

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Mejora de proceso de gestión de mantenimiento de
la empresa Maqtrack SAC para aumentar la
disponibilidad de la maquinaria**

Gary Franz Herrera Ruiz

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jersoon Jesús Lazo Huaynalaya
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 1 de Noviembre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Mejora de Proceso de Gestión de Mantenimiento de la Empresa MAQTRACK SAC para Aumentar la Disponibilidad de la Maquinaria

Autores:

1. Gary Franz Herrera Ruiz – EAP. Ingeniería Industrial

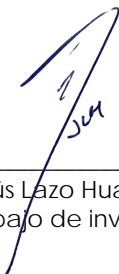
Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N° de palabras excluidas (20): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Jersoon Jesús Lazo Huaynalaya
Asesor de trabajo de investigación

ASESOR

Jersoon Lazo Huaynalaya

DEDICATORIA

A mi madre, Elda, por ser mi motivación e inspiración.

A mi padre, Raúl, por enseñarme a no rendirme y seguir adelante.

A mis hermanos, por mostrarme que no hay límites para seguir creciendo en lo profesional.

A mis abuelos, por siempre creer en mí.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, motivo de seguir siempre adelante, por acompañarme en cada paso de mi vida y dejarme confiarles mis proyectos, con la seguridad y firmeza de siempre estar presentes apoyándome para hacerlos realidad.

A mi madre, por enseñarme a crecer profesionalmente y ser mi mejor amiga.

A mi padre, por darme el ejemplo de nunca rendirme y seguir avanzando.

A quienes siempre confiaron en mí y me brindaron su incondicional apoyo, antes y durante este largo camino.

A mis docentes, asesores, compañeros de trabajo y mentores, por enseñarme el camino a seguir con sus experiencias y consejos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Asesor.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos	vii
Lista de tablas.....	ix
Lista de figuras	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	xiii
Capítulo I.....	14
Planteamiento del estudio	14
1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.2. Formulación del problema	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problemas específicos.....	16
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Justificación.....	17
1.4.1. Justificación teórica	17
1.4.2. Justificación práctica	18
1.4.3. Justificación social.....	18
1.4.4. Justificación medioambiental.....	18
1.5. Hipótesis.....	18
1.5.1. Hipótesis general	18
1.5.2. Hipótesis específicas.....	18
1.6. Variables.....	19
1.6.1. Descripción de las variables.....	19
1.6.2. Operacionalización de las variables	20
Capítulo II.....	22
Marco teórico.....	22
2.1. Antecedentes del problema	22
2.1.1. Antecedentes internacionales	22
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	25

2.2. Base teórica	28
2.2.1. Teorías relacionadas	28
2.2.1.1. Gestión de mantenimiento.....	28
2.2.1.2. Mantenimiento preventivo	31
2.2.1.3. Mantenimiento correctivo	31
2.2.1.4. Disponibilidad de maquinaria	32
2.2.1.5. Análisis de criticidad.....	32
2.2.1.6. Fiabilidad.....	32
2.2.1.7. Mantenibilidad	33
Capítulo III.....	34
Metodología	34
3.1. Método y alcance de la investigación.....	34
3.2. Diseño de la investigación	35
3.3. Población y muestra.....	35
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
Capítulo IV	37
Resultados y discusión.....	37
4.1. Resultados	37
4.1.1. Identificar las máquinas que presentan mayor tiempo de paradas por falta de mantenimiento en la empresa MAQTRACK SAC.....	37
4.1.2. Estimar disponibilidad actual de las máquinas de la empresa en la empresa MAQTRACK SAC	40
4.1.3. Diseñar un sistema de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de la maquinaria.....	42
4.1.4. Calcular disponibilidad después de implementación del sistema de mantenimiento preventivo.....	52
4.2. Discusión de resultados	55
Conclusiones	57
Recomendaciones.....	58
Referencias.....	59
Anexos	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	20
Tabla 2. Máquinas de la empresa	35
Tabla 3. Tiempo medio entre fallas	37
Tabla 4. Tiempo medio de reparación de fallas	39
Tabla 5. Disponibilidad de las maquinarias de la empresa.....	41
Tabla 6. Plan de mantenimiento preventivo.....	42
Tabla 7. Abreviatura de las máquinas de la empresa	48
Tabla 8. Criticidad de máquinas de la empresa.....	49
Tabla 9. Resultados de criticidad de las máquinas.....	49
Tabla 10. Resumen de criticidad de las máquinas.....	49
Tabla 11. Tiempo medio entre fallas mejorado.....	52
Tabla 12. Tiempo medio de reparación mejorado.....	52
Tabla 13. Disponibilidad de las máquinas con mejora.....	54
Tabla 14. Resumen de disponibilidad de las máquinas	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tendencias de la gestión del mantenimiento.....	30
Figura 2. Clasificación general del mantenimiento.....	30
Figura 3. Tiempo medio entre fallas de las máquinas.....	38
Figura 4. Tiempo medio de reparación de las máquinas.....	39
Figura 5. Disponibilidad de las máquinas.....	42
Figura 6. Ficha técnica de motoniveladora.....	44
Figura 7. Ficha técnica de excavadora.....	45
Figura 8. Ficha técnica de tractor orugas.....	46
Figura 9. Ficha técnica de excavadora 330D.....	47
Figura 10. Codificación de máquinas de la empresa.....	48
Figura 11. Formato de materiales y repuestos.....	50
Figura 12. Formato de trabajo de mantenimiento.....	51
Figura 13. Formato de orden trabajo de mantenimiento (OTM).....	51

RESUMEN

En el presente estudio se tiene como problema central la falta de una guía o un plan de mantenimiento, que tiene como consecuencia fallas y paradas de las maquinarias; por esa razón, el objetivo general planteado fue mejorar el proceso de la gestión de mantenimiento de la empresa MAQTRACK SAC para aumentar la disponibilidad de la maquinaria, que se orientó a una metodología con enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y un diseño cuasiexperimental, considerando una muestra compuesta por las máquinas excavadoras CAT de dicha empresa.

Como resultados se encontraron que las máquinas con mayor tiempo de parada por falla de mantenimiento en la empresa fueron la motoniveladora 140K JPA00564 con 80 horas/falla, la excavadora 320D TPM00596, el tractor de orugas D6T SMC01822 y la excavadora 330D JLP01357 con 60 horas /falla; además, la estimación de disponibilidad actual de la maquinaria fue de 65 %.

Concluyendo que debe mejorarse e implementarse un sistema de mantenimiento preventivo donde la nueva disponibilidad sea más rápida y efectiva, es decir, de un 96 % según lo calculado para que puedan tener un aumento del 48 %.

Palabras claves: disponibilidad, mantenimiento preventivo, tiempo medio entre fallas (TMF)

ABSTRACT

In this study, the central problem is the lack of a maintenance guide or plan, which results in failures and stoppages of machinery; for that reason, the general objective set was to improve the maintenance management process of the company MAQTRACK SAC to increase the availability of the machinery, which was oriented towards a methodology with a quantitative approach, applied with a descriptive level and a design quasi-experimental, considering a sample composed of the CAT excavating machines of said company.

As results, it was found that the machines with the longest downtime due to maintenance failure in the company were: the 140K Motor Grader JPA00564 with 80 hours/failure, the 320D TPM00596 excavator, the D6T Caterpillar tractor SMC01822 and the 330D excavator JLP01357 with 60 hours/failure. In addition, the estimate of current availability of the machinery was 65%.

Concluding that a preventive maintenance system should be improved and implemented where the new availability is faster and more effective, i.e., 96% as calculated so that they can have an increase of 48%.

Keywords: availability, mean time between failure (MTBF), preventive maintenance

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se realizó para resolver el problema de la empresa MAQTRACK SAC, relacionado con la falta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada, hecho que originaba paradas imprevistas del equipo en el momento en que los clientes hacían uso de ellas, por lo que se formuló la pregunta: ¿De qué manera se puede mejorar el proceso de la gestión de mantenimiento de la empresa MAQTRACK SAC para aumentar la disponibilidad de la maquinaria?, el objetivo principal fue desarrollar una estrategia para mejorar la gestión del mantenimiento y así aumentar la disponibilidad de los equipos de maquinaria pesada para los clientes.

Para verificar lo antes mencionado, se realizó una búsqueda de investigaciones que ayudaron a conocer sobre la gestión de mantenimiento, encontrándose que es fundamental dentro de las empresas, debido a las múltiples fallas o falencias que estas puedan tener, refiriéndose al cúmulo de acciones que ayudan a planificar, organizar y sobre todo programar las tareas que deben llevarse a cabo. En los últimos años, esta gestión ha ido mejorando de manera positiva, debido a la óptima estructura ligada a planes que lleguen a los objetivos planteados, ya que de esa forma existirá una disponibilidad a tiempo de sus equipos donde no afecte su productividad.

Por esta razón, la presente investigación se justifica en que se puede mejorar el proceso de la gestión de mantenimiento de la empresa MAQTRACK SAC haciendo posible que exista una optimización en la disponibilidad de la maquinaria, por ende, aumentar la capacidad de la planta, para llevar a cabo un buen control, que permite seleccionar los indicadores del plan diseñado para medir y controlar cuantificablemente el programa de mantenimiento.

Ante lo expuesto, el estudio llevado a cabo presenta una metodología de tipo aplicado, con un nivel explicativo, diseño cuasiexperimental y compuesto por los siguientes capítulos:

En el Capítulo I, se hace referencia al planteamiento y formulación del problema, donde se detalla la descripción, delimitación y la formulación del problema y justificación. En el Capítulo II, se define el marco teórico, que abarca los antecedentes de estudio, bases teóricas y el marco conceptual correspondiente. Además, en el Capítulo III se expone la metodología de la investigación, es decir, el método y alcance, el diseño del estudio, la población y muestra, y las técnicas de recolección de datos. En el Capítulo IV, se presentan los resultados y la discusión, finalmente, se muestran las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente, la importancia estratégica y económica del mantenimiento de maquinaria pesada es indispensable, debido a que las reparaciones más comunes pueden variar entre un porcentaje del 50 % y el 100 % del total de la inversión original (1), entonces se dice que si los equipos o maquinaria presentan fallas y no son reparadas, pueden llegar a afectar la productividad de la empresa, por ello es pertinente realizar las reparaciones de manera más inmediata (2).

En tal sentido, los servicios de mantenimiento de maquinarias son relevantes, considerando el servicio preventivo, el cual es útil para conocer los factores que pueden revelar algún desperfecto del equipo, en tanto se verifican los elementos que se podrían mejorar o reemplazar en la maquinaria. Asimismo, el mantenimiento preventivo se genera en el momento en que los equipos de vigilancia muestran los requerimientos necesarios para el mantenimiento. Por otra parte, el mantenimiento de las maquinarias o equipos es crítico para que se eviten los tiempos de falta de actividad, principalmente por motivos que las averías son poco predecibles. Se consideró que el 80 % de los fallos se suscitan por azar, fuera de los segmentos de caducidad. Por otro lado, los inventarios de control aportaron información para que los colaboradores conozcan cómo evaluar y en qué momento, siguiendo listas de control, de tal forma que se aseguren de que están continuando los procesos correctos para la inspección, limpieza y arreglo de su maquinaria pesada (3).

Es por lo que la empresa debe tener una organización adecuada, donde se conozcan los procesos que se asocian con las actividades que realiza, caso contrario, ante una mala

organización, se prevé un contratiempo ante cualquier emergencia o para efectuar acciones de correcciones o mantenimiento a los equipos o máquinas. En ese sentido, con el aporte de los procedimientos y una buena organización, existe alta probabilidad de realizar las verificaciones de mantenimiento en el menor tiempo, es decir, estandarizando los procesos; sin embargo, la problemática se centra en la necesidad de contar con una guía específica que permita prevenir las fallas en las maquinarias o equipos, y además en caso de que necesiten de reparación, existe la necesidad de tener un cronograma para realizarlo de la manera más rápida (4). Por lo cual, es importante llevar a cabo la revisión regular del funcionamiento y el estado general de las maquinarias, de tal forma que se diagnostiquen y se resuelvan los problemas que podrían presentarse (5).

Por tal motivo, se debe tener en cuenta que un adecuado mantenimiento de maquinarias permite un ahorro de hasta un 40 % del exceso de costos en los proyectos de construcción al optimizar la operación y la productividad de las maquinarias. Además, los motores descuidados podrían considerar una mengua en la eficacia de combustibles, acrecentando los gastos. Por tanto, se debe conservar el sistema en su mejor rendimiento, lo cual mejorará la seguridad y la eficiencia, preservando la eficacia de la garantía y protegiendo la cobertura del seguro, evitando así los desperfectos que limiten la disponibilidad de la maquinaria (3).

Ante la problemática expuesta, en España, el 5,1 % de las industrias textiles han invertido en los servicios de mantenimiento debido a la cantidad de maquinaria que utilizan. Por lo que, decidieron crear y establecer un área específica donde el objetivo fue establecer los procedimientos que aseguren la productividad, evitando el paro y fallos de las máquinas, así como asegurar su disponibilidad durante todo el tiempo de trabajo. Asimismo, consideraron que el mantenimiento preventivo, basado en las características de cada uno de los equipos, logró prevenir las distintas fallas (6). Sin embargo, los sistemas de gestión de mantenimiento han logrado una evolución de la mano con el uso de la tecnología y el posicionamiento e importancia que ha obtenido dentro de las empresas. Dependiendo del rubro o sector, cada empresa debe y tiene que definir las políticas o procedimientos de mantenimiento ya sea preventivo o correctivo, para lograr óptimamente el control, ejecución y planeamiento de su proceso (1).

En Latinoamérica, específicamente en Colombia, los empresarios optaron por adquirir maquinarias nuevas, innovadoras, eficientes y amigables con el medio ambiente, de acuerdo con Idico – *Industrial Distributors Internacional*, una de las mayores distribuidoras al terminar el 2017 tuvieron un crecimiento del 18 % al 20 % en su país. Además, en las áreas como la

agroindustria, la minería, las construcciones, entidades estatales, entre otros, movieron una gran proporción del mercado de maquinaria pesada (7).

En el Perú, aún se considera al área de mantenimiento industrial como secundario, entonces, la empresa u organización lo han definido como poco fundamental, por ende, carece de presupuesto, ya que no se ofrecen los recursos para ejecutarse como es debido. Los directivos no toman en cuenta las repercusiones, ni los inconvenientes, o principalmente, la indisponibilidad de las máquinas y conjuntos que pueden ocasionar, y con esto originar que la capacidad de la empresa baje, afectando a la productividad (8). Asimismo, según aportes en el 2021, un 81,82 % de individuos hicieron mención que existió una buena gestión de mantenimiento, mientras que un 18,18 % expresó que no hay una gestión de mantenimiento adecuado en las empresas, mientras que, en el 2022, un 70,4 % recalcó que las maquinarias dentro de las empresas están operativas (9).

