

Optimización del mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos mediante ingeniería de métodos y simulación de eventos discretos
Optimizing Hydraulic Cylinder Corrective Maintenance through Methods Engineering and Discrete Event Simulation

MSc. Alex Adrián Salazar Bermeo, MSc. Pedro Enrique Buitrón Flores, MSc. Mishel Estefanía Pazmiño Salazar.

**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y
SOCIEDAD**

Julio - diciembre, V°7-N°2; 2026

Recibido: 18-07-2026

Aceptado: 28-07-2026

Publicado: 31-12-2026

PAIS

- Quito - Ecuador
- Quito - Ecuador
- Quito - Ecuador

INSTITUCION

- Escuela Politécnica Nacional
- Escuela Politécnica Nacional
- Escuela Politécnica Nacional

CORREO:

- ✉ alex.salazar01@epn.edu.ec
- ✉ pedro.buitron@epn.edu.ec
- ✉ mishel.pazmino@epn.edu.ec

ORCID:

- 🌱 <https://orcid.org/0009-0004-7012-8103>
- 🌱 <https://orcid.org/0009-0000-3614-6421>
- 🌱 <https://orcid.org/0009-0005-5884-012X>

FORMATO DE CITA APA

Salazar, A., Buitrón, P. & Pazmiño, M. (2026). *Optimización del mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos mediante ingeniería de métodos y simulación de eventos discretos*. Revista G-ner@ndo, V°7 (N°2). P.2155 – 2155.

Resumen

Para asegurar que los equipos hidráulicos estén disponibles para operar y mejorar el rendimiento de las empresas industriales, la eficacia de los procedimientos de mantenimiento correctivo es un elemento crucial. En este escenario, el propósito de la investigación actual fue analizar cómo la estandarización de procesos y la mejora en la distribución física del taller impactan en el mantenimiento correctivo de los cilindros hidráulicos en TEK Ecuador, a través de comprobar una propuesta mediante simulación de eventos discretos. Se llevó a cabo un estudio aplicado de tipo cuantitativo y con un diseño no experimental de corte transversal. La observación directa del proceso, la recolección de datos a través de encuestas, la evaluación de los tiempos y las rutas, el diseño de cursogramas analíticos y el análisis de la distribución en planta fueron parte del diagnóstico inicial. Se elaboró una propuesta de mejora fundamentada en la estandarización de las tareas y la reubicación del taller, utilizando esta información. Para determinar su viabilidad, se realizó una simulación en FlexSim, cotejando un escenario inicial con uno sugerido bajo los mismos términos operativos. Los resultados mostraron que se redujo el tiempo de ciclo, se disminuyeron los tiempos improductivos y las distancias recorridas por los trabajadores, además de que aumentaron la utilización de recursos y la capacidad de procesamiento del sistema. Estos resultados evidencian que la optimización del layout, la integración de la ingeniería de métodos y la simulación de eventos discretos son una táctica efectiva para perfeccionar el rendimiento del mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos. Esta metodología tiene validación técnica y es potencialmente aplicable a otros procesos industriales con rasgos parecidos.

Palabras clave: mantenimiento correctivo; cilindros hidráulicos; distribución en planta; simulación de eventos discretos; FlexSim.

Abstract

In order to guarantee the operational availability of hydraulic equipment and enhance the performance of industrial organizations, corrective maintenance efficiency is crucial. This study used discrete-event simulation to validate an improvement plan in order to assess the impact of process standardization and facility layout optimization on the corrective repair of hydraulic cylinders at TEK Ecuador. A non-experimental cross-sectional method was used in an applied quantitative research design. Direct observation of maintenance operations, staff surveys, time and motion analysis, analytical process charts, and facility layout evaluation were all part of the initial diagnosis. FlexSim software was used to construct and verify an improvement proposal centered on workshop layout redesign and process standardization based on these findings. To evaluate the effect of the intervention, two simulation scenarios—current and proposed—were compared under the same operational conditions. The findings demonstrated improvements in system throughput and resource utilization along with decreases in cycle time, non-value-added time, and operator trip distance. These results show that improving corrective maintenance performance in hydraulic cylinder repair operations can be achieved by combining techniques engineering, facility layout optimization, and discrete-event simulation. The suggested approach provides a transferable, technically proven framework that may be used in comparable industrial maintenance settings looking to boost operational effectiveness and encourage evidence-based decision-making.

Keywords: corrective maintenance; hydraulic cylinders; facility layout; discrete-event simulation; FlexSim.

Introducción

Los cilindros hidráulicos son uno de los elementos más empleados en maquinaria pesada, equipos de construcción, minería, manufactura y automatización debido a su habilidad para convertir la energía hidráulica en movimiento lineal con gran potencia. Para asegurar la seguridad industrial, la continuidad de las operaciones y la productividad de los sistemas en que participan (Ramos, 2024; Pustavrh et al., 2023), es esencial que funcionen correctamente. El hecho de que los sectores productivos dependen cada vez más de los sistemas hidráulicos ha aumentado la necesidad de poner en marcha estrategias de mantenimiento eficaces que posibiliten disminuir las fallas, reducir el tiempo de inactividad y extender la vida útil del equipo. El mantenimiento correctivo sigue siendo muy utilizado en organizaciones que se dedican a reparar partes hidráulicas, sobre todo si el modelo de negocio está centrado en la restauración y reconstrucción de equipos dañados. La finalidad de esta modalidad de mantenimiento es la recuperación de la funcionalidad de un componente tras una avería, lo que permite su reintegración al proceso productivo bajo condiciones apropiadas para operar (Gualán, 2022; Castillo et al., 2021).

No obstante, varios estudios indican que los procedimientos de mantenimiento correctivo a menudo tienen dificultades relacionadas con la carencia de procedimientos estandarizados, la variabilidad en la realización de tareas, el uso ineficaz de los recursos y la falta de mecanismos formales para el control operativo. Estas circunstancias producen un aumento en los tiempos de reparación, en los costos operativos y problemas para asegurar niveles estables de calidad en los servicios ofrecidos (Chilon & Urtecho, 2021; Castillo et al., 2021). Para el caso particular de los cilindros hidráulicos, la dificultad de las tareas de desmontaje, diagnóstico, mecanizado, ensamblaje, reconstrucción y pruebas funcionales requiere una correcta coordinación de herramientas, equipos, recursos humanos y lugares de trabajo. Cuando estas tareas no están formalmente documentadas o estructuradas, la posibilidad de que ocurran errores, retrabajos y períodos improductivos aumenta, lo cual impacta directamente el rendimiento de la organización. De acuerdo con Shanbhag et al. (2021), una parte importante de las fallas en sistemas hidráulicos están relacionadas con inconvenientes que provienen de la contaminación, el deterioro de los elementos y las insuficiencias en los procesos de intervención técnica. Estos factores pueden empeorar si no se tienen procedimientos laborales bien establecidos.

Se ha reconocido que la estandarización de procesos es una de las herramientas más eficaces para optimizar la eficiencia operacional en ambientes industriales. Según Bello, Parra y Valarezo (2023), la estandarización posibilita el registro de actividades, recursos, responsabilidades y condiciones de implementación; además, disminuye la variabilidad y simplifica la supervisión de los procesos dentro de una organización. Además, Castillo et al.

(2021) señalan que la puesta en práctica de procedimientos de mantenimiento estructurados puede dar lugar a aumentos importantes en la productividad mediante la reducción de errores operativos, la optimización de recursos y la disminución de los tiempos muertos.

La distribución física de los espacios laborales, al mismo tiempo, es un aspecto crucial para la eficacia de los procesos industriales. La literatura especializada indica que la falta de una correcta organización de las estaciones y equipos de trabajo provoca más desplazamientos, crea cuellos de botella y obstaculiza la continuidad de los procesos operativos. De acuerdo con García-Sabater (2020), el perfeccionamiento del diseño facilita la disminución de desplazamientos innecesarios, la mejora en la utilización de los recursos y el fomento de la integración funcional entre actividades interconectadas. Cañar y Suárez (2022) evidenciaron, además, que la utilización simultánea de métodos de análisis de recorridos y redistribución física tiene el potencial de disminuir considerablemente los tiempos vinculados a procedimientos de mantenimiento industrial.

En años recientes, la simulación discreta se ha vuelto cada vez más relevante como instrumento de soporte para decidir en gestión de operaciones e ingeniería industrial. Su uso posibilita la representación de la conducta dinámica de sistemas complejos, el análisis de situaciones alternativas y la estimación del impacto potencial de sugerencias para mejorar sin que sea necesario intervenir físicamente los procesos reales. Kliment et al. (2022) subrayan que plataformas como FlexSim hacen más fácil la modelación de sistemas productivos a través de entornos en tres dimensiones que pueden replicar las condiciones operativas reales, lo cual posibilita detectar limitaciones, corroborar opciones y cuantificar beneficios antes de llevar a cabo modificaciones organizacionales.

A pesar de la gran cantidad de literatura existente en torno a la simulación de procesos, al mantenimiento industrial y a la distribución en planta, se ha detectado una escasa producción científica que esté orientada específicamente hacia la optimización de los procedimientos correctivos para cilindros hidráulicos mediante el rediseño del layout, la estandarización operativa y la simulación discreta. En el escenario latinoamericano, donde predominan las investigaciones centradas en manufactura y mantenimiento general y hay una escasez de estudios aplicados a talleres especializados en reparación hidráulica, esta circunstancia es especialmente evidente. La investigación actual busca crear y valorar una propuesta para optimizar y estandarizar el procedimiento de mantenimiento correctivo de los cilindros hidráulicos en TEK Ecuador. Esto permitirá reforzar la gestión de mantenimiento en ambientes industriales especializados.

