintenance. <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2021-0035>
- Arroyo Vaca, C., & Obando Quito, R. (2022). Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos. <https://doi.org/https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id240>
- Attia, A., Alatwi, A., Al Hanbali, A., & Alsawafy, O. (2024). Modelo conjunto de planificación del mantenimiento y optimización de la programación de la producción para un entorno verde. *Revista de Calidad en Ingeniería de Mantenimiento*. <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2023-0047>
- Banda, L., Sanchez, N., & Ramos, E. (2024). Integrated Maintenance Management to Increase the Availability of Drilling Equipment: Case Study in a Peruvian Mine. *Advances in Science and Technology*. <https://doi.org/10.4028/p-mV18WT>
- Businessmarketinsights. (2021). *Mercado europeo de sellos de alto rendimiento*. <https://www.businessmarketinsights.com/es/reports/europe-high-performance-seals-market>
- Chambilla Chambi, S. (2023). Mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos de soldadura del taller metalmecánica en la empresa Picofam SAC., Lima 2023. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/124001>
- Dounce Villanueva, E. (2014). *La productividad en el mantenimiento industrial*. ISBN: 978-607-438-924-1
- García, O. (2012). *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial*. ISBN: 9587620518
- García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. ISBN: 84-7978-548-9
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y Mixta*. McGraw-Hill Ineramericana Editores SA. <https://doi.org/ISBN:978-1-4562-6096-5>
- Ministerio de la producción. (2024). *Reporte de la producción manufacturera*. <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oeo-documentos-publicaciones/boletines-industria-manufacturera/item/1209-2024-junio-reportes-de>

produccion-manufacturera

- Moloché Echevarría, N. O. (2021). Plan de mantenimiento preventivo y su efecto en la confiabilidad de las maquinarias en la Industria Pesquera, Chimbote, 2021.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/133442>
- Pérez Rondón, F. A. (2021). Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial .
<https://doi.org/ISBN: 978-958-8477-92-3>
- Roncero, C., & Pomblas, R. (2023). Modelo de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad. *Revista Politécnica*, vol. 51, núm. 1,.
<https://doi.org/10.33333/rp.vol51n1.10>
- Ropero Gaona, C., & Lucas Mármol, A. (2023). Análisis de confiabilidad en base al mantenimiento preventivo de fallas en la unidad de bombeo mecánico VSH-2 para extracción de petróleo. *Revista internacional de ingeniería y gestión de sistemas de garantía*. <https://doi.org/10.1007/s13198-023-02125-6>
- Sharma, R., Singh, J., & Rastogi, V. (2018). El impacto del mantenimiento productivo total en los indicadores clave de rendimiento (PQCDSM): un estudio de caso del sector de fabricación de automóviles. *Inderscience*.
<https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJPQM.2018.091794>
- Theinsightpartners. (2024). *Informe de mercado de sellos hidráulicos*.
<https://www.theinsightpartners.com/es/reports/hydraulic-seals-market>
- Velmurugan, Saravanasankar, Venkumar, Sudhakarapandian, & Di Bona, G. (2022). Availability Analysis of the Critical Production System in SMEs Using the Markov Decision Model. <https://doi.org/10.1155/2022/6026984>

ANEXOS

ANEXO N° 1. Matriz de consistencia

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>La empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC enfrenta problemas de disponibilidad de maquinaria debido a la falta de un plan de mantenimiento preventivo adecuado, lo que afecta la producción de sellos hidráulicos. ¿En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la maquinaria en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC?</p>	<p>Objetivo General: Determinar en qué medida la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la maquinaria en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC</p>	<p>Hipótesis General: La implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la maquinaria en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC.</p>	<p>Variable Independiente:</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada</p>
	<p>Objetivos Específicos:</p>		<p>Mantenimiento Preventivo</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo</p>
	<p>1. Diagnosticar la situación actual de la disponibilidad de la maquinaria en la producción de sellos hidráulicos en la empresa Sellos Óleo Hidráulicos SAC</p>		<p>- Frecuencia de Mantenimiento - Costo de Mantenimiento - Tiempo de Intervención</p>	<p>Nivel: Explicativo</p>
	<p>2. Desarrollar la implementación del plan de mantenimiento preventivo.</p>		<p>Diseño: Pre-experimental</p>	
	<p>3. Realizar la evaluación económica de la implementación del plan de mantenimiento preventivo.</p>		<p>Técnicas de Recolección de Datos: Análisis documental</p>	
			<p>Instrumentos: Registro de mantenimiento histórico,</p>	
	<p>Variable Dependiente:</p> <p><i>Disponibilidad de Maquinaria</i></p> <p>- Tiempo Operativo - Tasa de Fallas (MTBF) - Tiempo Promedio de Reparación (MTTR)</p>	<p>Análisis de Datos: Cálculo de indicadores con fórmulas, prueba de normalidad en SPSS, análisis inferencial (t de Student o Wilcoxon), contrastación de hipótesis</p>		