La empresa MAQTRACK SAC es una empresa regional cuya actividad consiste en el alquiler de maquinaria pesada, dirigido al sector minero y a la construcción. Por motivo que la empresa es relativamente nueva en el mercado, el principal problema fue que no cuenta con un plan de mantenimiento para maquinaria pesada, lo cual originaba paradas imprevistas del equipo en el momento en que los clientes las estaban utilizando, siendo una de las causas más relevantes según el diagrama de Pareto que se muestra en el anexo 4; asimismo, esto implicaba pérdidas de horas máquina y horas hombre y pérdidas en avances que tenían programados, ello va en perjuicio de la empresa, y de quienes asumen la responsabilidad por los retrasos que dichas situaciones provoquen a sus clientes. Por lo cual se formula el siguiente problema.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera se mejora el proceso de la gestión de mantenimiento de la empresa MAQTRACK SAC para aumentar la disponibilidad de la maquinaria?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las máquinas que presentan mayor tiempo de paradas por falta de mantenimiento en la empresa MAQTRACK SAC?
- ¿Cuál es la disponibilidad estimada actual de las máquinas de la empresa MAQTRACK SAC?

- ¿De qué manera se diseñará un sistema de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de la maquinaria de la empresa MAQTRACK SAC?
- ¿Cuál es la disponibilidad después de la implementación del sistema de mantenimiento preventivo de la empresa, en MAQTRACK SAC?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Mejorar el proceso de la gestión de mantenimiento de la empresa MAQTRACK SAC para aumentar la disponibilidad de la maquinaria.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las máquinas que presentan mayor tiempo de paradas por falta de mantenimiento en la empresa MAQTRACK SAC.
- Estimar disponibilidad actual de las máquinas en la empresa MAQTRACK SAC, considerando el tiempo de operación y el tiempo de parada.
- Diseñar un sistema de mantenimiento preventivo adecuado para la empresa MAQTRACK SAC, con la finalidad de aumentar su disponibilidad y reducir las paradas por falta de mantenimiento.
- Evaluar la disponibilidad de las máquinas en MAQTRACK SAC después de la implementación del sistema de mantenimiento preventivo diseñado, comparando con la disponibilidad inicial.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

En el aspecto teórico, la investigación se fundamenta en lo siguiente: un plan de mantenimiento permite la detección de posibles fallos en los equipos mediante rutinas diarias, periódicas y predictivas, mejorando la gestión de la información a lo largo del proceso para planificar y programar el mantenimiento (10). En ese sentido, el plan de mantenimiento se diseñó con el objetivo de mejorar el proceso de gestión de mantenimiento en la empresa MAQTRACK SAC dedicada al rubro de maquinaria pesada, dirigido al sector minero y a la construcción; buscando aumentar la disponibilidad de las máquinas durante su uso.

1.4.2. Justificación práctica

En el aspecto práctico, el presente estudio se enfocó en conseguir diversos beneficios con el uso del plan de mantenimiento en el área de maquinaria pesada de la empresa MAQTRACK SAC. Entre estos beneficios se encuentra la optimización de la vida útil de los componentes y su rendimiento durante las jornadas de trabajo, en un esfuerzo por conseguir un mayor beneficio en cuanto a las horas de disponibilidad productiva de la maquinaria, lo que permite una mayor rentabilidad. Sobre esta base, será factible construir un control que permita la selección de indicadores del plan de mantenimiento para medir y cuantificar el plan en mención, asegurando así la disponibilidad de la maquinaria.

1.4.3. Justificación social

En el aspecto social, la investigación apoya su razón de ser en la búsqueda de la mejora del proceso de gestión del mantenimiento en MAQTRACK SAC, para optimizar la disponibilidad de la maquinaria; teniendo en cuenta que la empresa en estudio se dedica al rubro de maquinaria pesada, dirigido al sector minero y a la construcción; en ese sentido, la investigación permitirá mejorar la disponibilidad de las maquinarias, asegurando menor cantidad de fallos, por ende, las empresas que contratan los servicios de MAQTRACK SAC se verán beneficiadas al usar máquinas con mayor disponibilidad gracias al mantenimiento preventivo implementado.

1.4.4. Justificación medioambiental

En el aspecto medioambiental, el estudio busca mejorar la disponibilidad de las maquinarias en la empresa MAQTRACK SAC, implicando disminuir los fallos de estas, hecho que permitirá evitar la pérdida de combustible, la pérdida de producción y el trabajo excesivo del personal que opera las máquinas.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La implementación de un proceso de gestión de mantenimiento integral y basado en datos mejorará significativamente la disponibilidad de maquinaria pesada en MAQTRACK SAC, lo que conducirá a una mayor productividad, menores costos de tiempo de inactividad y una mayor confiabilidad general de los activos.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Una proporción significativa de las máquinas en MAQTRACK SAC experimentan tiempo de inactividad debido a la falta de mantenimiento preventivo o correctivo.

- Habrá una variación estadísticamente significativa en la disponibilidad de la máquina entre diferentes tipos o categorías de máquinas dentro de MAQTRACK SAC.
- Implementar un sistema integral de mantenimiento preventivo adaptado a las necesidades específicas de la maquinaria de MAQTRACK SAC, reducirá significativamente los tiempos de inactividad por falta de mantenimiento.
- La implementación del sistema de mantenimiento preventivo diseñado resultará en una mejora estadísticamente significativa en la disponibilidad general de las máquinas en MAQTRACK SAC.

1.6. Variables

1.6.1. Descripción de las variables

Variable independiente: Proceso de la gestión de mantenimiento

Dimensiones:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo

Variable dependiente: Disponibilidad de maquinaria

Dimensiones:

- Fiabilidad
- Mantenibilidad

1.6.2. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable independiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Proceso de la gestión de mantenimiento	La gestión del mantenimiento implica organizar, orientar, ordenar, controlar y organizar los activos con el objetivo de preservar su eficacia en intervalos predeterminados y a un precio accesible.	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento correctivo 	<p>El mantenimiento correctivo sirve de herramienta de ayuda para la prestación de servicios de la empresa, ya que permite establecer mejoras en cuanto a eficacia y eficiencia de todas las actividades en general, y puede garantizar la continuidad del uso de las instalaciones y maquinaria en el tiempo de producción y al mismo tiempo asegurar su sostenibilidad (11).</p> <p>Tiempo medio de reparación (MTTR): El tiempo promedio que lleva reparar un componente o sistema fallido.</p> <p><i>Tiempo total de reparación / Número de reparaciones</i></p> <p>Tiempo medio entre fallas (MTBF): El tiempo promedio entre fallas consecutivas de un componente o sistema. <i>Tiempo total de funcionamiento / Número de fallos</i></p> <p>Métodos de recopilación de datos: Sistemas de gestión de mantenimiento (MMS): utilice datos de MMS para realizar un seguimiento de los órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo, los tiempos de finalización y los costos asociados.</p> <p>Registros del historial de activos: analice los registros del historial de activos para identificar patrones de fallas recurrentes y evaluar la efectividad de las intervenciones de mantenimiento correctivo.</p> <p>Análisis de causa raíz: realice análisis de causa raíz para comprender las causas subyacentes de las fallas de los equipos e identificar oportunidades para medidas preventivas.</p>
		<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo 	
Variable dependiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Disponibilidad de maquinaria	La proporción de tiempo que un sistema, un equipo o una máquina están listos para funcionar	<ul style="list-style-type: none"> • Fiabilidad 	<p>Fiabilidad</p> $\text{Tiempo medio entre fallas (TMF)} = \frac{\text{Horas de operación}}{\text{Número de fallas detectadas}}$ $\text{Tiempo medio de reparación (TMR)} = \frac{\text{Tiempo total de fallas}}{\text{Número de fallas detectadas}}$

o generar, determina su disponibilidad.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo medio entre fallas (TMF)}}{\text{TMF} + \text{Tiempo promedio de reparacion (TMR)} * 100} \dots$$

Índice de mantenibilidad: Medida cuantitativa de la facilidad y rentabilidad de realizar tareas de mantenimiento en un equipo.

Costo de mantenimiento por reparación: El costo promedio de reparar un componente o sistema fallido.

- Mantenibilidad

Costes totales de reparación / Número de reparaciones

Tiempo de inactividad debido al mantenimiento: El tiempo total que el equipo no está disponible debido a actividades de mantenimiento programadas o no programadas.

Suma de las duraciones de los tiempos de inactividad individuales causados por actividades de mantenimiento.

Tiempo total de reparación / Número de reparaciones

Tasa de fracaso: Número de fallas por unidad de tiempo o por unidad de producción.

Número de fallas / tiempo total de operación o total de unidades de producción
Costos de mantenimiento y operación general mejorada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Mushlih et al. (10) en su artículo «Enhancing maintenance management system using reliability centered maintenance (rcm) case study curing tire section in leading tire manufacturer»; encontraron como problema principal que en la empresa PT MTI, dedicada a producir neumáticos para motocicletas, el objetivo de producción no se alcanzaba debido al tiempo de inactividad de la máquina de curado; en ese contexto, el **objetivo** planteado se enfocó en mejorar el sistema de conservación, mediante el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). La **metodología** estuvo enfocada en un nivel descriptivo y carácter experimental. Se obtuvieron los siguientes **resultados**: el valor de tiempo medio entre fallos (TMF) más destacado es de 1057 horas y el tiempo medio de reparación (TMR) de 4,62 horas; además de un valor de confiabilidad de 36,80 %. **Concluyendo** que, la mejora del sistema de mantenimiento disminuye el valor de TMF a 51 horas y el TMR a 1 hora, con un valor de confiabilidad de 50 %.

Ali (12) en su tesis «Assessing the impact of business model for predictive maintenance scenarios using multimethod simulation: a case study of centrifugal compressor»; identificó como problema que el tiempo de inactividad debido a fallas en los equipos puede costar a las empresas millones de soles y representar un riesgo significativo para la seguridad; por lo que, tuvo como **objetivo** simular un modelo genérico para el mantenimiento predictivo. La **metodología** empleada fue mixta (práctica y teórica), en la que la parte teórica estuvo basada en literatura académica, estándares de la industria, revistas y entrevistas con un experto. El **resultado** demostró que se puede mejorar a un 90 % de disponibilidad de la maquinaria al

lograr predecir 8 de cada 10 fallas, siendo el tiempo de verificación del sistema de monitoreo de solo 12 horas, una disminución del 93,5 % en comparación con el tiempo actual. En **conclusión**, es necesario innovar el sistema de mantenimiento tradicional, implementando nueva tecnología que permita el mantenimiento preventivo de la maquinaria.

Gutiérrez et al. (13), realizaron el estudio «Mejoras para elevar la disponibilidad de las unidades acuáticas livianas», teniendo como problema principal la falta de mantenimiento y existencia de falla que hacen que las unidades acuáticas ligeras no estén disponibles, por lo cual, el **objetivo** fue identificar un método para aumentar la disponibilidad de unidades acuáticas ligeras. La **metodología** utilizada fue descriptiva, haciendo uso de una entrevista para la recopilación de información, cuyo cuestionario se validó mediante el juicio de expertos. Como **resultados**, se identificaron las causas principales que limitan la disponibilidad de los equipos: requerimientos de mantenimiento, inventario de materiales, seguridad y mano de obra, obteniendo que el mantenimiento no es el adecuado y es la dimensión con más puntuación negativa. Se establecieron propuestas de mejora para cada una de las dimensiones. **Concluyendo** que, el área de mantenimiento es el principal aspecto para mejorar, y que, si bien actualmente el nivel de disponibilidad actual es de 79.00 %, con la implementación de las mejoras puede lograr aumentar a un 86.00 %.

Pinto et al. (14), en el artículo «TPM implementation and maintenance strategic plan – a case study», mencionan como problema la falta de implementación de un plan de mantenimiento; ya que ha adquirido una importancia cada vez mayor en la reorganización del sector industrial. El **objetivo** del estudio fue la implementación de un plan estratégico de mantenimiento para aumentar la disponibilidad de las máquinas y del OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) en una empresa de embragues y controles hidráulicos. La **metodología** fue descriptiva y de carácter experimental. Los **resultados** fueron claramente positivos debido al mantenimiento correctivo y preventivo, con una disminución de las averías por fallas en un 23 % para los tornos CNC y en un 38 % para los centros de mecanizado CNC, lo que se tradujo en un evidente aumento de la disponibilidad de las máquinas y una mejora en la OEE en un 5 %. Se **concluyó** que, un sistema de gestión de mantenimiento bien implementado tiene una gran influencia en el éxito de una organización, lo que puede proporcionar la reducción de costos, mayor disponibilidad y vida útil de los equipos.

Aguayo (4), en la tesis «Elaboración del Manual de procesos para ingreso y salida en maquinaria pesada en el mantenimiento preventivo de la empresa Andipuerto», encontró como problema la mala gestión de mantenimiento para tener disponible la evacuación de entrada y salida de las maquinarias, para ello se planteó el objetivo de crear una guía sobre el

mantenimiento preventivo para ayudar a la entrada y evacuación de equipos pesados en el Andipuerto, con la finalidad de resolver los problemas de las fallas que existen diariamente; acerca de la **metodología** fue cualitativa. Los resultados demostraron la mejora mediante los principios básicos de la gestión de la calidad total, desde el análisis inicial del proceso del taller hasta las herramientas de control y seguimiento, utilizando herramientas digitales, que permiten un seguimiento más preciso de la maquinaria porque proporcionan información sobre su estado real. **Concluyendo** que el manual de mantenimiento ayudó al funcionamiento del taller mecánico de maquinaria pesada, permitiendo delimitar la actuación del personal y mejorar el rendimiento del trabajo, así como, establecer intervalos de mantenimiento de 250 horas de funcionamiento.

Palomino et al. (15), en el estudio «TPM Maintenance management model focused on reliability that enables the increase of the availability of heavy equipment in the construction sector», encontraron como problema que los métodos tradicionales de garantía de disponibilidad, como el mantenimiento reactivo o rutinario, son insuficientes para satisfacer un plan de mantenimiento de equipos pesados; por lo tanto, el **objetivo** del estudio fue presentar un estudio de mantenimiento enfocado en el mantenimiento productivo total (TPM) y el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). La **metodología** es un estudio con enfoque cuantitativo, aplicado y de diseño cuasiexperimental. Los **resultados** demostraron una mejora del 90 % en la disponibilidad de las maquinarias. En ese sentido, se concluye que, la implementación de TPM fue exitosa, ya que reduce la acumulación excesiva de mantenimiento con la misma optimización efectiva y con el apoyo de RCM.