Métodos y Materiales

Esta investigación se llevó a cabo usando un enfoque cuantitativo aplicado, porque el objetivo era determinar el impacto de una propuesta de estandarización de procesos y mejora en la distribución física del taller sobre el mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos en TEK Ecuador, utilizando indicadores objetivos de desempeño. Este método posibilitó medir el desempeño operativo del sistema antes y después de la intervención sugerida, basando el análisis en variables cuantificables como la duración del ciclo, los tiempos improductivos, las distancias recorridas internamente, el uso de recursos y la capacidad para procesar del sistema.

El estudio se realizó como parte de la investigación aplicada porque su propósito era encontrar una solución factible desde el punto de vista técnico a un problema operativo detectado en un entorno industrial particular. Este trabajo, en contraste con los estudios que se enfocan únicamente en la creación de conocimiento teórico, tuvo como objetivo incorporar instrumentos propios de la ingeniería industrial —por ejemplo, el análisis de métodos, la simulación de eventos discretos y la distribución en planta— con el fin de optimizar el rendimiento del procedimiento de mantenimiento correctivo sin modificar las condiciones normales operativas del organismo. Esta dirección posibilitó la conexión entre el saber científico y la solución de una necesidad concreta del sector productivo.

Desde una perspectiva metodológica, la investigación empleó un diseño transversal y no experimental. El diseño no experimental se debió a que las variables investigadas fueron estudiadas y examinadas en su entorno natural, sin que las condiciones operativas del proceso fueran alteradas directamente durante la etapa de diagnóstico. Después, se utilizó un modelo de simulación de eventos discretos desarrollado en FlexSim para evaluar las mejoras sugeridas. Esto posibilitó la estimación del funcionamiento del sistema bajo un escenario optimizado sin necesidad de intervenir físicamente en la operación del taller. El estudio es transversal porque los datos que se usaron para la creación y validación del modelo se recolectaron en un periodo de análisis determinado, el cual refleja las condiciones operativas de ese instante.

En términos de su alcance, la investigación tuvo un componente descriptivo y evaluativo. En un principio, se definió de forma sistemática el proceso de mantenimiento correctivo, determinando sus tareas, recursos, tiempos de ejecución, trayectos internos y limitaciones operativas. Después, se analizó el posible efecto de una sugerencia de mejora fundamentada en la normalización de procesos y la reubicación física del taller, con el fin de contrastar el rendimiento del escenario actual con uno optimizado a través de indicadores operativos que fueron adquiridos por medio de simulación discreta. Esta estrategia metodológica posibilitó no

solo caracterizar el estado inicial del procedimiento, sino también calcular numéricamente las ventajas vinculadas a la ejecución de la propuesta.

Figura 1. Diseño metodológico para la estandarización del proceso de mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos.



Fuente: Elaboración propia con base en la metodología de la investigación.

La investigación se desarrolló en TEK Ecuador, empresa ecuatoriana especializada en el mantenimiento correctivo, reconstrucción y recuperación de cilindros hidráulicos utilizados en sectores como la construcción, minería, transporte e industria. El modelo de negocio de la organización se fundamenta en la restauración de componentes hidráulicos que han presentado fallas durante su operación, por lo que la eficiencia del proceso de mantenimiento constituye un factor determinante para la productividad del taller, el cumplimiento de los tiempos de entrega y la satisfacción del cliente.

El proceso analizado comprende la recepción del componente, el diagnóstico técnico, el desmontaje, la inspección de sus elementos, la ejecución de operaciones de reparación o reconstrucción, el ensamblaje, las pruebas funcionales y la entrega del cilindro intervenido. Dependiendo del diagnóstico realizado, el mantenimiento puede involucrar procedimientos como cambio de sellos, cambio o reconstrucción de camisas, fabricación de tapas, sustitución de pistones, bruñido o cromado de vástagos, entre otras operaciones especializadas. La diversidad

de estos procedimientos genera distintos niveles de complejidad operativa y exige una adecuada coordinación entre recursos humanos, maquinaria y áreas de trabajo.

Durante la fase diagnóstica se identificó que el taller operaba mediante procedimientos definidos principalmente por la experiencia del personal técnico, sin contar con una estandarización formal de las actividades ni con una distribución física alineada con la secuencia lógica del proceso de mantenimiento. Esta condición ocasionaba desplazamientos innecesarios, tiempos de espera, cruces operativos y variabilidad en la ejecución de las tareas, limitando el aprovechamiento de los recursos disponibles y reduciendo la eficiencia global del sistema. Asimismo, una encuesta aplicada a la totalidad del personal técnico evidenció que el 66,7 % reconocía la existencia de procedimientos conocidos, aunque no estandarizados, mientras que el 77,8 % consideraba que la distribución física del taller podía optimizarse para mejorar el desarrollo de las operaciones de mantenimiento. Estos resultados respaldaron la necesidad de plantear una propuesta de mejora sustentada en criterios técnicos y cuantificables.

Se realizaron encuestas al personal que participó en las actividades de mantenimiento correctivo como parte del diagnóstico, con el objetivo de entender su perspectiva sobre la organización operativa, la distribución física y la estandarización de los procedimientos. La aplicación de esta herramienta de recopilación de datos se presenta en la Figura 2.

Figura 2. Aplicación de encuestas al personal técnico de TEK Ecuador.



Fuente: Elaboración propia.

Después se crearon diagramas de recorrido, flujogramas de proceso, cursogramas analíticos y diagramas relacionales de actividades. Estas herramientas posibilitaron la caracterización del funcionamiento del sistema en el presente y la detección de oportunidades para mejorar los tiempos de espera, los desplazamientos y el flujo de materiales.

Se elaboró una propuesta para mejorar, fundamentada en dos ejes principales, según los resultados del diagnóstico: la redistribución del taller de manera física y la estandarización de los procedimientos operativos. La propuesta tenía como objetivo disminuir trayectos innecesarios, optimizar el orden de las actividades y mejorar la utilización de los recursos disponibles.

La propuesta fue validada a través de una simulación discreta que se llevó a cabo con el programa FlexSim. Se elaboraron dos contextos de análisis: el primero mostró las condiciones operativas presentes, mientras que el segundo incluyó la redistribución física y las modificaciones resultantes de la normalización sugerida. Los modelos se elaboraron a partir de las secuencias operativas, los tiempos observados, los recursos disponibles y los recorridos detectados durante la recolección de información.

Las secciones siguientes exponen las condiciones de simulación, los datos de entrada y la configuración de ambos escenarios. La evaluación entre escenarios se realizó usando indicadores de rendimiento vinculados con el tiempo de ciclo, el tiempo improductivo, los traslados de operarios, el porcentaje de actividades que aportan valor y la capacidad productiva. Esto posibilitó medir cuantitativamente el impacto potencial que tendría la propuesta en cuanto al proceso de mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos.

Con el propósito de representar adecuadamente la variabilidad operacional del taller, el estudio consideró los diferentes tipos de cilindros procesados por la empresa, clasificados según sus dimensiones y peso en cilindros pequeños, medianos y grandes. Para cada categoría se documentaron las operaciones, actividades y tiempos de referencia asociados a los procedimientos de mantenimiento correctivo, información que posteriormente constituyó la base para el levantamiento de procesos, la elaboración de cursogramas analíticos y la construcción del modelo de simulación utilizado para validar la propuesta de mejora.

Para describir el proceso de mantenimiento correctivo se utilizó un enfoque metodológico que incorporó técnicas de análisis documental, observación directa, encuestas estructuradas, levantamiento de tiempos y herramientas de ingeniería de métodos. El uso de estas técnicas en conjunto posibilitó la obtención de datos tanto cualitativos como cuantitativos acerca del desempeño del sistema, el descubrimiento de limitaciones operativas y la creación de una representación objetiva del proceso previo al diseño de la propuesta de mejora. La integración

de métodos que se implementó tenía como objetivo reducir el sesgo relacionado con la utilización de una sola fuente informativa y mejorar la validez del diagnóstico inicial.

La técnica fundamental para obtener información de operaciones fue la observación directa. En esta etapa, se registró la secuencia real de las actividades desarrolladas por el personal técnico, incluyendo los tiempos de operación, los traslados, las esperas, el uso de recursos y el movimiento de materiales dentro del taller. Simultáneamente, se realizó un estudio temporal a través del cronometraje de las operaciones más relevantes del proceso, lo cual posibilitó la determinación de valores significativos para las diversas intervenciones efectuadas sobre cilindros hidráulicos con diferentes tamaños. Estos registros sirvieron de fundamento para crear los tiempos estándar que se utilizaron más tarde en la simulación del sistema.

Se llevó a cabo un análisis de documentos, en adición al trabajo de campo, sobre la información técnica que la compañía tiene disponible. Esto incluye documentación asociada con las actividades de mantenimiento, procedimientos empleados por el personal y registros operativos. Este análisis posibilitó la comparación de la práctica operacional con los datos formales existentes y la detección de la falta de procedimientos estandarizados que aseguren una ejecución uniforme de las intervenciones técnicas.