ANEXO N° 2. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Fórmula	Escala de Medición
Mantenimiento Preventivo	Conjunto de acciones programadas para inspeccionar, reparar y mantener las maquinarias en condiciones óptimas, previniendo fallas (García, 2012)	Actividades planificadas y ejecutadas en los tornos utilizados en la producción de sellos hidráulicos.	Frecuencia de Mantenimiento	Número de mantenimientos realizados en un periodo específico.	$\frac{N^{\circ} \text{ de mantenimientos realizados}}{\text{Periodo} \left(\frac{\text{meses}}{\text{año}} \right)}$	Frecuencia (mensual)
			Costo de Mantenimiento	Gastos totales en mantenimiento preventivo.	Costo total de mantenimiento preventivo en S/	Moneda (Soles)
			Eficiencia de Intervención	Duración promedio de cada intervención de mantenimiento.	$\frac{\text{Duración total del mantenimiento}}{\text{Nro. de intervenciones}} \times 100$	Tiempo (horas)
Disponibilidad de Maquinaria	Capacidad de las máquinas de estar operativas y disponibles para la producción de sellos hidráulicos cuando se les requiere (García, 2003)	Proporción del tiempo en que los tornos están disponibles para operar en comparación con el tiempo total programado.	Disponibilidad	Disponibilidad de maquinarias	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$	Porcentaje (%)
			Tasa de Fallas	MTBF: Frecuencia de fallas por máquina durante un periodo determinado.	$\frac{\text{Tiempo total de operación (horas)}}{\text{Nro de fallas}} \times 100$	Frecuencia (mensual)
			Tiempo Promedio de Reparación	MTTR: Duración promedio para reparar las máquinas después de una falla.	$\frac{\text{Tiempo total de reparación (horas)}}{\text{Nro. de fallas reparadas}}$	Tiempo (horas)

ANEXO N° 3. Instrumento registro de mantenimiento pre test y post test

Registros de Mantenimiento Historico							
Datos de la empresa		Sellos Óleo Hidráulicos SAC					
Periodo de evaluación		enero 2022 a diciembre 2022					
Responsables		Manuel Adrian Bustamante Castañeda / Alexandra Magaly Woolcott Acuña					
Cantidad de maquinaria		6 Tornos convencionales					
Mes	Tiempo total de operación	Nro total de fallas	Tiempo Total de Reparación (Hrs)	Nro total de reparaciones	MTBF (Hrs por fallo)	MTRR (Hrs/reparación)	Disponibilidad (%)
Ene-22	4,012	26	72	26	154.31	2.77	98.24
Feb-22	4,040	32	74	32	126.25	2.31	98.20
Mar-22	4,417	38	70	38	116.24	1.84	98.44
Abr-22	4,122	42	79	42	98.14	1.88	98.12
May-22	4,335	46	82	46	94.24	1.78	98.14
Jun-22	4,255	42	119	42	101.31	2.83	97.28
Jul-22	4,345	47	124	47	92.45	2.64	97.23
Ago-22	3,915	51	129	51	76.76	2.53	96.81
Set-22	3,964	53	136	53	74.79	2.57	96.68
Oct-22	4,329	54	140	54	80.17	2.59	96.87
Nov-22	3,899	50	145	50	77.98	2.90	96.41
Dic-22	4,366	56	151	56	77.96	2.70	96.66
Promedio	4,167	45	110	45	97.55	2.45	97.42
Total	49,999	537	1,321	537			

Registros de Mantenimiento Historico							
Datos de la empresa		Sellos Óleo Hidráulicos SAC					
Periodo de evaluación		Agosto 2023 a julio 2024					
Cantidad de maquinaria		6 Tornos convencionales					
Mes	Tiempo total de operación	Nro total de fallas	Tiempo Total de Reparación (Hrs)	Nro total de reparaciones	MTBF (Hrs por fallo)	MTRR (Hrs/reparación)	Disponibilidad (%)
Ago-23	4,377	14	29	14	312.64	2.07	99.34
Set-23	4,276	24	58	24	178.17	2.42	98.66
Oct-23	4,288	28	62	28	153.14	2.21	98.57
Nov-23	4,337	30	50	30	144.57	1.67	98.86
Dic-23	4,178	11	41	11	379.82	3.73	99.03
Ene-24	4,162	27	53	27	154.15	1.96	98.74
Feb-24	4,349	24	36	24	181.21	1.50	99.18
Mar-24	4,270	13	32	13	328.46	2.46	99.26
Abr-24	4,226	13	29	13	325.08	2.23	99.32
May-24	4,310	17	32	17	253.53	1.88	99.26
Jun-24	4,146	23	30	23	180.26	1.30	99.28
Jul-24	4,188	24	27	24	174.50	1.13	99.36
Promedio	4,259	21	40	21	230.46	2.05	99.07
Total	51,107	248	479	248			