Candama et al. (16), en el artículo científico «Propuesta para mejorar el tiempo de permanencia de maquinaria pesada en talleres de mantenimiento», menciona que una de las dificultades que se presenta en el sector de maquinaria pesada son los altos tiempos utilizados en mantenimientos, razón por la que se inició esta investigación en una compañía enfocada en el mantenimiento de partes de maquinaria pesada, que se caracteriza por brindar un servicio eficiente, sin embargo, últimamente ha presentado fallas dentro del área de producción. Por lo tanto, se hace un estudio utilizando el diagrama sinóptico, diagrama de Ishikawa, gráfica de Pareto. Donde se evidencian distintas problemáticas, relacionadas con la mala gestión del tiempo, todo esto a partir de las maquinarias en mal estado, la falta de suministros o repuestos para el mantenimiento del operador y la falta de secuencia en sus actividades. En consecuencia, a esto, el área que se ha visto mayormente afectada y que ha presentado mayores complicaciones es la entrega de pedidos, lo cual ha disminuido la eficiencia dentro del servicio que presta la empresa y por lo que se realizaron unas propuestas de mejora para disminuir el tiempo en el área de taller.

Calderón (17), en su tesis «Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Metalpar S. A. S.» se tuvo como problema la carencia de un plan o guía para registrar el mantenimiento preventivo de cada maquinaria pesada, para lo cual el **objetivo** fue crear y registrar el plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada de Metalpar S. A. S., donde tuvo una **metodología** descriptiva. Obtuvo como **resultado** la no programación del mantenimiento preventivo a su maquinaria pesada. Con el fin de gestionar una guía ordenada para el cumplimiento de la ejecución de los requisitos de mantenimiento, se desarrollaron gráficos de control en los que se vinculan las diferentes actividades a la frecuencia del mantenimiento. **Concluyendo** que con el plan de mantenimiento se puede lograr un aumento en la disponibilidad de las máquinas, reducir costos de reparación y el mantenimiento de cada máquina debe realizarse de forma suficiente y pertinente. Del mismo modo, deben utilizarse los datos técnicos y la información sobre los componentes o consumibles necesarios para el mantenimiento preventivo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Palpan (18), en su tesis «Application of lean manufacturing principles to increase machine availability in peruvian SME in the textile sector»; encontró que la baja disponibilidad de máquinas y la mala gestión de los recursos humanos generan impactos económicos y productivos en las empresas del sector textil; entonces planteó como **objetivo** proponer un modelo integrado que combine mantenimiento productivo total (TPM) y *Lean Manufacturing* que cree una sinergia entre la gestión del mantenimiento y los recursos humanos. Se aplicó una **metodología** descriptiva, con enfoque cuantitativo y diseño experimental. Así, los **resultados** mostraron un aumento en el tiempo medio entre fallos (TMF) hasta 8,04 % y el tiempo medio para reparar (TMR) disminuyó en 52,88 %. Además, la tasa de ausentismo redujo un 38,75 %. En ese sentido, se **concluyó** que, las técnicas de ingeniería aplicadas al caso de estudio fueron efectivas con un incremento del 10.56 % de disponibilidad de los equipos.

Espinoza et al. (19), en su artículo «Maintenance management model to increase availability in a metalworking SME applying TPM, SMED and PDCA» tuvieron como principal problema al deficiente sistema de mantenimiento que genera pérdidas del 8 % de las ganancias; por ende, se plantearon como **objetivo** evaluar el nivel de impacto de la aplicación de las metodologías TPM, SMED y PDCA en una empresa del sector metalmecánico. La **metodología** planteada fue de tipo descriptivo y aplicado, con diseño preexperimental. Los **resultados** mostraron que el nivel de disponibilidad se incrementó en un 4 % y se aplicó una mejora continua a los indicadores, lo que aumentó aún más la disponibilidad en un 2 %. En **conclusión**, la implementación exitosa del modelo depende no solo del diagnóstico de las máquinas, sino también del compromiso del operador y de la dirección.

Ruiz (20) en su investigación «Gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de las máquinas en una empresa de alquiler de maquinaria pesada», tuvo como objetivo determinar el efecto de la gestión de mantenimiento en la disponibilidad de las máquinas en una empresa de alquiler de maquinaria pesada. El tipo de diseño de investigación fue preexperimental y de nivel explicativo. Se usaron como técnicas el análisis documental y la observación. La metodología usada correspondió al ciclo de Deming con el desarrollo de las 4 fases que comprende. Dentro de los resultados logrados por esta investigación se tiene que la disponibilidad mejoró en 5.85 %, pasando de 87.77 % y llegando a 96.82 %, en el caso del MTTR se produjo una mejora, con una reducción de 0.30, pasando de 2.98 a 2.68 y en el caso del MTBF se logró un incremento en el tiempo entre cada reparación de 29.67 hacia 46.12, esto significa como conclusión que la gestión de mantenimiento mejora la disponibilidad de las máquinas en una empresa de alquiler de maquinaria pesada.

Ruiz y Munive (2022), en su investigación «Maintenance model to increase the availability of CNC machines, through lean and TPM tools, in SME in the metalworking sector», teniendo como problema la importancia que constituyen las operaciones en el área de corte en la industria metalmeccánica; por lo tanto, el **objetivo** fue alcanzar la mayor disponibilidad de las máquinas de corte (CNC) proponiendo un modelo de mejora mediante la aplicación de herramientas de *Lean Manufacturing* como SMED, metodología 5S, TPM, y un plan de mantenimiento. Se aplicó una **metodología** descriptiva, con enfoque cuantitativo y diseño experimental. Como **resultado**, se logró aumentar en un 6.45 % la disponibilidad de la máquina de corte, además de disminuir el tiempo de configuración de 15.71 a 13.25 minutos, reduciendo el número de fallas de las máquinas. Se **concluyó** que, las PYME del sector metalmeccánico pueden incrementar su producción y, por tanto, generar un mayor beneficio económico mediante la aplicación de herramientas de *Lean Manufacturing*.

Fernández y Neyra (8), en el estudio «Gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de las máquinas de la empresa Road Solutions E. I. R. L. – 2020», tuvieron como problema el paro y fallo de sus maquinarias debido a mantenimiento o reparación a largo plazo, por lo que alquilan a terceros para cumplir con sus servicios; presentó como **objetivo** que Road Solutions E. I. R. L. supervise el mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la maquinaria y los equipos. La **metodología** fue descriptiva, haciendo uso de la observación y entrevistas. Como **resultados** se procesaron mediante tablas y gráficos que permitieron identificar la condición actual del mantenimiento preventivo de las máquinas, en donde se obtuvo una disponibilidad actual de 97,42 % siendo el cargador frontal, el volquete y la retroexcavadora las máquinas que presentan la menor disponibilidad; siendo este de 93,93 %; 93,97 % y 95,12 %, respectivamente. Se realizó el cálculo de los indicadores de mantenimiento,

estableciendo una herramienta que pueda utilizarse para realizar el seguimiento del rendimiento operacional de la maquinaria propia. **Concluyendo** que un plan de mantenimiento preventivo abarca procedimientos, recursos y designación de actividades, que permitió un aumento de 1.59 % de disponibilidad de las máquinas luego de la reducción de fallas.

Coro y Cotrina (22), realizaron el estudio «Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo en la empresa W&J Minería y Construcción S. A. C.», cuyo problema principal fue incurrir en costos elevados para un mantenimiento correctivo y pérdidas por el tiempo perdido por el paro de sus equipos fallados, donde diseñaron un sistema de gestión del mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de los equipos de carga y acarreo en W&J Minera y Construcción S. A. C. Utilizando una técnica aplicada, explicativa y preexperimental. En consecuencia, se han determinado las máquinas con mayor tiempo entre fallas, las cuales fueron la retroexcavadora JCB (49,63 horas/falla), la excavadora JCB (52.63 horas/falla) y el volquete de 18 cubos (65.51 horas/falla). Se recopiló el papeleo necesario para el mantenimiento preventivo, incluidas las hojas de inspección, los registros y las solicitudes de reparación. Se determinó que el uso del sistema de gestión puede mejorar las horas de trabajo por falla de los siguientes equipos como la retroexcavadora JCB en unas horas/falla, la excavadora JCB en unas 72,62 horas /falla, el volquete de 18 cubos en un 85,51 horas/falla.

Canahua (23), en su artículo «Implementación de la metodología TPM – *Lean Manufacturing* para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica», determinó como principal problema los bajos valores de eficiencia general de los equipos (OEE), que conllevan un desaprovechamiento de la demanda que va en aumento; de esta manera, el **objetivo** del estudio fue incrementar el valor de OEE usando la metodología TPM – *Lean Manufacturing*. El **marco metodológico** del estudio fue de enfoque cuantitativo con profundidad de análisis descriptivo y diseño preexperimental. El **resultado** inicial del valor del OEE en la empresa fue de 32.86 %, logrando aumentar a un porcentaje de 85.58 % mediante la aplicación de TPM. En **conclusión**, la aplicación de TPM – *Lean Manufacturing* es factible para empresas PYME del sector manufactura a bajos costos.

Muñoz (1), realizó la investigación «Propuesta de aplicación de indicadores de gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos de una empresa constructora» y los problemas que presentó fue la no realización del mantenimiento preventivo originando que las maquinarias se dañen frecuentemente, además no contaron con una planificación para llevar un control de las actividades de mantenimiento. Llevándolo a

plantearse como propósito principal, desarrollar un plan de implementación de indicadores de gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos en una empresa de construcción. La técnica empleada fue descriptiva, de diagnóstico y proactiva. Como consecuencia, se determinó que la disponibilidad actual de los equipos es del 65 % y que se han detectado deficiencias en el mantenimiento preventivo, así como, una inadecuada formación de los trabajadores en el manejo de la maquinaria. A partir de estas conclusiones, se elaboró una propuesta de gestión del mantenimiento. La ejecución de una mejora elevaría la capacidad de la planta del 45 % al 90 %, y el indicador de disponibilidad de la maquinaria ha subido al 92 %, lo que indica que el gasto del proyecto puede devolverse en un corto periodo de tiempo.

Finalmente, Pareja (24) realizó el estudio «Propuesta para la mejora de la gestión de mantenimiento de una empresa de curtido de pieles – Arequipa, 2019», teniendo como problema una deficiente gestión de mantenimiento de los equipos por fallas provocando constantes paradas, porque se planteó identificar mejoras en el proceso de mantenimiento y proponer un modelo de gestión de mantenimiento con el fin de optimizar los procesos del área. Es por lo que hizo uso de una metodología cuantitativa, descriptiva y no experimental. Los resultados revelaron por medio de un diagnóstico las excesivas paradas de la producción por falta de mantenimiento, asimismo, se identificó una inadecuada gestión y mala operación de mantenimiento, logrando diseñar un modelo de gestión donde se consigue planificar y disminuir las falencias de mantenimiento y de las paradas, incrementando su confiabilidad (MTBF) de 24 horas, donde se pasó a reducir costos anuales asociados a dicho problema en S/ 267 219.60; incrementando la disponibilidad de las máquinas en un 90 %.

2.2. Base teórica

2.2.1. Teorías relacionadas

2.2.1.1. Gestión de mantenimiento

Cuando se habla de mantenimiento, se refiere a las distintas acciones que engloban a preservar un equipo, máquina o repararlo con la finalidad de que siga cumpliendo con su función dentro de una empresa. Esta función de mantenimiento es esencial, por lo que se le asigna a un personal requerido. En ese sentido, se expone de cuatro generaciones según la historia por las cuales ha pasado el mantenimiento, la primera generación se caracterizó por acciones de mantenimiento netamente correctivo y estuvo presente hasta 1950, la segunda, habla netamente de la aparición de un mantenimiento netamente preventivo, abarcando desde 1950 hasta 1980; mientras que la tercera generación estuvo marcada por la aplicación de un mantenimiento predictivo; es decir, por monitoreos de condiciones, durando desde 1980 hasta el 2000 y finalmente en el siglo XXI se presentó la cuarta generación abarcando el

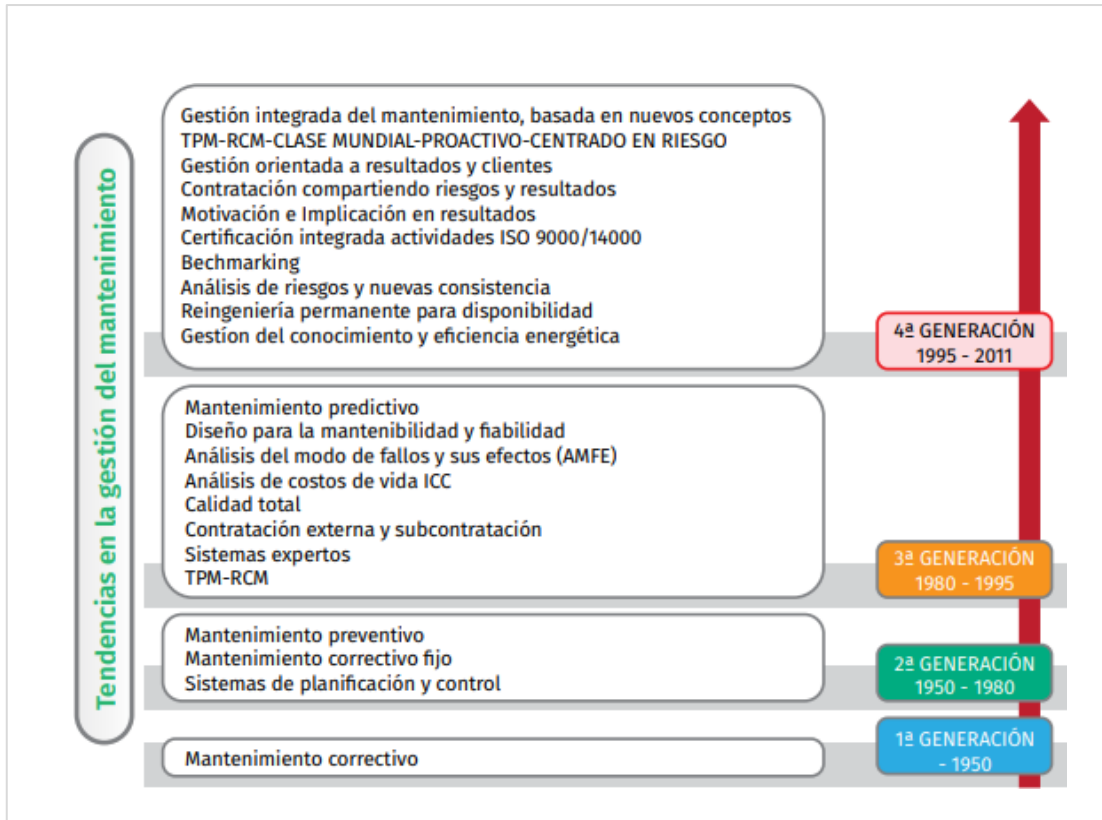
mantenimiento de manera integral, siendo productivo, quien se centra en riesgos y en confiabilidad, enfocándose en resultados (25).