Para incluir la percepción de los empleados implicados en el proceso, se realizó una encuesta estructurada a todos los trabajadores del área de mantenimiento ($n = 9$), que representa al total de trabajadores que estaban directamente involucrados en las operaciones examinadas. El instrumento recolectó datos sobre el nivel de conocimiento de los métodos, la organización de las tareas, la disposición física del taller y las oportunidades de perfeccionamiento que los técnicos identificaron. Al tomar la decisión de incluir a todo el personal, se logró obtener una perspectiva completa del proceso operativo y suprimir el error relacionado con el muestreo. Los hallazgos alcanzados se usaron como prueba adicional para respaldar el diagnóstico y guiar el diseño de la propuesta de mejora.

Los diagramas de flujo, los de recorrido, los relacionales de actividades, los de bloques, los cursogramas sinópticos y los analíticos fueron algunas de las herramientas propias de la ingeniería de métodos que se emplearon para sistematizar la información adquirida a través de estas técnicas. Estas herramientas posibilitaron que se graficara la secuencia de operaciones, se identificaran actividades que aportaban y no aportaban valor, se cuantificaran los recorridos internos y se detectaran limitaciones relacionadas con la disposición física del taller. Además, se realizó la recolección de datos dimensionales de las zonas de trabajo y del emplazamiento de los equipos principales. Esta información facilitó el desarrollo de los planos de la situación inicial y la creación posterior del modelo tridimensional que se utilizó en la simulación del proceso.

Se incorporaron todos los datos reunidos para desarrollar el modelo teórico del sistema de mantenimiento y determinar la línea base del rendimiento del proceso. Esta fase permitió la determinación de los parámetros de entrada del modelo de simulación, el registro de las condiciones operativas reales y la identificación de los factores más relevantes que restringían la efectividad del sistema. Todo esto constituyó la base técnica sobre la cual fue formulada y validada la propuesta para optimizar y estandarizar el layout.

Desarrollo de la propuesta de mejora

La propuesta de mejora no fue ideada como una acción independiente, sino como la consecuencia de un procedimiento sistemático que estudió el sistema de mantenimiento correctivo. Su desarrollo se basa en la información recopilada durante la etapa de diagnóstico, que incluyó las actividades operativas, los tiempos de ejecución, los itinerarios internos, el uso de recursos y la interacción entre las distintas áreas del taller. La incorporación de estos componentes permitió la detección de limitaciones operativas que impactaban el rendimiento integral del proceso, marcando el comienzo para la creación de las acciones de mejora.

La evaluación del proceso reveló que las pérdidas de eficiencia más significativas no se debían únicamente a la duración de las operaciones técnicas, sino también a la forma en que se organizaba el flujo de trabajo, cómo estaban distribuidas físicamente las estaciones y la falta de procedimientos estandarizados que guiaran el orden de las intervenciones. Como resultado, la propuesta se organizó con un enfoque holístico que fusionó técnicas de estandarización de procesos, análisis de distribución en planta y herramientas de ingeniería de métodos, con el objetivo de abordar al mismo tiempo los elementos que afectaban el desempeño operativo del sistema.

Se realizó, como primer paso, una descomposición minuciosa de los procedimientos de mantenimiento a través de cursogramas analíticos. El objetivo era detectar operaciones que generaban valor, movimientos innecesarios, inspecciones reiteradas, tiempos de espera y operaciones redundantes. Este estudio permitió la reestructuración del orden de ciertas operaciones, la supresión de tareas que no aportaban directamente al proceso de reparación y la fijación de una lógica operativa homogénea para las intervenciones más relevantes realizadas por la compañía, como el cambio de camisa, el cambio de sellos, el cromado y bruñido de cilindros hidráulicos.

Se elaboró una propuesta de redistribución física del taller basada en los principios de continuidad del flujo, cercanía funcional y disminución de distancias internas. Se examinaron las relaciones entre las distintas estaciones de trabajo con ese fin, prestando atención a la secuencia lógica del procedimiento, a la frecuencia con que se interactúa entre operaciones y a los

requerimientos para movilizar el personal técnico, herramientas y componentes. Con base en este análisis, se ha creado un nuevo esquema de diseño que busca minimizar los desplazamientos, evitar interferencias entre zonas laborales y promover un flujo ininterrumpido de materiales durante las labores de mantenimiento.

La propuesta incluyó la normalización de los procedimientos operativos a través de la documentación sistemática de las tareas constitutivas de cada procedimiento de mantenimiento. Esta normalización posibilitó establecer criterios estandarizados para llevar a cabo las tareas, secuencias de trabajo homogéneas y una estructura operativa que hace más fácil tanto la formación del personal como el recorte de la variabilidad propia de un desempeño basado únicamente en la experiencia individual de los técnicos. Esta estrategia, desde el punto de vista de la gestión de operaciones, ayuda a que el proceso sea más reproducible y es un componente esencial para asegurar que las mejoras planteadas sean sostenibles.

Para construir el escenario sugerido en el modelo de simulación desarrollado en FlexSim, se empleó al final la información producida a lo largo del rediseño del proceso. Así, se examinó cada cambio introducido en el diseño y la secuencia de operaciones bajo las mismas condiciones que el sistema original, lo que posibilitó que las discrepancias entre ambas situaciones solo se debieran a las mejoras implementadas y no a alteraciones externas del proceso. Esta metodología mejoró la validez interna de la investigación y ofreció un fundamento objetivo para cuantificar el posible impacto de la propuesta antes de que se llevara a cabo en condiciones reales de funcionamiento.

Configuración del modelo de simulación

Para analizar de manera imparcial el posible efecto de la propuesta de mejora sin interferir en el proceso real de la empresa, se creó un modelo para simular eventos discretos mediante el uso del software FlexSim. La elección de esta herramienta se debió a su facultad para representar sistemas dinámicos tanto de manufactura como de mantenimiento, modelando cómo interactúan los recursos, las operaciones, los tiempos de procesamiento, los desplazamientos y las limitaciones operativas en condiciones similares a las que se encuentran en el medio industrial. En esta situación, la simulación fue un método de experimentación virtual que posibilitó el estudio del comportamiento del sistema frente a diversas configuraciones operativas antes de su puesta en marcha física.

La información recopilada durante el diagnóstico del proceso fue la base para construir el modelo. Esta información incluyó los tiempos documentados a través de estudios de métodos, la secuencia operativa registrada en cursogramas analíticos, la ubicación física del taller, la disponibilidad de recursos humanos y materiales, así como las rutas que los trabajadores

realizaron entre las distintas estaciones laborales. De este modo, el modelo reflejó las condiciones reales de funcionamiento que se dan en TEK Ecuador, lo que permitió una reproducción del comportamiento del sistema con un grado de detalle adecuado para analizar los efectos resultantes de la sugerencia de mejora.

Con el objetivo de conservar un nivel apropiado de representatividad y, simultáneamente, regular la complejidad computacional del modelo, se enfocó la simulación en la operación de cambio de sellos. Esta fue elegida por ser uno de los procesos más frecuentes en el mantenimiento correctivo que realiza la empresa y porque requiere que participen casi todas las áreas funcionales del taller. Esta propiedad permitió que el procedimiento se usara como un proceso representativo para examinar cómo la normalización operacional y la redistribución física afectan el rendimiento global del sistema.

El modelo fue diseñado con un horizonte de simulación de dos semanas de operación, teniendo en cuenta jornadas laborales diarias de ocho horas, periodos de descanso de media hora y la colaboración continua de cuatro empleados, replicando las condiciones habituales del funcionamiento del taller. Los tiempos de procesamiento que se incorporaron al modelo se lograron a través del análisis de tiempos realizado en el transcurso de la investigación y se introdujeron por medio de distribuciones probabilísticas normales con el objetivo de reflejar la variabilidad natural registrada durante la realización de las operaciones. Además, el escenario inicial y el propuesto fueron analizados en las mismas condiciones de operación, manteniendo recursos, horizonte temporal y parámetros de entrada iguales. Esto se realizó con el fin de que las diferencias detectadas pudieran ser atribuidas solamente a los cambios implementados en el proceso y no a factores externos.

La estrategia de simulación incluía la creación de dos contextos analíticos. El primero ilustró las circunstancias iniciales del taller, incluyendo la distribución física que existía, la secuencia operacional original y las condiciones reales que se vieron durante el diagnóstico. La propuesta de mejora se incorporó en el segundo escenario, que abarcaba la reorganización del flujo de trabajo, la redistribución del diseño y la estandarización de los procesos operativos. Comparar sistemáticamente los dos escenarios permitió medir el impacto de la intervención en los indicadores clave de rendimiento del proceso, mientras se mantenían estables las demás condiciones operativas.

La valoración del modelo se basó en indicadores que son de uso frecuente en investigaciones de gestión de operaciones e ingeniería industrial, como el tiempo improductivo, el porcentaje de actividades con valor añadido, la utilización de recursos, la capacidad de procesamiento, los viajes realizados por los operarios, el tiempo de operación y el tiempo del

ciclo. El uso combinado de estos indicadores facilitó el análisis del rendimiento del sistema desde un enfoque integral, teniendo en cuenta al mismo tiempo criterios de eficiencia operacional, productividad y utilización de recursos. Esta perspectiva propició un análisis imparcial de la propuesta y brindó evidencias cuantitativas adecuadas para respaldar su viabilidad técnica antes de una posible ejecución en el ambiente productivo.

Variables e indicadores de evaluación

La evaluación del desempeño del proceso de mantenimiento se fundamentó en un conjunto de indicadores operativos seleccionados por su capacidad para representar, de manera integral, el comportamiento del sistema antes y después de la implementación de la propuesta de mejora. La selección de estos indicadores respondió a la necesidad de cuantificar no únicamente la productividad del proceso, sino también la eficiencia operacional, el aprovechamiento de los recursos y la calidad del flujo de trabajo, aspectos directamente influenciados por la estandarización de procedimientos y la redistribución física del taller.

Los indicadores fueron calculados a partir de la información obtenida durante el estudio de tiempos y de los resultados generados por el modelo de simulación, permitiendo establecer una comparación homogénea entre el escenario inicial y el escenario propuesto. Para garantizar la consistencia del análisis, ambos escenarios fueron evaluados utilizando exactamente los mismos criterios de medición, de manera que las diferencias observadas reflejaran exclusivamente el efecto de las mejoras incorporadas al proceso.

Tabla 1.

Variables e indicadores utilizados para la evaluación del desempeño del proceso

Variable de análisis	Indicador	Unidad	Finalidad
Productividad	Tiempo de ciclo	min	Determinar el tiempo promedio requerido para completar una intervención de mantenimiento.
Productividad	Capacidad de procesamiento	Unidades	Cuantificar el número de componentes procesados durante el horizonte de simulación.
Eficiencia operacional	Tiempo de operación	min	Medir el tiempo efectivo dedicado a actividades productivas.
Eficiencia operacional	Tiempo improductivo	min	Identificar pérdidas originadas por esperas, traslados y actividades sin valor agregado.
Flujo del proceso	Recorrido del operario	m	Evaluar la eficiencia de la distribución física mediante la cuantificación de desplazamientos internos.
Utilización de recursos	Utilización promedio	%	Determinar el grado de aprovechamiento de los recursos disponibles durante la operación.

Valor agregado	Actividades con valor agregado	%	Establecer la proporción de actividades que contribuyen directamente a la transformación del producto.
----------------	--------------------------------	---	--

Fuente: Elaboración propia con base en Castro Chuzón (2023), Tengan y Clemente (2024) y los datos de la investigación.

Cada uno de estos indicadores fue analizado en conjunto, teniendo en cuenta que la optimización del proceso no se basa únicamente en la reducción del tiempo de ciclo. Es necesario alcanzar un balance entre productividad, uso de recursos, disminución de actividades improductivas y optimización del flujo laboral. Desde este punto de vista, la evaluación del sistema se llevó a cabo desde una perspectiva multidimensional, lo que permitió determinar el impacto de la propuesta sobre diversos elementos del rendimiento operativo y prevenir que las conclusiones se basaran en un solo indicador de productividad.

Con el objetivo de calcular el posible impacto de la propuesta de estandarización y optimización del layout, se compararon los resultados obtenidos para cada variable entre las dos simulaciones. Esta comparación fue el criterio principal para evaluar la viabilidad técnica de la intervención y determinar su aporte a la mejora del proceso de mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos.

Análisis de Resultados

Diagnóstico del proceso de mantenimiento correctivo

El estado inicial del proceso de mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos realizado en TEK Ecuador fue determinado a través de la etapa diagnóstica, y se identificaron las restricciones operativas más relevantes que impactaban el rendimiento del sistema. Para esto, se utilizaron técnicas de observación directa, análisis de rutas, levantamiento de tiempos, creación de cursogramas analíticos y realización de encuestas al personal que participa en las tareas de mantenimiento.

Los resultados logrados mostraron que el proceso tenía una secuencia de operación fragmentada, donde los componentes intervenidos tenían que ser movidos continuamente entre diferentes áreas funcionales del taller. Esta circunstancia resultaba en recorridos largos, tiempos no productivos vinculados al transporte interno y un uso ineficaz de los recursos existentes. Además, se detectaron tareas que no agregaban valor directamente al proceso de mantenimiento, las cuales aumentaban el tiempo total necesario para finalizar las operaciones de reparación.

La inspección de campo reveló que las zonas de desmontaje, mecanizado, acabados, bodega y ensamblaje no seguían el orden real del trabajo. Por lo tanto, los trabajadores tenían que moverse continuamente entre las estaciones de trabajo para llevar a cabo la mudanza de componentes, herramientas y materiales necesarios durante las intervenciones. No solo se veían afectados los plazos de ejecución con esta condición, sino que además provocaba paradas constantes en el flujo de operaciones.

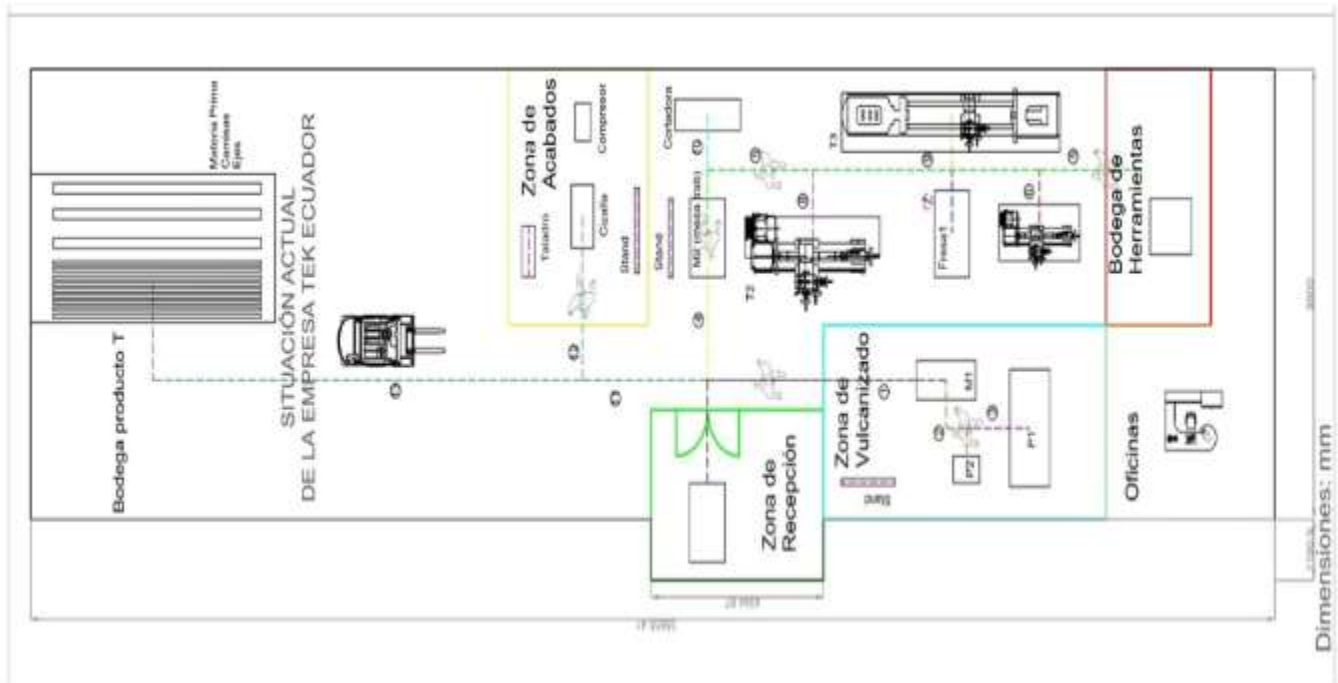
En forma complementaria, se demostró a través de cursogramas analíticos y diagramas de recorrido que había cruces operativos y desplazamientos innecesarios que obstaculizaban la continuidad de las tareas. La acumulación temporal de elementos en ciertas estaciones, provocada por la distribución física existente, causaba demoras y perjudicaba la sincronización entre las operaciones sucesivas. La capacidad productiva del taller se veía restringida y el rendimiento general del proceso se reflejaba directamente en estas condiciones.

Las observaciones hechas durante la recolección de datos fueron confirmadas por los resultados de las encuestas realizadas al personal técnico. Una parte significativa de los empleados expresó que se podría optimizar la distribución física del taller para hacer más fácil el progreso de las tareas de mantenimiento y disminuir los desplazamientos necesarios a lo largo de la realización de las operaciones. Asimismo, se determinó que era necesario robustecer la estandarización de los procedimientos para reducir las variaciones en la realización de las tareas y mejorar la coordinación entre los distintos sectores implicados.

La distribución física inicial del taller, así como el diagrama de recorrido asociado al procedimiento de mantenimiento correctivo, se muestran en la Figura 3. Mediante la representación gráfica, es posible observar la conexión entre las diferentes estaciones de trabajo y los movimientos realizados durante la intervención de los cilindros hidráulicos. La propuesta de mejora, que se enfocó en estandarizar las actividades y optimizar el diseño operativo, fue creada a partir del análisis de esta configuración.

Figura 3.

Distribución física inicial y diagrama de recorrido del proceso de mantenimiento correctivo



Fuente: Elaboración propia.

Con base en la información recolectada, se logró determinar una línea base de desempeño para el proceso analizado, reconociendo oportunidades específicas de mejora vinculadas con la reducción de recorridos internos; el fortalecimiento de la estandarización operativa; la disminución del tiempo improductivo y la eliminación de actividades que no agregan valor. Estos hallazgos constituyeron la base para crear una propuesta de redistribución física y para validar posteriormente los escenarios a través de simulación discreta.