Sin embargo, al hablar de gestión, también se puede hablar de programa de mantenimiento, puesto que precede a la aplicación. Cuando el programa de mantenimiento se lleva a cabo de una forma correcta, se puede obtener una mejora de la productividad en cuanto a costos, plazos y calidad. Es importante que se deba tener en cuenta el presupuesto y tiempo destinados para los procesos de mantenimiento, porque se debe plantear las acciones dentro de los límites de la empresa (26).

La gestión del mantenimiento es un proceso considerado por las organizaciones para poder mantener las maquinarias, equipos, e instalaciones funcionando según lo previsto en la planificación de la planta o empresa, garantizando siempre la continuidad de la producción. Es decir, es considerada como una función obligatoria e inherente de los procesos industriales, debido a que establece la relación entre el desarrollo de las tareas y la interacción permanente de la maquinaria con los operarios (2).

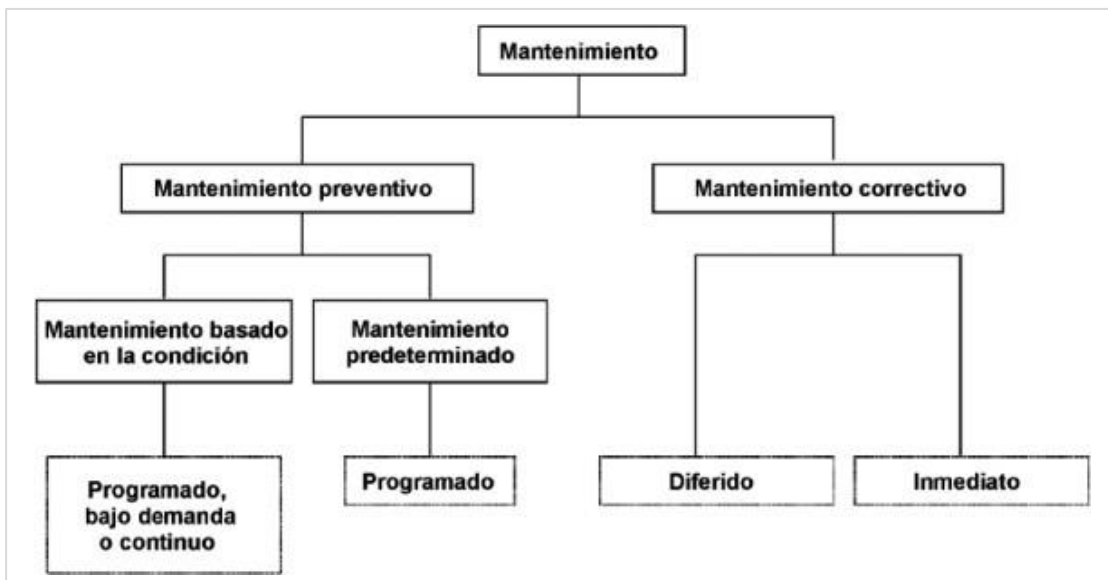
Se considera una óptima gestión de mantenimiento cuando se estructura un plan integral de trabajo, en donde se establecen todos los aspectos, factores y procesos que son tomados en cuenta para realizar todas las fases a fin de cumplir con los objetivos de mantenimiento dentro de la empresa. Estas se dirigen principalmente a la capacitación de personal con fines específicos dependiendo del contexto de cada organización, pueden ser mecánicos o eléctricos y afines, todo el personal asignado debe ser capaz de solventar fallas y paradas imprevistas. Además, se debe establecer la ruta de trazabilidad del proceso y registrar las hojas de vida de las máquinas hasta lograr una organización táctica. Finalmente, la supervisión permanente debe enfocarse en controlar y manejar variables y datos generados enfocados a una máquina para explotación de estos factores productivos (27).

Entonces, ante lo mencionado, se muestra en la figura 1 las tendencias de la gestión del mantenimiento, es decir, el proceso de las cuatro generaciones antes mencionadas.



*Figura 1. Tendencias de la gestión del mantenimiento
Tomada de «Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial» (9)*

Además, se presenta la figura 2, que demuestra la clasificación general de mantenimiento (28).



*Figura 2. Clasificación general del mantenimiento
Tomada de «Evolución histórica del mantenimiento industrial en relación a la gestión del conocimiento» (28)*

En ese sentido, se pasa a definir cada uno de los tipos.

2.2.1.2. Mantenimiento preventivo

Se considera al mantenimiento preventivo el conjunto de tareas y acciones que pueden ser anticipadas y previstas con un periodo de anticipación suficiente. De esta manera, se puede planificar o programar las actividades correctamente en forma y a tiempo. Este tipo de mantenimiento hace uso de los medios disponibles que permitan prever, tal como los estadísticos, para poder establecer la frecuencia de inspecciones, revisiones, cambio de piezas, posibles averías, el tiempo de vida útil, entre otras (2).

Hace referencia a una parte esencial de los procesos productivos que busca prevenir y minimizar fallas del desarrollo de las industrias. Lo cual permite identificar las averías de los sistemas propios de la producción y son reflejados en costos e ingresos. Es indispensable la gestión de mantenimiento con base en los procesos industriales (29).

Además, el mantenimiento preventivo corresponde a la secuencia de tareas planeadas para afrontar el origen de las fallas posibles de los activos. Este proceso permite planear y programar basado en el uso, el tiempo o el estado del equipo (30).

2.2.1.3. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo sirve de herramienta de ayuda para la prestación de servicios de la empresa, puesto que permite establecer mejoras en cuanto a eficacia y eficiencia de todas las actividades en general, por lo que se puede garantizar la continuidad del uso de las instalaciones y maquinaria en el tiempo de producción y al mismo tiempo aseguren su sostenibilidad (11).

Además, se considera a este tipo de mantenimiento como las tareas necesarias para poder realizar reparaciones o cambios en un momento de emergencia de las instalaciones o maquinarias cuando se ve afectada las funciones de un equipo o de algún sistema, ya sea que el origen de la falla de equipos sea generado por operarios o por la misma máquina. Sin embargo, se pueden mencionar algunas desventajas como producción detenida debido a daños imprevisibles, por lo tanto, el tiempo del mantenimiento correctivo puede afectar de manera significativa la planificación de la producción, reparaciones de baja calidad debido a la premura de la intervención, y se puede crear el hábito de reponer algo en lugar de repararlo de forma definitiva generando posibles reparaciones futuras, una vez que se crea esa costumbre suele ser complicado para la empresa detener la producción y realizar una pausa más larga para la corrección adecuada (2).

2.2.1.4. Disponibilidad de maquinaria

Al llevar a cabo la gestión de mantenimiento es importante señalar cuál es la disponibilidad de línea y, en consecuencia, de la maquinaria. Se hace referencia a identificar cuáles son las máquinas que son significativas o críticas con el fin de determinar el indicador de disponibilidad de cada una de ellas y, posteriormente, obtener un promedio general de toda la línea de producción, este índice posibilitará la reducción de tiempo y costos de análisis para optimizar los ingresos (8).

Por otro lado, el objetivo principal del mantenimiento es mantener el máximo grado de disponibilidad de las máquinas en el contexto de la organización. Es la garantía de que un equipo que ha recibido mantenimiento funcionará correctamente en un plazo determinado. En términos prácticos, la disponibilidad se mide por la proporción de tiempo que un sistema, equipo o máquina está operativo o listo para producir. Se sugiere que, mientras una empresa se encuentra en la fase de diseño, el propósito sea lograr un equilibrio entre el coste y la disponibilidad, en función de la naturaleza de los requisitos del sistema, al tiempo que se busca constantemente reducir el coste global del ciclo de vida (31)

$$Disponibilidad = \frac{\text{Tiempo promedio en fallas (TMF)}}{\text{TMF} + \text{Tiempo promedio de mtto (TMR)}} * 100 \dots \dots (1)$$

2.2.1.5. Análisis de criticidad

Hace referencia al más complejo análisis con el fin de identificar el impacto de la falta de un equipo y cómo éste podría tener un efecto en su instalación. Asimismo, trata de identificar la afectación de dichas fallas en los procesos y la producción y el lugar (32).

2.2.1.6. Fiabilidad

Se entiende por fiabilidad a la probabilidad que existe durante un periodo de tiempo, en específico, de una máquina respectiva, es decir, que el equipo o instalaciones pueden cumplir su función o actividad en las condiciones de funcionamiento óptimo o sin avería (33).

Además, para poder establecer la fiabilidad se debe determinar cuáles son los criterios que en su conjunto se puede denominar un funcionamiento óptimo, se consideran una mezcla de factores cualitativos y cuantitativos que definen las funciones y tareas que el equipo o maquinaria debe cumplir. La definición de este funcionamiento óptimo debe considerar un porcentaje de admisibilidad para indicar el límite de cuándo inicia a fallar (34). Se puede calcular el índice de la siguiente manera:

$$\text{T tiempo medio entre fallas (TMF)} = \frac{\text{Horas de operación}}{\text{Número de fallas detectadas}} \dots \dots (2)$$

2.2.1.7. Mantenibilidad

Otro indicador de la disponibilidad es la mantenibilidad, la cual se entiende como la probabilidad de una máquina, luego de que un defecto o falla identificado sea puesto en estado de funcionamiento en un tiempo determinado. Una medida de la mantenibilidad es el tiempo medio de reparación y se conoce por las siglas TPR (33).

Este indicador se refiere al «tiempo fuera de servicio» después de un fallo. En sus siglas en inglés se conoce el indicador DT: *Down time*. Este tiempo fuera del servicio incluye el tiempo de reparación sumado a otro tiempo para la reparación de la actividad después del fallo, dentro de ello se pueden considerar tiempos de movilización, diagnóstico, logística, entre otros (34). Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{T tiempo medio de reparación (TMR)} = \frac{\text{T tiempo total de fallas}}{\text{Número de fallas detectadas}} \dots \dots (3)$$

Disponibilidad de maquinaria

Se hace referencia a identificar cuáles son las máquinas que son significativas o críticas con el fin de determinar el indicador de disponibilidad de cada una de ellas y posteriormente obtener un promedio general de toda la línea de producción, este índice permitirá la reducción de tiempo y costos de análisis para optimizar los ingresos (8).

Por otro lado, el objetivo principal del mantenimiento es mantener el máximo grado de disponibilidad de las máquinas en el contexto de la organización. Es la garantía de que un equipo que ha recibido mantenimiento funcionará correctamente en un plazo determinado. A nivel práctico, la disponibilidad se mide por la cantidad de tiempo que un sistema, equipo o máquina se encuentra operativo o listo para producir. Se sugiere que, mientras una empresa se encuentra en la fase de diseño, el propósito sea lograr un equilibrio entre el coste y la disponibilidad, en función de la naturaleza de los requisitos del sistema, al tiempo que se busca constantemente reducir el coste global del ciclo de vida (31).

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{T tiempo promedio en fallas (TMF)}}{\text{TMF} + \text{T tiempo promedio de mtto (TMR)}} * 100 \dots \dots (1)$$

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

El método del estudio fue deductivo, ya que, la información recopilada permitió dar a conocer los diferentes problemas de las fallas de las maquinarias, la disponibilidad que mantienen y el proceso de mantenimiento que desarrollan para posteriormente tomar las mejores decisiones de solución, considerando investigaciones realizadas; estando de acuerdo con lo mencionado por Romero et al. (35), quienes indican que el método deductivo es aquel que está basado en la investigación a partir de teorías concretas en un ámbito generalizado, para alcanzar hechos concretos en un ámbito específico.

El tipo de investigación fue aplicada, acorde con lo que indican Hadi et al. (36), quienes definen este tipo de investigación como aquel en el que se plantean soluciones con el fin de dar respuesta a un problema presente dentro del contexto actual, asimismo, emplea diversos métodos para llegar a una conclusión asertiva. En ese sentido, se dio a conocer sobre la disponibilidad de las maquinarias de la empresa MAQTRACK, para posteriormente establecer una solución de mejora orientada en el proceso de gestión de mantenimiento.

El enfoque fue cuantitativo, es un tipo de investigación que se enfoca en obtener resultados cuantitativos, es decir, la información que se obtiene de la investigación deben ser valor medibles con la finalidad de ser comparados mediante gráficas elaboradas (37); por tal razón se emplea este enfoque, puesto que se recopiló información numérica sobre las fallas históricas, el tiempo medio entre fallas, el tiempo medio de reparación y la disponibilidad de las maquinarias de la empresa MAQTRACK SAC.

El alcance fue explicativo, puesto que se detallaron las maquinarias que más fallas presentaron durante el desarrollo de sus actividades en la empresa en estudio, para posteriormente especificar una gestión de mantenimiento; de acuerdo con la definición dada por Hadi et al. (36), en este alcance de investigación se emplean diferentes técnicas de recolección de datos como fuente de información, lo que permite una mejor comprensión del fenómeno estudiado y finaliza con una teoría específica.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es preexperimental, el cual está enfocado en comprobar el efecto de la aplicación de un tratamiento determinado a un objeto específico, evaluando la mejora de las variables planteadas (35). En este estudio se evaluó la disponibilidad de la maquinaria antes y después de la implementación de una mejora del proceso de gestión de mantenimiento. Para evaluar la efectividad de la mejora del proceso de gestión de mantenimiento, se determinó la disponibilidad de la maquinaria tanto antes como después de la implementación de la mejora del proceso de gestión de mantenimiento.

3.3. Población y muestra

Según Hadi et al. (36), la «población» es el término definido como el total de elementos en conjunto que pertenece al objeto de estudio en una investigación, son aquellos elementos de los cuales se obtiene la información prescindible para los resultados; mientras tanto, la «muestra», es el término que se refiere al subgrupo perteneciente a la población, que debe ser representativo; los elementos que pertenecen tanto a la muestra como a la población deben compartir características comunes; asimismo, cuando la población tiene una cantidad de elementos menor o igual a 50 unidades, la muestra es igual a la población.