Propuesta de estandarización y redistribución física del taller

Con base en los resultados de la fase diagnóstica, se elaboró un proyecto de mejora que busca optimizar el mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos a través de la normalización de tareas operativas y la reorganización física del espacio laboral. La propuesta fue elaborada tomando en cuenta las limitaciones más importantes detectadas en el sistema actual, especialmente las que tienen que ver con desplazamientos excesivos, tiempos improductivos, interrupciones en el flujo de trabajo y falta de procedimientos estandarizados para ciertas operaciones. La normalización de los procesos de mantenimiento correctivo fue el foco de la primera línea de intervención. Se examinaron las tareas realizadas durante las operaciones de cambio de camisa, bruñido, cromado y cambio de sellos para detectar acciones repetitivas y movimientos innecesarios, así como actividades que no sumaban valor al proceso. A partir de esto, se establecieron secuencias operativas más eficaces que facilitarían la disminución de las

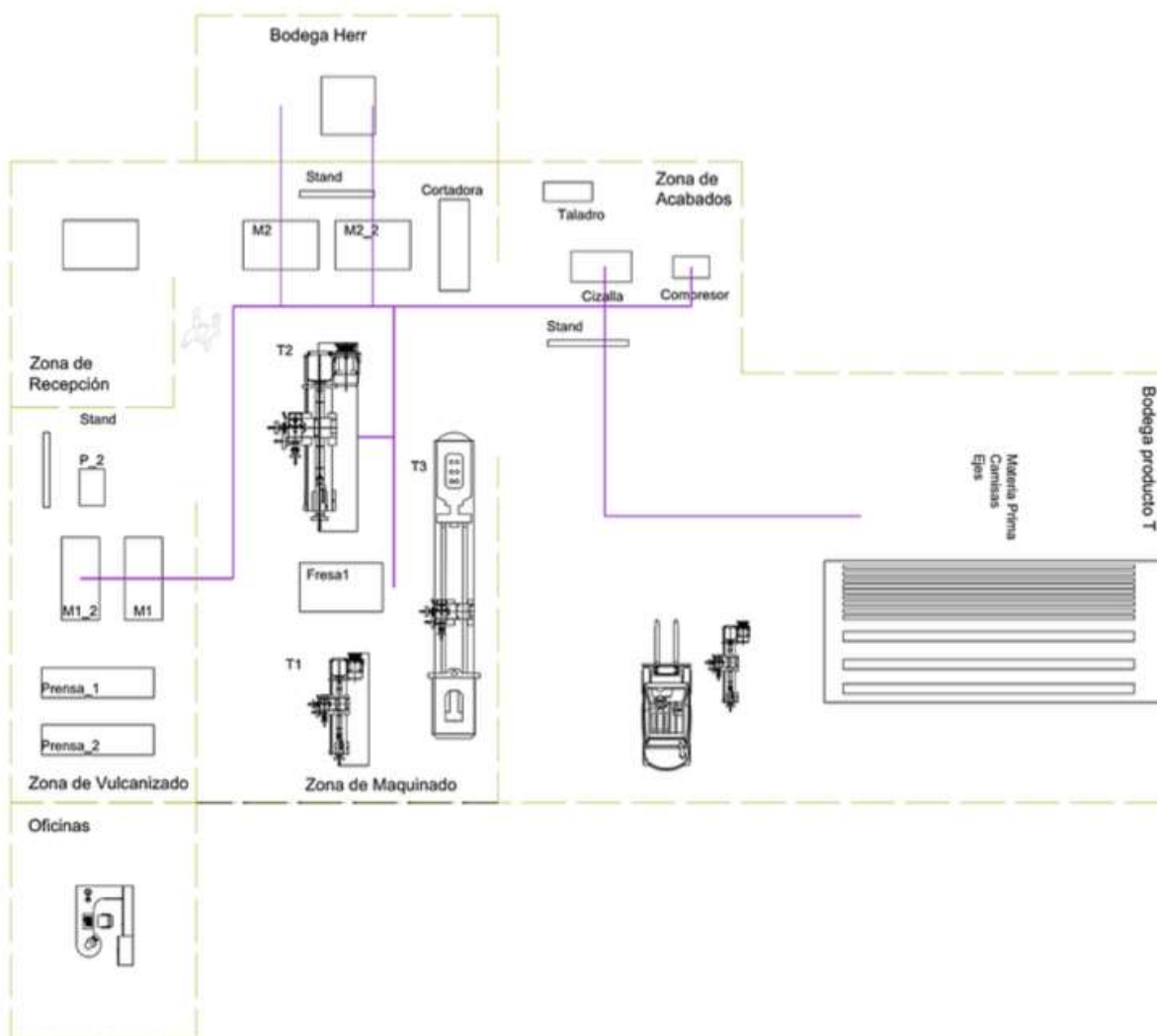
variaciones en la realización de las tareas y el mejoramiento de la coordinación entre las diversas estaciones laborales.

La estandarización sugerida incluyó también el reordenamiento de ciertas actividades con la finalidad de reducir los tiempos de espera y facilitar que las herramientas, equipos y materiales necesarios en las intervenciones estén disponibles. El objetivo de esta medida fue lograr que la operación fuera más continua y disminuir las interrupciones causadas por los desplazamientos frecuentes entre áreas funcionales. La segunda línea de intervención fue la reconfiguración física del taller. El diagnóstico demostró que la configuración actual no se ajustaba de manera adecuada a la secuencia real de las operaciones de mantenimiento, lo cual provocó cruces operativos y recorridos extensos entre las estaciones de trabajo. Por lo tanto, se propuso una nueva disposición espacial que busca facilitar la continuidad del flujo de materiales y disminuir las distancias que los trabajadores tienen que recorrer mientras realizan las actividades.

La propuesta tuvo en cuenta la reestructuración táctica de departamentos como el de ensamblaje, inspección, bodega, acabados y mecanizado. El objetivo era situar los puestos de trabajo conforme a la secuencia lógica del proceso de mantenimiento. Esta redistribución posibilitó la reducción de traslados innecesarios, el mejoramiento del acceso a los recursos necesarios y la optimización de la interacción entre las diferentes operaciones que intervienen en la reparación de cilindros hidráulicos. La distribución física sugerida para el taller de mantenimiento se muestra en la Figura 4. La nueva disposición tiene como objetivo crear un flujo más constante entre operaciones sucesivas, reduciendo los recorridos internos y optimizando el uso del espacio disponible, en comparación con la configuración original.

Figura 4.

Distribución física propuesta para el proceso de mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos



Fuente: Elaboración propia

Validación de la propuesta mediante simulación discreta

Configuración del escenario inicial de simulación

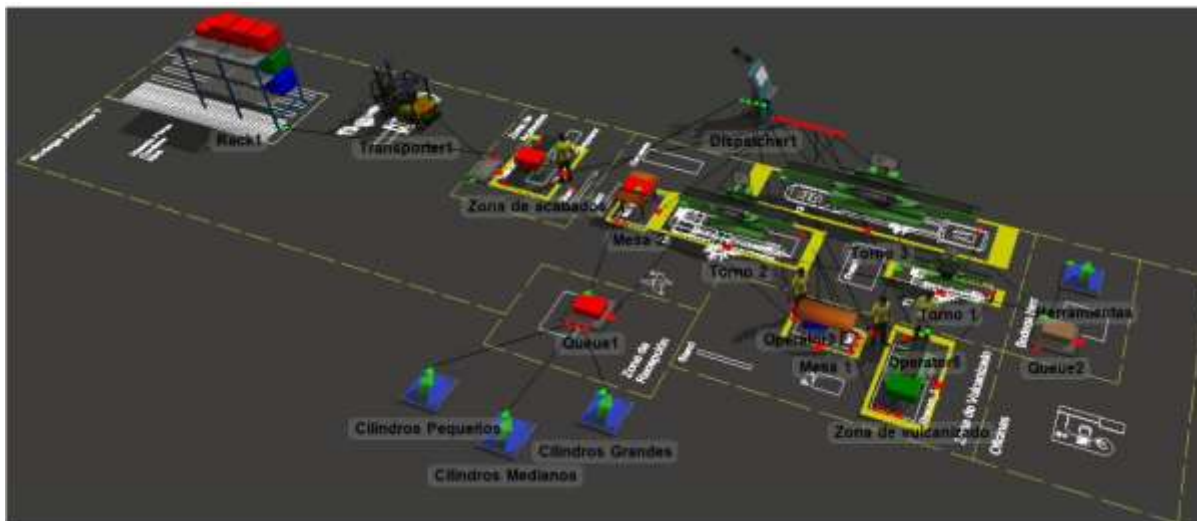
Para examinar el comportamiento operacional del proceso de mantenimiento correctivo antes y después de la aplicación de la propuesta de mejora, se llevó a cabo la validación de la propuesta por medio de simulación de eventos discretos con el programa FlexSim. Esta herramienta posibilitó que se replicara el flujo de trabajo del taller bajo condiciones controladas, lo cual permitió la comparación objetiva entre la situación inicial y el escenario sugerido sin tener que intervenir directamente en el sistema productivo.

El modelo inicial se creó con la información recolectada en la etapa de diagnóstico, incluyendo la distribución física existente, el orden real de las operaciones, los tiempos obtenidos a través de cursogramas analíticos y la disponibilidad de recursos observada durante el

levantamiento informativo. La simulación se llevó a cabo teniendo en cuenta únicamente el procedimiento de cambio de sellos, que se eligió porque representa una operación que ocurre con frecuencia durante el mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos, con el fin de asegurar la representatividad del modelo.

Figura 5.

Modelo de simulación del escenario inicial del proceso de cambio de sellos desarrollado en FlexSim.



Fuente: Adaptado de la tesis de Salazar Bermeo (2025).

Para garantizar la consistencia del modelo, se emplearon como datos de entrada los siguientes datos de entrada obtenidos mediante los cursogramas analíticos del proceso:

Tabla 2.

Datos de entrada para la operación de cambio de sellos

UBICACIÓN	Tiempo prom. (Cil. pequeño) [min]	Tiempo prom. (Cil. mediano) [min]	Tiempo prom. (Cil. grande) [min]
ALMACÉN PT	9,0	12,0	17,0
BODEGA	2,0	2,0	2,0
FRESA	21,0	33,0	60,0
MESA 1	118,0	159,0	228,0
MESA 2	40,0	220,0	250,0
OPER	9,8	28,2	45,4
TI-1213	81,0	103,0	198,0
ZONA ACAB	119,0	126,0	155,0
ZONA VULC	198,0	198,0	198,0
Tiempo de ciclo [min]	597,8	881,2	1153,4
Tiempo de ciclo [h]	10,0	14,7	19,2

Fuente: Adaptado de la tesis de Salazar Bermeo (2025).

La simulación se llevó a cabo tomando en cuenta un periodo de dos semanas de funcionamiento ininterrumpido, con días laborales de ocho horas y un descanso para la comida de treinta minutos. El modelo incorporó a cuatro operarios laborando de forma constante y mantuvo la secuencia de operaciones del taller, lo que permitió replicar las condiciones reales del sistema antes de aplicar la propuesta de mejora.

Tabla 3.

Configuración del escenario inicial de simulación para la operación de cambio de sellos

Condición del modelo	Escenario inicial
Software de simulación	FlexSim
Tipo de simulación	Eventos discretos
Operación simulada	Cambio de sellos
Horizonte de simulación	2 semanas
Jornada laboral	8 horas/día
Tiempo de descanso	30 minutos
Número de operarios	4
Distribución física	Layout actual del taller
Flujo de trabajo	Secuencia operativa observada
Distribución de tiempos	Normal
Información utilizada	Estudio de tiempos, cursogramas y levantamiento de procesos
Indicadores evaluados	Tiempo de ciclo, tiempo improductivo, recorrido, utilización de recursos y productividad

Fuente: Elaboración propia con base en los datos de la investigación.

El análisis del escenario inicial permitió identificar que las áreas de maquinado y vulcanizado concentraban los principales cuellos de botella del sistema. Estas estaciones presentaban mayores tiempos de permanencia de los componentes y provocaban acumulaciones temporales de trabajo, afectando la continuidad del flujo operativo y aumentando los tiempos improductivos. Este comportamiento confirmó los resultados obtenidos durante el diagnóstico y justificó la necesidad de intervenir tanto la distribución física del taller como la organización de las actividades de mantenimiento.

Resultados del escenario inicial

El análisis del comportamiento operativo de la operación de mantenimiento correctivo bajo las circunstancias reales que se dieron en TEK Ecuador fue posible gracias a los resultados logrados por medio de la simulación del escenario inicial. La ejecución del modelo reprodujo el flujo de trabajo asociado al procedimiento de cambio de sellos, incorporando las restricciones operativas identificadas durante la fase diagnóstica y reflejando la interacción entre recursos, tiempos de procesamiento y desplazamientos internos.

La simulación mostró que hay acumulaciones temporales de trabajo en algunas fases del proceso, especialmente en las actividades vinculadas con la vulcanización y el maquinado. Estas operaciones mostraron tiempos más altos de permanencia de los componentes, lo que provocó que el flujo de trabajo se interrumpiera parcialmente y que la eficacia general del sistema se viera afectada. En consecuencia, se detectaron aumentos en los periodos de espera y un uso desiguales de los recursos disponibles.

Los hallazgos también corroboraron que la distribución física actual tenía un impacto directo en los traslados necesarios para realizar las tareas de mantenimiento. Cuando las estaciones estaban separadas, era necesario realizar recorridos frecuentes para llevar componentes y herramientas, lo que aumentaba el tiempo total requerido para finalizar el proceso de intervención.

La Figura muestra cómo se comporta el sistema simulado bajo las condiciones operativas iniciales. Esta representación permite observar la dinámica del proceso y las limitaciones detectadas en el flujo de mantenimiento correctivo en el periodo previo a la implementación de la propuesta de mejora.

Se registraron los indicadores operativos más importantes logrados a lo largo de la simulación con el fin de establecer una línea base para comparar. Estos valores posibilitaron medir el rendimiento del sistema y se convirtieron en el punto de referencia para examinar más adelante los impactos resultantes de la redistribución física del taller y de la estandarización de las actividades.

Tabla 4.

Los indicadores corresponden al procedimiento de cambio de sellos simulado bajo las condiciones operativas actuales del taller.

Indicador	Valor	Unidad
Tiempo de ciclo	874,91	min
Tiempo de operación	701,84	min
Tiempo improductivo	173,07	min
Producción en el horizonte de simulación (14 días)	19	cilindros

Fuente: Adaptado de Salazar Bermeo (2025).

Configuración del escenario propuesto

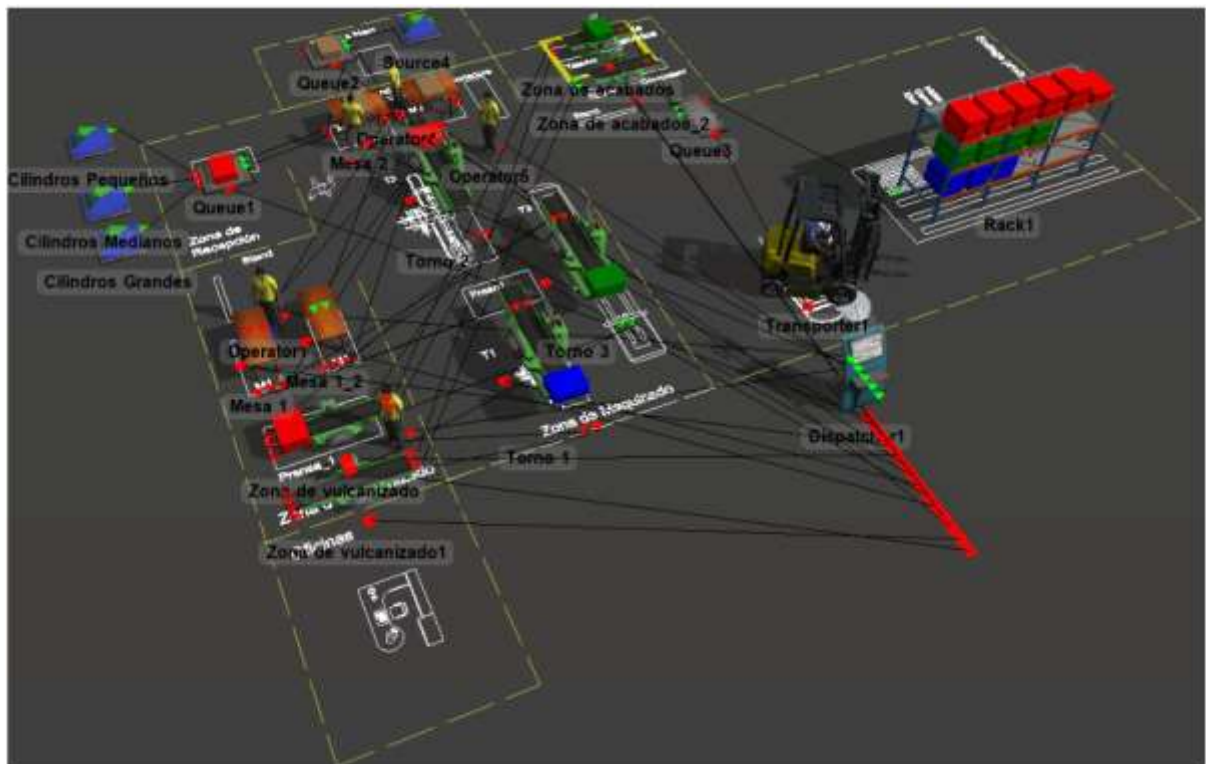
Se creó un segundo modelo de simulación para analizar el impacto de las optimizaciones propuestas durante la etapa de diseño, las cuales incluían la normalización de los procedimientos y la reubicación física del taller. Las diferencias observadas en los resultados fueron atribuibles solamente a los cambios implementados, ya que este escenario mantuvo las mismas condiciones generales de operación del modelo original. La configuración del escenario sugerido mantuvo un

horizonte de simulación de 14 días, jornadas laborales de ocho horas al día y una pausa para el almuerzo de media hora. Además, la misma distribución normal aleatoria se utilizó para los tiempos de procesamiento con el fin de asegurar que ambos escenarios sean comparables y disminuir la influencia de elementos externos sobre los indicadores analizados.

La reestructuración de la repartición física del taller, el mejoramiento del orden de las tareas y la adición de un quinto operario junto con una estación laboral adicional fueron los cambios más importantes que se hicieron al modelo. Estas mejoras se implementaron con el objetivo de reducir los traslados internos, acortar los tiempos de espera entre operaciones y distribuir equitativamente la carga laboral entre los recursos disponibles. El objetivo de la redistribución sugerida fue establecer un flujo ininterrumpido entre las diversas fases del mantenimiento correctivo, evitando cruces de materiales innecesarios y concentraciones laborales en ciertas estaciones. Así, el modelo reflejó un entorno de trabajo más eficaz, que tenía como objetivo reducir los tiempos no productivos y optimizar la utilización de la capacidad instalada.