En ese sentido, la población estuvo conformada por 9 máquinas Caterpillar que hacen parte de la flota de la empresa MAQTRACK SAC.

Tabla 2. Máquinas de la empresa

N.º	Nombre de las maquinarias	Modelo	Serie
1	Motoniveladora	140K	JPA00564
2	Cargador Frontal	950H	M1G01436
3	Excavadora	320D	TPM00596
4	Tractor Orugas	D6T	SMC01822
5	Cargador Frontal	938H	JKM01614
6	Motoniveladora	120H	ALZ00243
7	Rodillo Compactador	CS-533E	BZE02614
8	Minicargador	246	5SZ00425
9	Excavadora	330D	JLP01357

Posteriormente, a la población señalada se estableció un tipo de muestreo no probabilístico convencional, donde la muestra del estudio fue elegida de manera conveniente. Por lo tanto, la muestra estuvo compuesta por las 9 máquinas Caterpillar que hacen parte de la flota de la empresa MAQTRACK SAC.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados, se determinaron las técnicas empleadas para recolectar los datos analizables de la presente investigación, los que se detallan a continuación:

Observación directa: visitas a la empresa MAQTRACK SAC para la recolección de datos y verificación de base de datos

Análisis documental: la técnica en mención se empleó con el objetivo de recopilar datos históricos y actuales de una variable determinada en un tiempo específico. En el presente estudio, se aplicó durante el periodo de agosto a diciembre del 2022, en el que se identificó la disponibilidad de las máquinas antes de la aplicación del sistema; y durante el periodo de enero a junio del 2023, en el que se determinó la disponibilidad de las máquinas al aplicar el sistema de mantenimiento preventivo propuesto con relación a los resultados iniciales de la investigación.

Análisis de criticidad: esta técnica es planteada por Blanco et al. (38), la cual permite determinar el nivel de criticidad de las máquinas, al evaluar ciertos factores como la frecuencia de fallos (FF), el impacto operacional (IO), la flexibilidad operacional (FO), los costos de mantenimiento (CM) y la seguridad, higiene y ambiente (SHA); otorgando ciertos puntajes según el procedimiento establecido en el anexo 9.

Instrumentos

Ficha técnica de maquinaria pesada, que demuestran las características y componentes esenciales respecto a las maquinarias con mayor tiempo medio entre fallas.

Con el soporte de la estadística se recopilaron, organizaron e interpretaron los datos a fin de tener una mayor claridad y conocimiento. Las representaciones gráficas de los datos estadísticos se usaron para destacar las características más relevantes de la investigación a fin de que sean más comprensibles.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Identificar las máquinas que presentan mayor tiempo de paradas por falta de mantenimiento en la empresa MAQTRACK SAC

Para determinar las máquinas que evidencian un mayor tiempo de paradas o fallas a causa de una falta de mantenimiento, se ha considerado la información histórica de estas respecto al desarrollo de sus operaciones en la empresa durante el 2022 (anexos 7 y 8). En efecto, en la tabla 3, mediante la aplicación de la fórmula (2) referente a la fiabilidad, se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 3. Tiempo medio entre fallas

Meses / año	N.º	Nombre de la maquinaria	Horas que trabajó al mes	Número de fallas	Tiempo medio entre fallas (horas /falta)
Agosto-diciembre / 22	1	Motoniveladora 140K JPA00564	240	3	80
Agosto-diciembre / 22	2	Cargador frontal 950H M1G01436	240	5	48
Agosto-diciembre / 22	3	Excavadora 320D TPM00596	240	4	60
Agosto-diciembre / 22	4	Tractor orugas D6T SMC01822	240	4	60
Agosto-diciembre / 22	5	Cargador frontal 938H JKM01614	200	5	40
Agosto-diciembre / 22	6	Motoniveladora 120H ALZ00243	200	5	40
Agosto-diciembre / 22	7	Rodillo compactador CS- 533E BZE02614	200	4	50
Agosto-diciembre / 22	8	Minicargador 246 5SZ00425	160	3	53
Agosto-diciembre / 22	9	Excavadora 330D JLP01357	240	4	60
	Total		1960	37	53

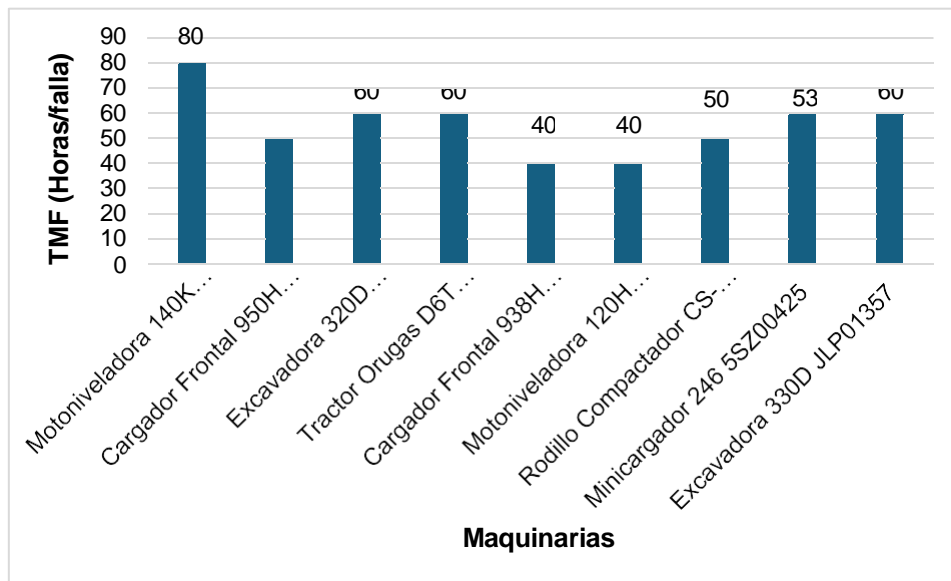


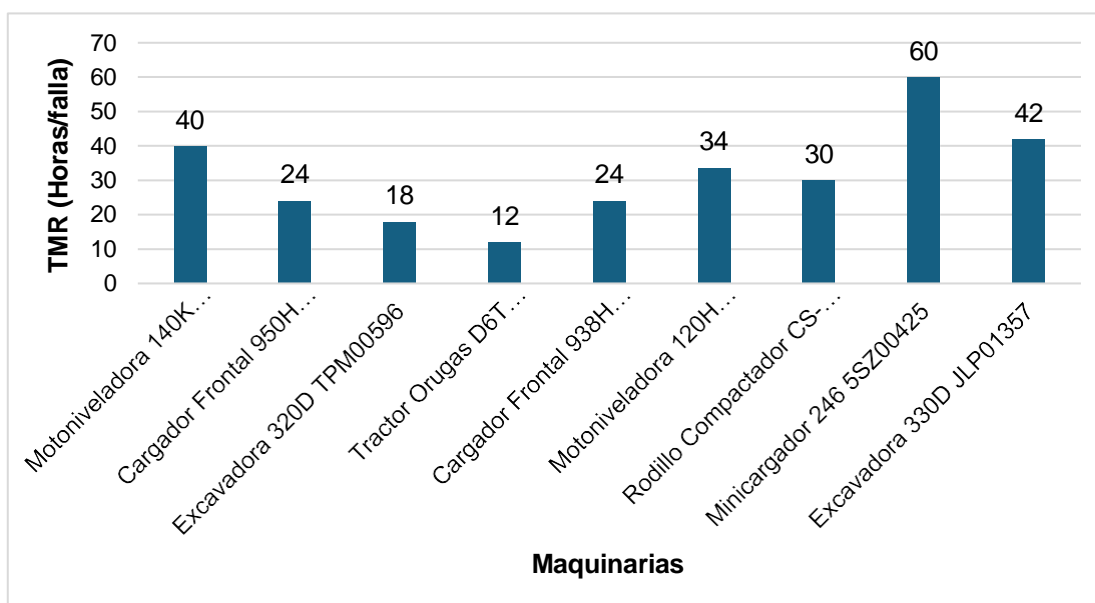
Figura 3. Tiempo medio entre fallas de las máquinas

Luego de obtener los resultados en la tabla 3, se puede visualizar en la figura 3, que las máquinas con mayor tiempo medio entre fallas son la motoniveladora 140K JPA00564, la excavadora 320D TPM00596, el tractor orugas D6T SMC01822 y la excavadora 330D JLP01357, siendo la primera de 80 horas/falla y las tres últimas de 60 horas/falla durante agosto a diciembre del 2022.

Posteriormente, al cálculo de la fiabilidad de las máquinas, se calculó el tiempo medio de reparación de fallas mediante la empleabilidad de la fórmula (3) orientada al proceso de mantenimiento, como se puede visualizar en la tabla 4.

Tabla 4. Tiempo medio de reparación de fallas

Meses	N.º	Nombre de la maquinaria	Horas de reparación por averías	Número de fallas	Tiempo medio de reparación (horas /falla)
Agosto-diciembre / 22	1	Motoniveladora 140K JPA00564	120	3	40
Agosto-diciembre / 22	2	Cargador frontal 950H M1G01436	120	5	24
Agosto-diciembre / 22	3	Excavadora 320D TPM00596	72	4	18
Agosto-diciembre / 22	4	Tractor orugas D6T SMC01822	48	4	12
Agosto-diciembre / 22	5	Cargador frontal 938H JKM01614	120	5	24
Agosto-diciembre / 22	6	Motoniveladora 120H ALZ00243	168	5	34
Agosto-diciembre / 22	7	Rodillo Compactador CS-533E BZE02614	120	4	30
Agosto-diciembre / 22	8	Minicargador 246 5SZ00425	120	2	60
Agosto-diciembre / 22	9	Excavadora 330D JLP01357	168	4	42
	Total		1056	36	29

**Figura 4. Tiempo medio de reparación de las máquinas**

Respecto a los resultados obtenidos en la tabla 4, se puede evidenciar en la figura 4 que las máquinas con mayor tiempo medio de reparación durante agosto a diciembre del 2022 fueron el minicargador 246 5SZ00425, la motoniveladora 140K JPA00564, la excavadora 330D JLP01357 y la motoniveladora 120H ALZ00243 con 60, 42, 40 y 34 horas/falla.

4.1.2. Estimar disponibilidad actual de las máquinas de la empresa en la empresa MAQTRACK SAC

Después de realizar los cálculos respectivos con base en los tiempos medio entre fallas (TMF) y tiempos medio de reparación (TMR), por medio de los resultados obtenidos en ambos, se realizó la estimación de la disponibilidad actual de las máquinas, tal cual se puede visualizar en la tabla 5, para ello se aplicó la fórmula (1), tal como se muestra a continuación:

1. Motoniveladora 140K JPA00564

$$Disponibilidad = \frac{80}{80 + 40} * 100 = 67 \%$$

2. Cargador frontal 950H M1G01436

$$Disponibilidad = \frac{40}{40 + 24} * 100 = 62 \%$$

3. Excavadora 320D TPM00596

$$Disponibilidad = \frac{60}{60 + 18} * 100 = 77 \%$$

4. Tractor orugas D6T SMC01822

$$Disponibilidad = \frac{60}{60 + 12} * 100 = 83 \%$$

5. Cargador frontal 938H JKM01614

$$Disponibilidad = \frac{40}{40 + 24} * 100 = 62 \%$$

6. Motoniveladora 120H ALZ00243

$$Disponibilidad = \frac{40}{40 + 34} * 100 = 54 \%$$

7. Rodillo compactador CS-533E BZE02614

$$\text{Disponibilidad} = \frac{50}{50 + 30} * 100 = 63 \%$$

8. Minicargador 246 5SZ00425

$$\text{Disponibilidad} = \frac{80}{80 + 60} * 100 = 57 \%$$

9. Excavadora 330D JLP01357

$$\text{Disponibilidad} = \frac{60}{60 + 42} * 100 = 59 \%$$

Tabla 5. Disponibilidad de las maquinarias de la empresa

Meses	N.º	Nombre de la maquinaria	Tiempo medio entre fallas (horas /falla)	Tiempo medio de reparación (horas /falla)	Disponibilidad %
Agosto-diciembre / 22	1	Motoniveladora 140K JPA00564	80	40	67
Agosto-diciembre / 22	2	Cargador frontal 950H M1G01436	48	24	67
Agosto-diciembre / 22	3	Excavadora 320D TPM00596	60	18	77
Agosto-diciembre / 22	4	Tractor orugas D6T SMC01822	60	12	83
Agosto-diciembre / 22	5	Cargador frontal 938H JKM01614	40	24	63
Agosto-diciembre / 22	6	Motoniveladora 120H ALZ00243	40	34	54
Agosto-diciembre / 22	7	Rodillo compactador CS-533E BZE02614	50	30	63
Agosto-diciembre / 22	8	Minicargador 246 5SZ00425	80	60	57
Agosto-diciembre / 22	9	Excavadora 330D JLP01357	60	42	59
	Total		54	29	65

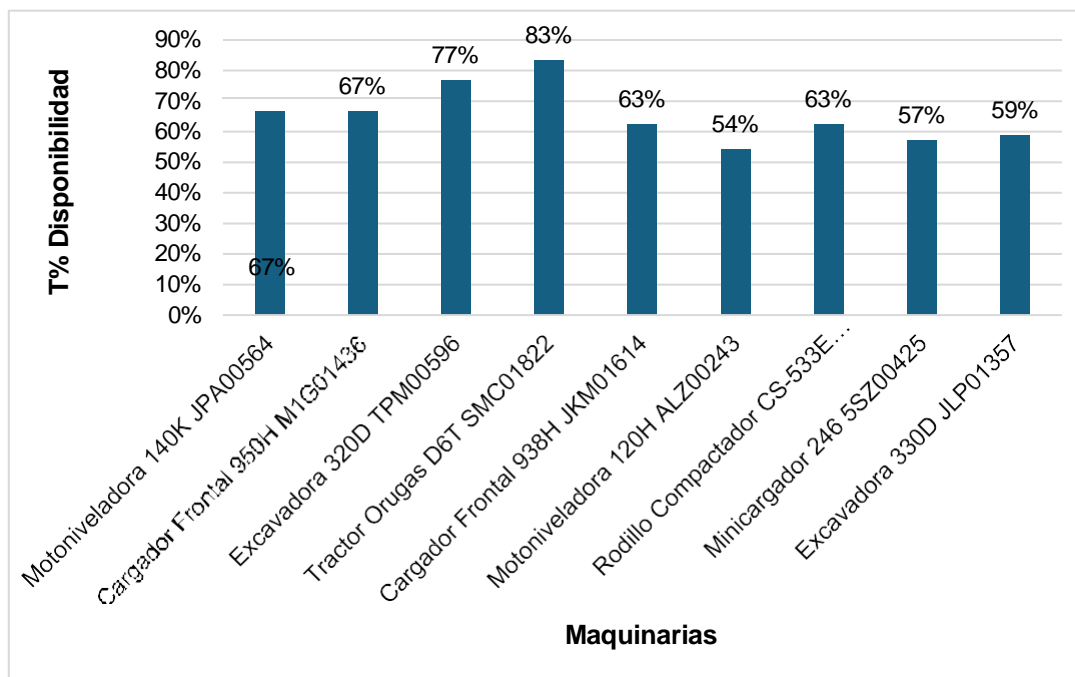


Figura 5. Disponibilidad de las máquinas

Con respecto a los resultados vistos en la tabla 5 y la figura 5, se determinó que la disponibilidad de las máquinas de la empresa durante el 2022 se encontró en un promedio general del 65 %, que no es muy favorable para la empresa, pero mediante un plan de mantenimiento podría alcanzar un mayor porcentaje de su disponibilidad en el transcurso de los meses y demás años.