Figura 6.

Modelo de simulación del escenario propuesto para la operación de cambio de sellos desarrollado en FlexSim.



Fuente: Adaptado de Salazar Bermeo (2025).

Luego, la Tabla 5 presenta un resumen de los nuevos parámetros operativos que se añadieron al modelo como resultado de la propuesta de mejora. Estos parámetros fueron la base para realizar la simulación del escenario sugerido y examinar el efecto que las modificaciones tuvieron en el rendimiento global del proceso.

Tabla 5.

Condiciones de entrada utilizados para la simulación del escenario propuesto.

Parámetro	Configuración del escenario propuesto
Software de simulación	FlexSim
Tipo de simulación	Simulación de eventos discretos
Operación analizada	Cambio de sellos
Fuente de datos	Estudio de tiempos, cursogramas analíticos y propuesta de mejora
Distribución estadística	Distribución normal aleatoria (igual que en el escenario inicial)
Horizonte de simulación	2 semanas
Jornada laboral	8 horas diarias
Tiempo de almuerzo	30 minutos
Número de operarios	5
Estación adicional	Incorporación de una mesa de trabajo adicional
Distribución física	Layout optimizado con redistribución de estaciones de trabajo
Flujo de trabajo	Secuencia operativa estandarizada propuesta
Variables evaluadas	Tiempo de ciclo, tiempo de operación, tiempo improductivo, porcentaje de actividades con valor agregado, recorrido del operario y utilización de recursos

Nota. Los parámetros corresponden al escenario de simulación posterior a la implementación de la propuesta de estandarización y redistribución física del taller.

Fuente: Adaptado de Salazar Bermeo (2025).

Resultados del escenario propuesto

Con el fin de asegurar que los dos modelos fueran comparables, se llevó a cabo una simulación de eventos discretos del escenario propuesto, empleando las mismas condiciones experimentales establecidas para el modelo inicial. La simulación mantuvo los mismos parámetros temporales, la jornada de trabajo, el tiempo de procesamiento y los criterios evaluativos definidos en la configuración del escenario base; se realizaron únicamente tres cambios: la reubicación física del taller, la fijación de una secuencia operativa estándar y la adición de otro trabajador como recurso extra.

Los indicadores que se obtuvieron mostraron un rendimiento operativo mejorado del sistema. El tiempo de ciclo pasó de 874,91 minutos a 839,89 minutos, lo que supone una

reducción del 4 %. Asimismo, el tiempo improductivo disminuyó del 173,07 min al 160,55 min, lo que equivale a un descenso del 7,23 %. La producción, además, subió de 19 a 21 cilindros durante el horizonte de simulación, lo que significa un aumento del 10,53 % en comparación con el escenario inicial. Estos resultados sugieren, desde la perspectiva operacional, que un flujo de trabajo más constante entre las estaciones operativas fue propiciado por la reestructuración de la distribución física del taller, la normalización de las tareas y la inclusión de un recurso operativo extra. Como resultado, se disminuyeron los periodos de espera entre procesos consecutivos, se redujeron las interrupciones debidas a traslados internos y se logró una repartición más equitativa de la carga laboral, optimizando así el uso de la capacidad instalada del sistema.

La Tabla 7 sintetiza los indicadores que resultaron de la simulación, mientras que el modelo del escenario sugerido se muestra en la Figura 8. En la próxima sección se lleva a cabo una comparación minuciosa entre los dos escenarios, en la que se estudia de manera cuantitativa cómo afecta la propuesta al rendimiento del proceso de mantenimiento correctivo.

Figura 7.

Modelo de simulación del escenario propuesto y comportamiento operativo del proceso de cambio de sellos.

Indicador	Valor obtenido	Unidad
Tiempo de ciclo	839,89	min
Tiempo de operación	679,35	min
Tiempo improductivo	160,55	min
Producción durante el 25 horizonte de simulación		cilindros

Fuente: Adaptado de Salazar Bermeo (2025). Elaboración propia con base en los resultados obtenidos mediante el modelo de simulación desarrollado en FlexSim.

Comparación de indicadores de desempeño

El efecto de la estandarización del proceso y la redistribución física del taller en el rendimiento operativo del mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos se pudo medir objetivamente al comparar el escenario propuesto con el inicial. Las variaciones notadas en los indicadores se pueden asignar directamente a las mejoras que se implementaron durante la intervención, manteniendo inalterables las condiciones generales de simulación en los dos modelos.

Figura 9.
Comparación de indicadores de desempeño



Fuente: Autor.

Los resultados obtenidos a través de la simulación mostraron una mejora medida en el rendimiento del procedimiento de mantenimiento correctivo. El total del tiempo de ciclo bajó del escenario inicial (874,91 min) al propuesto (839,89 min), lo cual significa una disminución del 4,0 %. De igual forma, el tiempo improductivo bajó de 173,07 minutos a 160,55 minutos (una reducción del 7,23 %), mientras que la producción en el horizonte de simulación pasó de 19 cilindros a 25 cilindros (un aumento del 31,58 %).

Según estos hallazgos, la normalización de las tareas, la redistribución física del taller y el aumento a cinco operarios propiciaron un flujo de trabajo más constante entre los puntos de operación. Esto logró que se acortaran los tiempos de espera entre procesos sucesivos y que mejorara el empleo de la capacidad instalada. La reducción del tiempo improductivo y del tiempo de ciclo comprueba que las modificaciones implementadas hicieron posible disminuir las pérdidas operativas sin alterar las condiciones generales de simulación, lo cual mejora la eficacia total del procedimiento de mantenimiento.

La Tabla 6 compendia los indicadores fundamentales adquiridos en las dos situaciones, y representa la evidencia cuantitativa empleada para valorar el efecto de la propuesta de optimizar y estandarizar el procedimiento.

Tabla 6.

Comparación de los indicadores operativos obtenidos en los escenarios inicial y propuesto

Indicador	Escenario inicial	Escenario propuesto	Variación	Mejora (%)
Tiempo de ciclo (min)	874,91	839,89	-35,02	4,00
Tiempo de operación (min)	701,84	679,35	-22,49	3,20
Tiempo improductivo (min)	173,07	160,55	-12,52	7,23
Producción durante el horizonte de simulación (cilindros)	19	25	+6	31,58

Nota. La variación corresponde a la diferencia absoluta entre ambos escenarios. La mejora porcentual se calculó con respecto al escenario inicial.

Fuente: Adaptado de la Tabla 3.15 de Salazar Bermeo (2025).

Como resultado de la estandarización de las actividades y de la redistribución física del taller, se obtuvieron nuevos tiempos de referencia para la operación de cambio de sellos. Estos valores fueron determinados mediante el análisis de los cursogramas analíticos correspondientes al escenario propuesto y constituyeron los datos de entrada utilizados para la construcción del segundo modelo de simulación en FlexSim. La actualización de los tiempos refleja las mejoras introducidas en la secuencia operativa, la reducción de desplazamientos innecesarios y la reorganización del flujo de trabajo, permitiendo evaluar el impacto de la propuesta bajo condiciones comparables con el escenario inicial. La Tabla 7 presenta los tiempos promedio considerados para cada estación de trabajo y para los diferentes tipos de cilindros analizados.

Tabla 7.

Tiempos promedio utilizados como datos de entrada para la operación de cambio de sellos (escenario propuesto)

UBICACIÓN	Cil. pequeño (min)	Cil. mediano (min)	Cil. grande (min)
ALMACÉN PT	12,0	17,0	29,0
BODEGA	1,9	1,9	1,9
FRESA	15,0	20,8	38,0
MESA 1	89,4	123,6	187,0
MESA 2	41,0	222,0	252,0
OPER	12,3	34,1	54,2
T1-T2-T3	86,4	114,0	217,0
ZONA ACAB	113,0	115,0	135,0

ZONA VULC	198,0	198,0	198,0
Tiempo total del ciclo (min)	569,0	846,3	1112,1
Tiempo total del ciclo (h)	9,5	14,1	18,5

La propuesta de mejora generó un desempeño más eficaz del sistema en comparación con el escenario inicial, como se puede observar en la Figura 10. El hecho de que el tiempo de ciclo haya disminuido de 874,91 minutos a 839,89 (4,0 %) y el tiempo improductivo de 173,07 minutos a 160,55 (7,23 %) demuestra que la redistribución física del taller, la estandarización de las actividades y la inclusión de un recurso operativo adicional contribuyeron a un flujo laboral más ininterrumpido entre las estaciones operativas. Además, la producción se incrementó de 19 a 25 cilindros durante el periodo de simulación, lo que representa un aumento del 31,58 %. Esto confirma que hubo una mejor utilización de la capacidad instalada sin alterar las condiciones generales del modelo simulado. En general, estos resultados evidencian que la propuesta facilitó el aumento del rendimiento operativo del proceso de mantenimiento correctivo y brindan pruebas cuantitativas de la eficacia de las mejoras aplicadas.