4.1.3. Diseñar un sistema de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de la maquinaria

- Aspectos para el área de mantenimiento**

Para diseñar un sistema o un plan de mantenimiento preventivo que permita aumentar la disponibilidad de las máquinas de la empresa, se deben tener en cuenta tres aspectos importantes:

Tabla 6. Plan de mantenimiento preventivo

Herramientas esenciales	Área de mantenimiento	
	Charlas o capacitaciones	Apoyo externo
Destornilladores: plano, estrella, entre otros.	Capacitar a los operarios de mantenimiento en cada tarea que se realiza.	Ante la falta de alguna herramienta.
Alicates	Simular soluciones de mantenimiento ante una falla de las máquinas.	Frente al desconocimiento del problema.
Llaves de corona y cola	Capacitar sobre la organización de las herramientas necesarias por emplear de forma básica.	Contar con una lista de técnicos disponibles para un llamado de emergencia para reducir paradas innecesarias.
Linternas		
Repuestos		

- **Fichas técnicas de maquinarias**

Posteriormente, a los aspectos visualizados se tomó en consideración un análisis y elaboración de fichas técnicas que demuestran las características y componentes esenciales respecto a las maquinarias con mayor tiempo medio entre fallas las cuales son la motoniveladora 140K, la excavadora 320D, el tractor orugas y la excavadora 330D, quienes tienen una influencia en la disponibilidad global de las maquinarias, por lo tanto, estas fichas permiten contar con un mejor mantenimiento preventivo.

FICHA TÉCNICA DE MÁQUINA



NOMBRE	Motoniveladora	ELABORADO POR	Gary Herrera
MODELO	140K JPA00564		Ruiz
MARCA	Caterpillar	FECHA	17/06/2023
UBICACIÓN	Huancayo / Junin	FECHA DE ULTIMO MANTENIMIENTO	15/01/2023
FECHA DE ADQUISIÓN:	02/06/2018		

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

PESO	17.27 T	POTENCIA	128 Kw
LARGO	8.5 m	CAPACIDAD	
ALTURA	3.35	ANCHO	2.48 m

FUNCIONALIDAD

La motoniveladora hace trabajos de corte y levantamiento de la tierra para que pueda ser reemplazada en la misma zona, dándole forma, nivelándola, y dándole un perfil deseado diferente. Esto lo logra mediante una hoja topadora que tiene movimientos de rotación horizontal y de elevación vertical. La máquina se emplea en la construcción de carreteras, la nivelación de terrenos agrícolas, la construcción de canales y taludes de tierra y, en general, la limpieza de terrenos y suelos

MÁQUINARIA



Figura 6. Ficha técnica de motoniveladora

FICHA TÉCNICA DE MÁQUINA			
NOMBRE	Excavadora	ELABORADO POR	Gary Herrera Ruiz
MODELO	320D TPM00596		
MARCA	Caterpillar	FECHA	17/06/2023
UBICACIÓN	Jauja / Junin	FECHA DE ULTIMO MANTENIMIENTO	5/03/2023
FECHA DE ADQUISIÓN:	6/04/2019		
CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES			
PESO	21.5 t	POTENCIA	103 Kw
LARGO	8.96 m	CAPACIDAD	1 m3
ALTURA	3.12 m	ANCHO	2.98 m
FUNCIONALIDAD		MÁQUINARIA	
<p>La maquina sirve para la excavación de superficies de tierra u otro material, la carga y la elevación de materiales o escombros asi como su descarga. Los movimientos son realizados por el operador en una cabina que tiene la funcionalidad de girar en 360°. Este equipo es util para desempeñarse en áreas de minería o construcción.</p>			

Figura 7. Ficha técnica de excavadora



Figura 8. Ficha técnica de tractor orugas

FICHA TÉCNICA DE MÁQUINA			
NOMBRE	EXCAVADORA	ELABORADO POR	Gary Herrera Ruiz
MODELO	330D JLP01357		
MARCA	Caterpillar	FECHA	17/06/2023
UBICACIÓN	Jauja	FECHA DE ULTIMO MANTENIMIENTO	5/03/2023
FECHA DE ADQUISIÓN:	3/04/2019		
CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES			
PESO	35.3 t	POTENCIA	200 Kw
LARGO	11.21 m	CAPACIDAD	2.07 m3
ALTURA	3.34	ANCHO	3.54 m
FUNCIONALIDAD		MÁQUINARIA	
<p>La maquina sirve para la excavación de superficies de tierra u otro material, la carga y la elevación de materiales o escombros asi como su descarga. Los movimientos son realizados por el operador en una cabina que tiene la funcionalidad de girar en 360°. Este equipo es util para desempeñarse en áreas de minería o construcción.</p>			

Figura 9. Ficha técnica de excavadora 330D

- **Codificado de maquinarias**

Tras examinar minuciosamente las especificaciones técnicas de algunas de las máquinas, las cuales tienen un impacto significativo en la disponibilidad total de todas las maquinarias, se procedió a seleccionar entre una de las codificaciones existentes:

- Codificación alfanumérica: se basa en el otorgamiento de un número relacionado a cada máquina, pero que no brinda una información complementaria, ya que solamente ayuda a localizar la máquina.
- Codificación numérica: se orienta en aportar información esencial de la máquina, como, por ejemplo, su área de trabajo.

Por lo tanto, como la empresa MAQTRACK solamente cuenta con 9 maquinarias, se consideró la codificación alfanumérica, tal cual se visualiza en la tabla 7 y figura 10.

Tabla 7. Abreviatura de las máquinas de la empresa

Abreviatura	Máquina	Código
MO	Motoniveladora 140K JPA00564	1
CA	Cargador frontal 950H M1G01436	2
EX	Excavadora 320D TPM00596	3
TR	Tractor orugas D6T SMC01822	4
CAR	Cargador frontal 938H JKM01614	5
MOT	Motoniveladora 120H ALZ00243	6
RO	Rodillo compactador CS-533E BZE02614	7
MI	Minicargador 246 5SZ00425	8
EXC	Excavadora 330D JLP01357	9

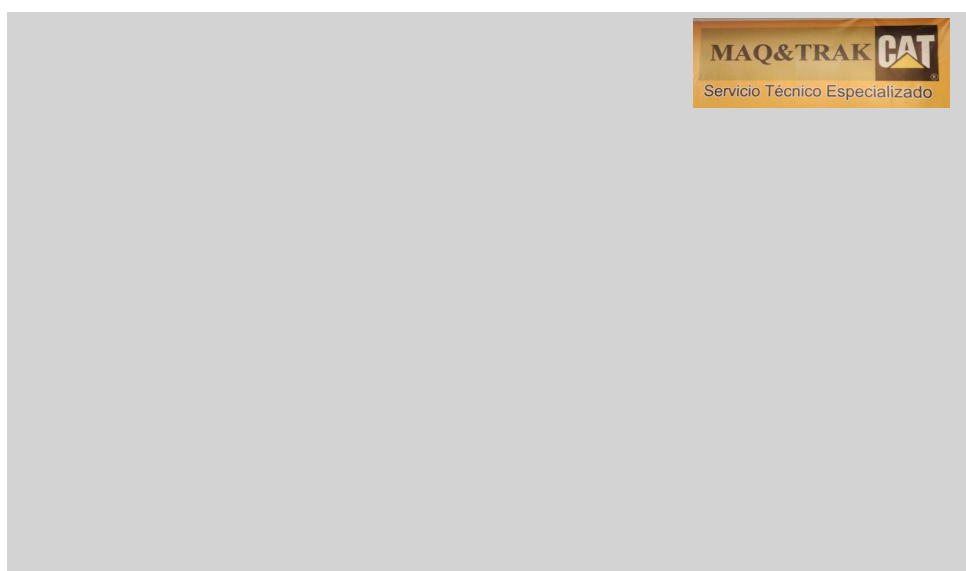


Figura 10. Codificación de máquinas de la empresa

- **Análisis de criticidad de máquinas**

Con base en una investigación semicuantitativa de la matriz de criticidad por riesgo (CRT) detallada en el anexo 9, se realizó la ponderación de las máquinas de la empresa, tal cual se visualiza en la tabla 8.

Tabla 8. Criticidad de máquinas de la empresa

Máquina	FF	OI	FO	CM	SHA	Consecuencias	CRT
Motoniveladora 140K JPA00564	3	6	3	1	3	22	66
Cargador frontal 950H M1G01436	5	5	2	1	2	13	65
Excavadora 320D TPM00596	4	7	2	1	3	18	72
Tractor orugas D6T SMC01822	4	6	3	1	3	22	88
Cargador frontal 938H JKM01614	5	5	1	1	1	7	35
Motoniveladora 120H ALZ00243	5	3	1	1	1	5	25
Rodillo compactador CS-533E BZE02614	4	5	1	1	1	7	28
Minicargador 246 5SZ00425	2	1	1	1	1	3	6
Excavadora 330D JLP01357	4	4	3	1	3	16	64

Nota: FF: Frecuencia de fallos; OI: Impacto operacional; FO: Flexibilidad operacional; CM: Costos de mantenimiento; SHA: Seguridad, higiene y ambiente.

- **Análisis de la matriz de criticidad**

Luego de los cálculos realizados en la tabla 9, según la matriz del anexo 9, se pudo obtener los siguientes resultados respecto a las máquinas de la empresa.

Tabla 9. Resultados de criticidad de las máquinas

Máquina	FF	Consecuencias	CRT	Tipo
Motoniveladora 140K JPA00564	3	22	66	MC
Cargador frontal 950H M1G01436	5	13	65	MC
Excavadora 320D TPM00596	4	18	72	MC
Tractor orugas D6T SMC01822	4	22	88	MC
Cargador frontal 938H JKM01614	5	7	35	MC
Motoniveladora 120H ALZ00243	5	5	25	MC
Rodillo compactador CS-533E BZE02614	4	7	28	MC
Minicargador 246 5SZ00425	2	3	6	NC
Excavadora 330D JLP01357	4	16	64	MC

Tabla 10. Resumen de criticidad de las máquinas

Máquinas	Criticidad	Cantidad
No críticos	NC	1 máquina
Media criticidad	MC	8 máquinas
Críticos	C	0 máquinas

- **Ejecución de mantenimiento preventivo y reordenamiento de los requerimientos necesarios**

Para llevar a cabo un mantenimiento preventivo y en todo caso correctivo de las máquinas, es necesario emplear formatos de inspección que han sido especificados con base en

los de Gutiérrez et al. (13) y Flores (33), con el propósito de reordenar el área de mantenimiento para aumentar la disponibilidad de las maquinarias de la empresa. En consecuencia, se realizaron mensualmente los siguientes requerimientos.

- **Requerimiento de materiales y repuestos**

Este formato incluye información respecto a cada componente que se necesita para llevar a cabo el mantenimiento, porque estará bajo responsabilidad del gestor de compras de la empresa.


N° DE FORMATO REQ.MAT.Y REP.:		MÁQUINA	
		MARCA	
		MODELO	
FECHA DE EMISIÓN			
FECHA DE ENTREGA			
OBSERVACIONES			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD SOLICITADA	CANTIDAD ENTREGADA
SOLICITADO POR		RECIBIDO POR	
ENTREGADO POR			

Figura 11. Formato de materiales y repuestos

- **Requerimiento de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo**

Este requerimiento será empleado respecto a 2 formatos, para realizar la restauración de alguna máquina. Además, el requerimiento se registrará bajo la firma de aceptación del jefe de producción y mantenimiento.

N° DE FORMATO ACTIV. MANT.:		AÑO	
		MES	
		DÍA	
		HORA	
MÁQUINA			
CÓDIGO			
SOLICITADO POR			
AUTORIZADO POR			
DESCRIPCIÓN DE TRABAJO SOLICITADO			
REPORTE			
CAUSA DE LA FALLA			
ACCIONES QUE REALIZAR			
SOLICITADO POR		AUTORIZADO POR	

Figura 12. Formato de trabajo de mantenimiento

En efecto, el orden de trabajo será empleado con la finalidad de otorgar al encargado del mantenimiento un método sistemático y estructurado de las tareas por realizar. Asimismo, el siguiente formato (figura 13) estará bajo la responsabilidad del supervisor de producción y mantenimiento, quienes darán la orden para que se desarrolle el mantenimiento preventivo de las máquinas en el tiempo específico para la toma de las mejores decisiones a largo plazo.

N° DE FORMATO DE OTM:		N° OTM	
		TIPO DE OTM	
		FRECUENCIA	
SOLICITADO POR			
APROBADO POR			
RECIBIDO POR			
FECHAS Y TIEMPOS			
FECHA INICIO		FECHA FIN	
HORA INICIO		HORA FIN	
TIEMPO ESTIMADO		TURNOS	
DATOS DE LA MÁQUINA			
PARTE DEL EQUIPO			
ACTIV. REALIZADAS			
TIEMPO			
HERRAMIENTAS UTILIZADAS		REPUESTOS O SUMINISTROS	
OBSERVACIONES (DETALLADAS Y OPCIONES DE SOLUCIÓN)			
TÉCNICO (NOMBRE Y FIRMA)		SUPERVISOR (NOMBRE Y FIRMA)	

Figura 13. Formato de orden trabajo de mantenimiento (OTM)

4.1.4. Calcular disponibilidad después de implementación del sistema de mantenimiento preventivo

Luego de implementar un sistema de mantenimiento preventivo respecto a las máquinas de la empresa MAQTRACK se procedió a calcular la nueva disponibilidad, con base en los datos del anexo 10.

Tabla 11. Tiempo medio entre fallas mejorado

Meses/ año	N.º	Nombre de la maquinaria	Horas que trabajó al mes	Número de fallas	Tiempo medio entre fallas (horas /falla)
Enero-junio / 23	1	Motoniveladora 140K JPA00564	240	1	240
Enero-junio / 23	2	Cargador frontal 950H M1G01436	240	3	80
Enero-junio / 23	3	Excavadora 320D TPM00596	240	1	240
Enero-junio / 23	4	Tractor orugas D6T SMC01822	240	2	120
Enero-junio / 23	5	Cargador frontal 938H JKM01614	200	2	100
Enero-junio / 23	6	Motoniveladora 120H ALZ00243	200	2	100
Enero-junio / 23	7	Rodillo compactador CS- 533E BZE02614	200	1	200
Enero-junio / 23	8	Minicargador 246 5SZ00425	160	1	160
Enero-junio / 23	9	Excavadora 330D JLP01357	240	3	80
Total			1960	16	123

En la tabla 11, se puede visualizar que las horas que trabajaron las máquinas han sido las mismas, pero que el número de fallas durante los 6 meses de implementación del mantenimiento preventivo se han reducido, obteniendo de esa manera un tiempo medio entre fallas de 123 horas/falla.

Tabla 12. Tiempo medio de reparación mejorado

Meses/ año	N.º	Nombre de la maquinaria	Horas de reparación por averías	Número de fallas	Tiempo medio de reparación (horas /falla)
Enero-junio / 23	1	Motoniveladora 140K JPA00564	12	1	12
Enero-junio / 23	2	Cargador frontal 950H M1G01436	12	3	4
Enero-junio / 23	3	Excavadora 320D TPM00596	12	1	12
Enero-junio / 23	4	Tractor orugas D6T SMC01822	12	2	6
Enero-junio / 23	5	Cargador frontal 938H JKM01614	8	2	4

Enero-junio / 23	6	Motoniveladora 120H ALZ00243	8	2	4
Enero-junio / 23	7	Rodillo compactador CS-533E BZE02614	6	1	6
Enero-junio / 23	8	Minicargador 246 5SZ00425	6	1	6
Enero-junio / 23	9	Excavadora 330D JLP01357	12	3	4
		Total	88	16	6

En la tabla 12, se detalla que las horas de reparación a las máquinas han disminuido, dado que el número de fallas durante los 6 meses de implementación del mantenimiento preventivo se ha reducido, obteniendo de esa manera un tiempo medio de reparación de 6 horas/falla.

En ese sentido, se calculó la disponibilidad de las máquinas después de la implementación del sistema de mantenimiento preventivo diseñado, empleando la fórmula (1), tal como se presenta a continuación:

1. Motoniveladora 140K JPA00564

$$Disponibilidad = \frac{240}{240 + 12} * 100 = 95 \%$$

2. Cargador frontal 950H M1G01436

$$Disponibilidad = \frac{80}{80 + 4} * 100 = 95 \%$$

3. Excavadora 320D TPM00596

$$Disponibilidad = \frac{240}{240 + 12} * 100 = 95 \%$$

4. Tractor orugas D6T SMC01822

$$Disponibilidad = \frac{120}{120 + 6} * 100 = 95 \%$$

5. Cargador frontal 938H JKM01614

$$Disponibilidad = \frac{100}{100 + 4} * 100 = 96 \%$$

6. Motoniveladora 120H ALZ00243

$$Disponibilidad = \frac{100}{100 + 4} * 100 = 96 \%$$

7. Rodillo compactador CS-533E BZE02614

$$Disponibilidad = \frac{200}{200 + 6} * 100 = 97 \%$$

8. Minicargador 246 5SZ00425

$$Disponibilidad = \frac{160}{160 + 6} * 100 = 96 \%$$

9. Excavadora 330D JLP01357

$$Disponibilidad = \frac{80}{80 + 4} * 100 = 95 \%$$

Tabla 13. Disponibilidad de las máquinas con mejora

Meses / año	N.º	Nombre de la maquinaria	Tiempo medio entre fallas (horas /falla)	Tiempo medio de reparación (horas /falla)	Disponibilidad %
Enero-junio / 23	1	Motoniveladora 140K JPA00564	240	12	95
Enero-junio / 23	2	Cargador frontal 950H M1G01436	80	4	95
Enero-junio / 23	3	Excavadora 320D TPM00596	240	12	95
Enero-junio / 23	4	Tractor orugas D6T SMC01822	120	6	95
Enero-junio / 23	5	Cargador frontal 938H JKM01614	100	4	96
Enero-junio / 23	6	Motoniveladora 120H ALZ00243	100	4	96
Enero-junio / 23	7	Rodillo compactador CS-533E BZE02614	200	6	97
Enero-junio / 23	8	Minicargador 246 5SZ00425	160	6	96
Enero-junio / 23	9	Excavadora 330D JLP01357	80	4	95
	Total		123	6	96

En la tabla 13, especifica que el tiempo medio entre fallas aumentó a 123 (horas/ falla) y el tiempo medio de reparación se redujo a 6 (horas/ falla), luego de implementar el sistema de mantenimiento preventivo favoreciendo de esa manera a la disponibilidad total de las máquinas, la cual resultó en un 96 %.

Finalmente, en una comparación del antes y después de la implementación de la mejora en la disponibilidad de las máquinas, se obtuvo lo siguiente (tabla 14). Lo cual resultó en un aumento de la disponibilidad en un 48 %, siendo totalmente favorable para la empresa.

Tabla 14. Resumen de disponibilidad de las máquinas

	Resultado %
Antes de la mejora	65
Después de la mejora	96

4.2. Discusión de resultados

Al llevar a cabo la identificación de las máquinas de la empresa, se determinó que cuatro de ellas tenían mayor tiempo de paradas por falla de mantenimiento en la empresa MAQTRACK, tal como se detalla en la tabla 3. Por lo que, los resultados encontrados tienen cierta concordancia con los autores Coro y Cotrina (22), quienes hallaron que las máquinas de la empresa con mayor tiempo de paradas fueron una retroexcavadora con 49.63, una excavadora en 52.62 y un volquete con 65.51 horas/falla, todo ello a causa de la ausencia de un plan de mantenimiento preventivo.

Referente a la estimación de la disponibilidad actual de las máquinas de la empresa, mediante cálculos detallados en la tabla 5, se obtuvo un resultado del 65 %, tal como se evidencia en el estudio de Muñoz (1) quien determinó que su disponibilidad actual de sus equipos se encuentra en un 65 %, debido a la deficiencia de un mantenimiento preventivo. Caso contrario a Fernández y Neyra (8), quienes determinaron una disponibilidad actual de las máquinas en un 97.42 %, dado que la empresa cuenta con un mantenimiento preventivo, pero que necesita ser supervisado en cuanto a sus procedimientos.

Por otro lado, se realizó el diseño de un sistema de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de las máquinas de la empresa, teniendo en cuenta diferentes aspectos para un mantenimiento oportuno, preciso y documentado de manera organizada, con el propósito de reducir tiempo inactivo por averías. Según Gutiérrez et al. (13), consideró que

para un mantenimiento preventivo es necesario contar con diferentes requerimientos como inventario de materiales y mano de obra encargada para ejecutar de manera oportuna un mantenimiento de las máquinas. En efecto, la investigación de Pinto et al. (14) determina que al implementar un sistema de mantenimiento permite tener una documentación de órdenes de trabajo y de reparación para un control y seguimiento preciso de las maquinarias sobre el estado en que se encuentran y mantener un trabajo organizado para el personal.

Finalmente, después de desarrollar la implementación del sistema de mantenimiento preventivo, se pudo calcular la nueva disponibilidad de las máquinas, según se detalla en la tabla 13, la cual resultó en un 96 %, siendo considerado como un aumento bastante considerable para la empresa. Tal como lo especifica Calderón (17), quien mediante un plan de mantenimiento preventivo alcanzó aumentar la disponibilidad de las maquinarias de una manera suficiente y pertinente, con base en diferentes datos técnicos e información básica de estas. Además, Gutiérrez et al. (13) reveló que la propuesta de mejora con base en un mantenimiento de las máquinas permitió aumentar la disponibilidad de 79 % a 86 %.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que para mejorar el proceso de gestión de mantenimiento de la empresa MAQTRACK SAC, se realizó una evaluación de las máquinas con mayor tiempo entre fallas y posteriormente se tomaron en cuenta diferentes criterios para establecer un adecuado plan de mantenimiento preventivo para su desarrollo oportuno y preciso por parte de los operarios, llegando a aumentar de esa manera la disponibilidad de un 65 % a un 96 %.
2. Se identificó que las máquinas que presentaron mayor tiempo de paradas por falla de mantenimiento en la empresa fueron los siguientes: la motoniveladora 140K JPA00564, la excavadora 320D TPM00596, el tractor orugas D6T SMC01822 y la excavadora 330D JLP01357, siendo la primera de 80 horas/falla y las tres últimas de 60 horas/falla.
3. Al llevar a cabo distintos cálculos, se pudo estimar que la disponibilidad actual de las máquinas de la empresa resultó en un 65 %, siendo de esa manera poco favorable y que necesita mejorarse.
4. Para el diseño de un sistema de mantenimiento preventivo se tuvieron en cuenta 6 pasos, tales como: aspectos para el área de mantenimiento, fichas técnicas de las máquinas, codificado de máquinas, análisis de criticidad de máquinas, análisis de la matriz de criticidad donde 8 máquinas se encontraron en media criticidad y una en no crítico y en el último paso fue la ejecución del mantenimiento preventivo y reordenamiento de los requerimientos necesarios, todo ello, con la finalidad de aumentar la disponibilidad de las maquinarias de la empresa.
5. Finalmente, luego de la implementación del sistema de mantenimiento preventivo se calculó la nueva disponibilidad, la cual resultó en un 96 %, teniendo un aumento del 48 %.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que, para una gestión de mantenimiento preventivo estable en la empresa, se debe implementar el *software* MPV10, dado que conocer a detalle los requerimientos técnicos de las maquinarias, el área en que se encuentran en la empresa, fallas que más presentan y establecer cronogramas de mantenimiento.
2. Se recomienda que la empresa realice capacitaciones constantes al personal sobre pausas oportunas para las maquinarias, a fin de mejorar su fiabilidad (tiempo entre fallas) y mantenibilidad (tiempo de reparación).
3. Se sugiere a la empresa brindar a los trabajadores tableros con *check list* (lista de verificación) para que realicen inspecciones detalladas de las maquinarias a fin de mantener su disponibilidad en un buen estado al momento de llevar a cabo sus actividades.
4. Es recomendable que la empresa tenga un seguimiento del plan de mantenimiento establecido mediante el compromiso de todos los trabajadores, a fin de eliminar su criticidad de las máquinas. Asimismo, se sugiere la implementación de un mantenimiento predictivo a fin de estar preparados ante cualquier avería.
5. Finalmente, se recomienda establecer intervenciones diarias de las maquinarias luego de haber realizado sus actividades para seguir aumentando su disponibilidad y tener un funcionamiento al 100 %.

REFERENCIAS

1. **MUÑOZ, M. E.** *Propuesta de aplicación de indicadores de gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos de una empresa constructora* (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/26199.2020>
2. **PAREDES, Renny.** Tipos de mantenimiento aplicados en la industria petrolera venezolana de la Región Occidente. *Revista Ingeniería*, 2020, vol. 4, no 9, p. 129-142.
3. **Empresa Prime Source.** *The importance of maintenance for your heavy equipment.* *primesource* [en línea], 2019. [consulta: 11 septiembre 2024]. Disponible en: <https://primesourceco.com/es/latest-news/the-importance-of-maintenance-for-your-heavy-equipment/>.
4. **AGUAYO AGUAYO, Luis Alfredo.** *Elaboración de manual de procesos para ingreso y salida en maquinaria pesada en el mantenimiento preventivo de la empresa Andipuerto.* 2020. Tesis Doctoral. Guayaquil/UIDE/2020. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4299>.
5. **Empresa Ipesa.** *Consejos para el mantenimiento de maquinaria pesada, 2020.* gregorypoole. Online. Available from: <https://www.gregorypoole.com/es/heavy-equipment-maintenance-tips/> [Accessed 11 septiembre 2024].
6. **GARCÍA SIERRA, J.; CÁRCEL CARRASCO, J.; MENDOZA VALENCIA, J.** Importancia del mantenimiento, aplicación a una industria textil y su evolución en eficiencia. *3C Tecnología_Glosas de innovación aplicadas a la pyme* [en línea], vol. 8, no. 2, ISSN 2254-4143. DOI 10.17993/3ctecno/2019.v8n2e30.50-67. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno/2019.v8n2e30.50-67>.
7. **All Machines S. A. S.** *Información especial sobre nuestra empresa. Mantenimiento y Reparación de maquinaria pesada - All Machines S.A.S.* [en línea]. [sin fecha] [consultado el 11 de septiembre de 2024]. Disponible en: <https://allmachinessas.com/nuestra-empresa-all-machines-sas/>
8. **FERNANDEZ HEREDIA, Blanca Lizeth; NEYRA NIETO, Maria Zaratine.** *Gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de las máquinas de la empresa Road Solutions EIRL–2020.* 2021.
9. **Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).** *Indicadores de gestión municipal.* [en línea]. 2022. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1902/libro.pdf.
10. **MUSHLIH, M.; TIRTA, A.; NASUTION, H.** Mejora del sistema de gestión de mantenimiento mediante el estudio de caso de mantenimiento centrado en la fiabilidad

- (RCM) Curado de la sección de neumáticos en un fabricante de neumáticos líder. *En Actas de la Conferencia sobre gestión e ingeniería en la industria*. 2021. pág. 50-55.
11. **LOAIZA, Alba**. Gestión de mantenimiento correctivo en las instalaciones universitarias públicas de la Costa Oriental del Lago. *Revista Enfoques*, 2019, vol. 3, no 9, p. 15-31.
 12. **ALI, Jama**. *Evaluación del impacto del modelo de negocio para escenarios de mantenimiento predictivo mediante simulación multimétodo: un estudio de caso de compresor centrífugo*. 2020. Tesis de Maestría. Universidad de Stavanger, Noruega. Disponible en: <https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/handle/11250/2728999>.
 13. **GUTIERREZ-VERDE, Endry; RODRIGUEZ-RAMOS, Pedro A.; LAVADO-RUIZ, Carlos**. Mejoras para elevar la disponibilidad de las unidades acuáticas livianas. *Ingeniería Mecánica* [online]. 2020, vol. 23, n. 1 [citado 2024-09-11]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442020000100002&lng=es&nrm=iso>. Epub 01-Abr-2020. ISSN 1815-5944.
 14. **PINTO, G., et al**. TPM implementation and maintenance strategic plan—a case study. *Procedia Manufacturing*, 2020, vol. 51, p. 1423-1430. DOI 10.1016/j.promfg.2020.10.198.
 15. **PALOMINO-VALLES, A., et al**. Modelo de gestión de mantenimiento TPM enfocado a la confiabilidad que permite incrementar la disponibilidad de equipos pesados en el sector de la construcción. *En IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020. p. 012008.
 16. **CANDAMA SANDOVAL, Andrea; MULFORD CERPA, Sebastián; MENDOZA CARRILLO, Breyner, y otros**. *Propuesta para mejorar el tiempo de permanencia de maquinaria pesada en talleres de mantenimiento*. [en línea] Fundación I+D+I, 2020 [Fecha consulta: 11 de septiembre 2024].
 17. **CALDERÓN OSORIO, Jesús**. *Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Metalpar*. [en línea]. Neiva: Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Industrial, Neiva, 201830 p. [Fecha consulta: 11 de septiembre 2024].
 18. **PALPAN CURISINCHE, Isaac Daniel**. *Aplicación de los principios de Lean Manufacturing para incrementar la disponibilidad de maquinaria en pymes peruanas del sector textil*. 2022.
 19. **ESPINOZA-HUAMASH, Mirella; ARANA-HURTADO, Irvin; LEÓN-CHAVARRI, Claudia**. *Maintenance management model to increase availability in a metalworking SME applying TPM, SMED and PDCA*. 2022. Laccei.org [en línea], [sin fecha]. [consulta: 11 septiembre 2024]. Disponible en: <https://laccei.org/LEIRD2022-VirtualEdition/meta/FP70.html>.