Discusión

Los resultados que se lograron a través de la simulación evidenciaron que la mejora propuesta tuvo un impacto positivo en el rendimiento del proceso de mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos en TEK Ecuador. En comparación con el escenario original, los minutos de ciclo bajaron de 874,91 a 839,89 (disminución del 4 %), y los minutos improductivos disminuyeron de 173,07 a 160,55 (reducción del 7,23 %). Del mismo modo, la producción durante el periodo de simulación se elevó de 19 a 25 cilindros, lo que representa un aumento del 31,58 %. Estos hallazgos muestran que la normalización de las tareas, la redistribución física del taller y la implementación de un recurso operativo extra ayudaron a optimizar el uso de la capacidad operativa del sistema y a mantener ininterrumpido el flujo de trabajo.

Un signo del impacto que las modificaciones implementadas tienen en el rendimiento operativo del proceso es la disminución de la duración del ciclo. Del mismo modo, la reducción del tiempo improductivo muestra una disminución de las interrupciones entre operaciones y del tiempo de espera; el aumento en la producción, por su parte, evidencia que se logró procesar más cilindros en el mismo horizonte de simulación. En resumen, estos hallazgos indican que la reestructuración del proceso posibilitó una mejora en la eficiencia del sistema sin necesidad de añadir maquinaria nueva ni de cambiar las condiciones generales de operación.

Los resultados que se han obtenido son coherentes con estudios anteriores, los cuales indican que la estandarización de procesos y la reestructuración de la distribución física son tácticas eficaces para optimizar el rendimiento de las operaciones de mantenimiento. Castillo et

al. (2021) señalan que la estandarización mejora la coordinación de las actividades y disminuye la variabilidad operativa; Cañar y Suárez (2022) informan que optimizar el diseño del layout reduce los traslados innecesarios y mejora el orden en las operaciones. En la investigación actual, se emplearon en conjunto las dos estrategias, lo cual permitió el logro de mejoras medibles en los indicadores operativos que se evaluaron a través de simulación.

Desde la perspectiva de los métodos, los resultados también apoyan el uso de la simulación de eventos discretos como instrumento para analizar propuestas de mejora antes de llevarlas a cabo. La formulación del modelo en FlexSim permitió que se replicaran las condiciones reales del proceso y que el desempeño de los escenarios inicial y sugerido se comparara de manera objetiva, bajo iguales condiciones experimentales. De este modo, se pudo calcular el posible impacto de las modificaciones implementadas, disminuyendo así la incertidumbre vinculada con la toma de decisiones y ofreciendo pruebas cuantitativas que respaldan la propuesta de optimización.

Es relevante enfatizar que los resultados se dan en un escenario simulado y reflejan el desempeño previsto del sistema según las condiciones establecidas en el modelo. Por lo tanto, los beneficios que se observen estarán sujetos a la implementación de las mejoras sugeridas, las cuales deben cumplir con la redistribución física del taller, la estandarización de las actividades y el reparto de los recursos tenidos en cuenta durante la simulación. Sin embargo, la consistencia de los resultados logrados y su concordancia con investigaciones anteriores apoyan la factibilidad técnica de la propuesta y posibilitan que se pueda ver su utilización como una opción para aumentar la eficacia del mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos.

En líneas generales, los estudios indican que la combinación de herramientas de ingeniería de métodos y simulación de eventos discretos es una táctica efectiva para el análisis y la mejora de procesos industriales relacionados con el mantenimiento. La información recopilada demuestra que la propuesta no solamente disminuyó los períodos vinculados con el proceso, sino que además amplió la capacidad productiva del sistema, proporcionando una base técnica para tomar decisiones y presentando un método que puede ser ajustado a otras entidades con procedimientos de mantenimiento parecidos.

Conclusiones

Se confirmó que los procedimientos no estandarizados, los recorridos extensos y la dependencia del conocimiento individual afectan la continuidad del mantenimiento correctivo. La organización inicial generaba cruces entre áreas y recorridos de hasta 128,5 m por operación, lo que justificó la estandarización del método y la redistribución física del taller. Se proyectó disminuciones de 7,81 % en el tiempo de ciclo, 8,09% en el tiempo de operación y 5,13% en el tiempo improductivo posterior a la implementación de la redistribución. Asimismo, esta limitó a 15,3 m los trayectos entre áreas relacionadas y mantuvo en 47,88% las actividades AVA. Estos resultados muestran que la mejora se concentra en reducir desplazamientos, esperas y actividades repetitivas sin alterar las operaciones técnicas esenciales del mantenimiento.

Se estandarizó los procedimientos mediante el uso de flujogramas y cursogramas proyectó para optimizar los indicadores productivos obteniendo reducciones de 20,65 % en tiempos de operación, 33,33 % en tiempos de inspecciones y 50,00 % en tiempo de esperas, sin variación en transporte ni almacenaje, lo cual, demuestra su potencial de aplicación por su diseño de flujo continuo integrando las zonas de trabajo con mayor interacción.

Se utilizó FlexSim para simular la propuesta de estandarización obteniendo un incremento de 19 a 25 cilindros en un tiempo de simulación de 2 semanas, además, el tiempo de permanencia disminuyó 6,8 %, la utilización de los operarios aumentó 14,5 % y el uso promedio de los tornos creció 56,9 %. Lo cual respalda la viabilidad técnica potencial, sin embargo, deben validarse mediante la construcción de los espacios en el taller.

Referencias Bibliográficas

- Acevedo Suárez, J. A., Cachay Boza, O., & Linares Barrantes, N. (2017). Productividad y competitividad en sistemas productivos industriales. *Industrial Data*, 20(2), 89–98. <https://doi.org/10.15381/idata.v20i1.13502>
- Bello Parra, M. J., Parra Ferié, C., & Valarezo Cevallos, J. M. (2023). Procedimiento para la estandarización de procesos y la competitividad en empresas agroproductivas de Manabí. *Revista Uniandes Episteme*, 10(2), 234–248. <https://doi.org/10.61154/rue.v10i2.2867>
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación* (3.^a ed.). Pearson Educación. <https://bibliotecadigital.utn.edu.ec/files/original/fb0b0cfee2ae990609933d17c6890848960051aa.pdf>
- Cañar, J., & Suárez, M. (2022). Aplicación de técnicas de mejora continua para la optimización de procesos de mantenimiento industrial. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22786/1/UPS-GT003807.pdf>
- Castillo, E., Rivera, J., & Zambrano, J. (2021). Diseño de procedimientos para la optimización del mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26723/1/CD%2015367.pdf>
- Castro Chuzón, J. A. (2023). Indicadores de productividad aplicados a procesos industriales. <https://www.redalyc.org/pdf/215/21512606.pdf>
- Chilon, J., & Urtecho, A. (2021). Gestión de mantenimiento y optimización de recursos industriales. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26723/1/CD%2015367.pdf>
- FlexSim Software Products, Inc. (2022). *FlexSim User Manual*. FlexSim Software Products Inc. https://www.flexsim.com/wp-content/uploads/2025/03/FlexSim-Software-Primer_5th-ed.pdf
- García-Sabater, J. P. (2020). *Distribución en planta*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/a7ad8337-1964-4ed9-8ed5-d0633b8ceb17/content>
- Gualán, D. (2022). Estrategias de mantenimiento predictivo y correctivo para sistemas hidráulicos industriales. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26723/1/CD%2015367.pdf>
- Guillén, M., & Depaz, J. (2024). Optimización de procesos de mantenimiento hidráulico mediante gestión por procesos. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26723/1/CD%2015367.pdf>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/archivos/materiales_de_consulta/drogas_de_abuso/articulos/sampierilasrutas.pdf
- Kliment, M., Trebuna, P., Pekarcikova, M., et al. (2022). Applications of discrete-event simulation in industrial process optimization using FlexSim. https://www.actasimulatio.eu/issues/2022/II_2022_01_Kliment_Pekarcikova_Mizerak_Trebuna.pdf
-

- Marmolejo Saucedo, J. A., Rodríguez Aguilar, R., Lozano Martínez, S., & Pérez Sánchez, J. M. (2012). Simulación discreta mediante FlexSim para la evaluación de sistemas productivos. <https://doi.org/10.47212/tendencias2023vol.xxi.1>
- Mendenhall, W., Beaver, R. J., & Beaver, B. M. (2006). *Introducción a la probabilidad y estadística* (12.^a ed.). Thomson. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25418w/sem8_introduccionalaprobabilidadyestadistica.pdf
- Pustavrh, J., et al. (2023). Hydraulic systems and industrial applications. <https://doi.org/10.38035/gijes.v3i1>
- Ramos, J. (2024). Mantenimiento de cilindros hidráulicos y sistemas de potencia fluida en aplicaciones industriales. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26723/1/CD%2015367.pdf>
- Salazar Bermeo, A. A. (2025). *Propuesta de estandarización y mejora del proceso de mantenimiento correctivo de cilindros hidráulicos en la empresa TEK Ecuador* (Trabajo de titulación de maestría). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26723/1/CD%2015367.pdf>
- Shanbhag, V., Kulkarni, S., & Patel, R. (2021). Failure analysis and maintenance strategies for hydraulic systems in industrial environments. https://nitw.ac.in/api/static/files/05_02_2024_Academic_Report_2020_21.pdf
- Tengan, C., & Clemente, J. (2024). Measurement of operational performance indicators in industrial maintenance systems. <https://comunicacion-cientifica.com/wp-content/uploads/2024/08/186.-PDF-Economia-circular.pdf>
- Vega, J., & Villagrán, P. (2012). *Rehabilitación y mantenimiento de sistemas hidráulicos industriales*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0297_MI.pdf
-