20. **RUIZ, R.** *Gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de las máquinas en una empresa de alquiler de maquinaria pesada.* 2023. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/128692>
21. **RUIZ, S.; MUNIVE, R.** *Modelo de Mantenimiento para el Incremento de la Disponibilidad de Máquinas CNC, mediante herramientas Lean y TPM, en Pymes del Sector Metalmeccánico.* 2022. S.l.: WCSE, ISBN 978-981-18585-2-9. DOI 10.18178/wcse.2022.04.109. Disponible en: <http://www.wcse.org/WCSE%202022%20Spring/109.pdf>
22. **CORO CERQUÍN, Percy Elvis; COTRINA CIEZA, Segundo Roger.** *Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo en la empresa W&J Minería y Construcción SAC.* 2021.
23. **CANAHUA APAZA, Nohemy.** Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmeccánica. *Industrial data*, 2021, vol. 24, no 1, p. 49-76.
24. **PAREJA DAZA, Bertolt Heinz.** *Propuesta para la mejora de la gestión de mantenimiento de una empresa de curtido de pieles-Arequipa 2019.* 2020.
25. **ARCOS-COBA, Jesús Alberto, et al.** ¿Cómo es la gestión de mantenimiento de una empresa metalmeccánica? *Revista Científica Ingeniar: Ingeniería, Tecnología e Investigación.* ISSN: 2737-6249., 2023, vol. 6, no 12, p. 51-63. DOI 10.46296/ig.v6i12.0103.
26. **VERA-ZAMBRANO, Roger Andrés; TORRES-RODRÍGUEZ, Roberto.** Pautas de un programa de mantenimiento y su importancia en el proceso agroindustrial. *Revista Científica Ingeniar: Ingeniería, Tecnología e Investigación.* ISSN: 2737-6249., 2021, vol. 4, no 8, p. 96-113.
27. **LUNA C. C.** Gestión del mantenimiento en la seguridad y salud en el trabajo del sector industrial manufacturero. *Mente Joven*, 2020, vol. 9, p. 89-98.
28. **CÁRCEL CARRASCO, Francisco Javier.** Historical evolution of industrial maintenance in relation to knowledge management. *DYNA: Ingeniería e Industria*, 2016, vol. 91, p. 590-595.
29. **GONZÁLEZ, J.; LOYO, J.; LÓPEZ, M.; PÉREZ, P.; CRUZ, A.** Mantenimiento industrial en máquinas herramientas por medio de AMFE. *Revista Ingeniería Industrial*, vol. 17, no. 3, 2018. ISSN 07179103, 07188307. DOI 10.22320/S07179103/2018.12.
30. **RAYME, F.; DIAZ, J.** Mantenimiento preventivo para incrementar la productividad en los equipos de medición. *Qantu Yachay* [en línea], 2021. vol. 1, no. 1, ISSN 2810-8248. DOI 10.54942/qantuyachay.v1i1.8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.54942/qantuyachay.v1i1.8>.



31. **STECUŁA, K.; BRODNY, Jarosław.** *El papel del significado del uso eficaz de los equipos en las empresas del sector minero.* Pobrano
<https://www.researchgate.net/publication/305443083> (15.11. 2016), 2016.
32. **UZCÁTEGUI, J.; VARELA, A.; DÍAZ, J.; GUTIÉRREZ, J. Y.; UZCÁTEGUI, CÁRDENAS, A.; VARELA GARCÍA, J. I.** Aplicación de herramientas de clase mundial para la gestión de mantenimiento en empresas cementeras basado en la metodología MCC. *Respuestas. Respuestas*, vol. 21, no. 1, ISSN 2422-5053.2016.
33. **FLORES VELASCO, F.** *Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de los equipos en la Empresa Choco Museo - Cusco 2020.* Universidad Andina del Cusco 2020. Disponible en:
<https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4209>.
34. **PARRA, C.; CRESPO, A.** *Análisis de Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad, Definición de intervalos de Mantenimiento preventivo.* 2017[en línea]. S.l.: Asociación para el desarrollo de ingeniería de mantenimiento.
35. **ROMERO, U., et al.** Metodología de la investigación. *Acvenisproh Académico.* 2022. [en línea], ISSN 1690-8120. DOI 10.47606/acven/aclib0017. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.47606/acven/aclib0017>.
36. **HADI, Mohamed, et al.** *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis.* Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú, 2023.
37. **GALLARDO, E.** *Metodología de la investigación. Huancayo. Perú: Editorial de la Universidad Continental, 2017.* Manual Autoformativo Interactivo ISBN 978-612-4196. Disponible en:
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4278/1/DO_UC_EG_MAI_UC0584_2018.pdf.
38. **BLANCO-CÁCERES, Jurgen Stíck; DUQUE-SUÁREZ, Oscar Manuel.** Ingeniería de mantenimiento basada en confiabilidad a los equipos altamente críticos de la Empresa Comercializadora Licratex CA. *Mundo Fesc*, 2018, vol. 8, no 15, p. 41-48. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6638700>.

ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de Ishikawa de las principales causas que generan la baja disponibilidad



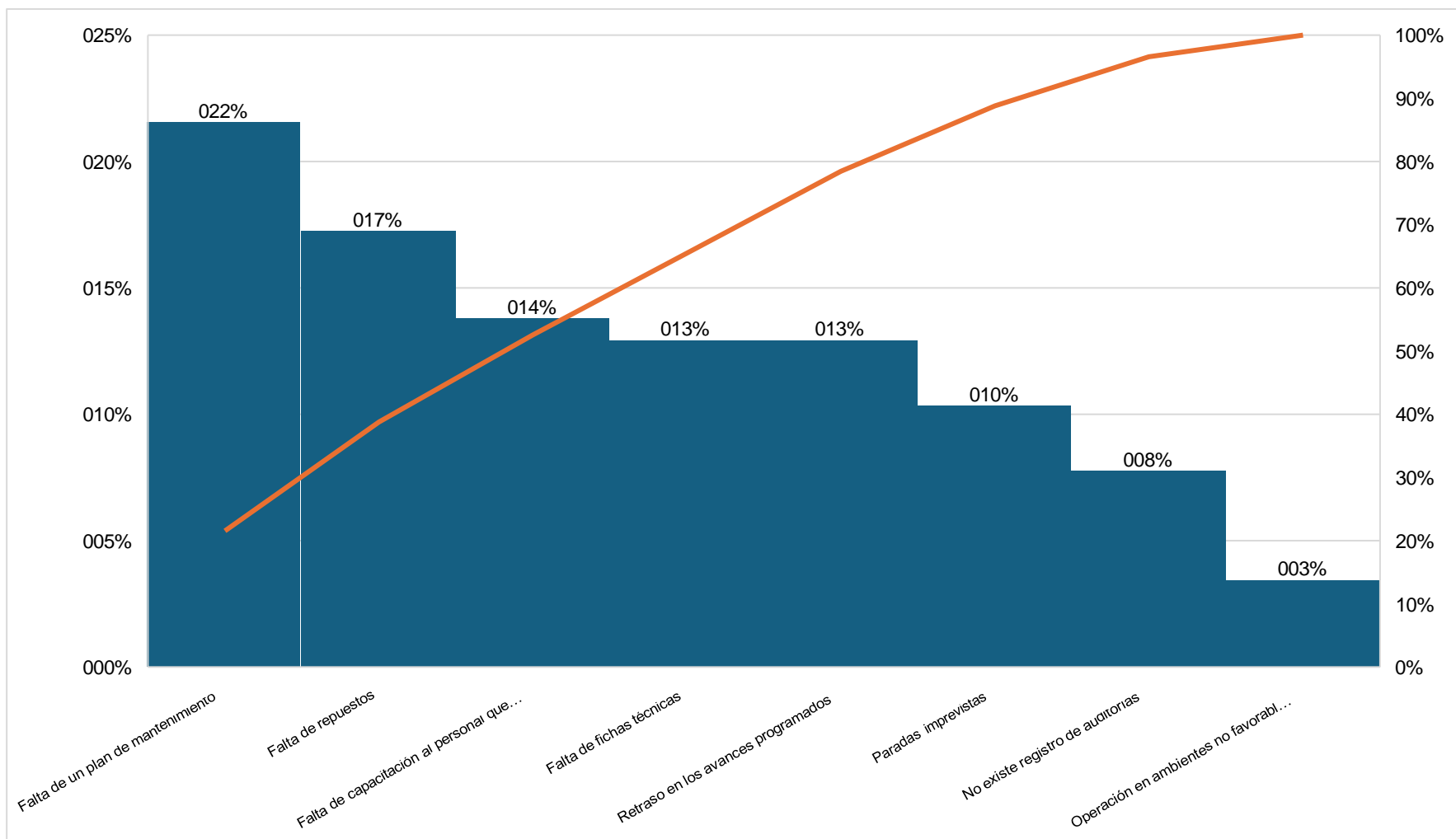
Anexo 2. Matriz de priorización de las causas identificadas

		Urgencia 				
		1 Baja	2 Menor	3 Moderada	4 Alta	5 Obligatoria
I m p a c t o 	5 Muy alto	5	10	15	20	25
				Falta de fichas técnicas		Falta de un plan de mantenimiento
	4 Alto	4	8	12	16	20
				Paradas imprevistas	Falta de capacitación al personal que opera las máquinas	Falta de repuestos
	3 Medio	3	6	9	12	15
				No existe registro de auditorías		Retraso en los avances programados
	2 Bajo	2	4	6	8	10
				Operación en ambientes no favorables (suelos rocosos, etc.)		
	1 Muy bajo	1	2	3	4	5

Anexo 3. Causas de la baja disponibilidad ordenadas según su prioridad

Causas identificadas	Prioridad	Porcentaje
Falta de un plan de mantenimiento	25	21,55%
Falta de repuestos	20	17,24%
Falta de capacitación al personal que opera las máquinas	16	13,79%
Falta de fichas técnicas	15	12,93%
Retraso en los avances programados	15	12,93%
Paradas imprevistas	12	10,34%
No existe registro de auditorías	9	7,76%
Operación en ambientes no favorables (suelos rocosos, etc.)	4	3,45%
TOTAL	116	100%

Anexo 4. Diagrama de Pareto de las causas de la baja disponibilidad



Anexo 5. Estado actual de los equipos antes de la implementación del plan de mantenimiento

Maquinarias	Estado	Última fecha de mantenimiento	Mantenimiento programado
Motoniveladora 140K JPA00564	Operativo	21/02/2021	NO
Cargador frontal 950H M1G01436	Operativo	14/01/2021	NO
Excavadora 320D TPM00596	Operativo	13/10/2021	SI
Tractor orugas D6T SMC01822	Operativo	28/12/2020	NO
Cargador frontal 938H JKM01614	Operativo	14/01/2021	NO
Motoniveladora 120H ALZ00243	Operativo	21/02/2021	NO
Rodillo compactador CS-533E BZE02614	Operativo	06/02/2021	NO
Minicargador 246 5SZ00425	Operativo	28/12/2020	NO
Excavadora 330D JLP01357	Operativo	13/10/2021	SI

Nota: Adaptado de la empresa MAQTRACK SAC.

Anexo 6. Lista de repuestos necesarios para las máquinas

ITEM	DESCRIPCIÓN	N.º DE PARTE ORIGINAL	CANTIDAD
1	Booster	N30705-90270	2
2	Amortiguador Cabina Delantero	56100-00Z74	2
3	Amortiguador Cabina Posterior	95245-00Z65	2
4	Bujes de Caucho para Templador de Tándem	N55542-Z2005	10
5	Banda de motor	N21140-90077	6
6	Retenedor de Caja y Corona Delantero	N38189-90069G	4
7	Retenedor de Caja y Corona Posterior	N38189-90018NOK	2
8	Codos de acero de 4" para Escape	SN	4
9	Crucetas para Bomba de Volteo	338	5
10	Retenedores para Bomba de Volteo	SN	8
11	Amortiguadores Delanteros	56101-00Z00	6
12	Base Cabina RH	SN	4
13	Base Cabina LH	SN	4
14	Rodamientos Interior Rueda Posterior	30313	10
15	Rodamientos Exterior Rueda Posterior	32217/40217-00Z04	10
16	Rodamiento Contra Eje Interior	32313	10
17	Rodamiento Contra Eje Exterior	30311	10
18	Rodillos de Banda de motor	SN	4
19	Bocines para Paquetes Delanteros	54040-90006	16
20	Pines para Paquetes Delanteros	54215-00Z02	8

21	Pernos Guías para Paquetes Delanteros	SN	8
22	Paquetes de Suspensión Delanteros Armados	SN	6
23	Terminales de la Dirección	SN	10
24	Terminales de la Barra Estabilizadora	SN	10
25	Cauchos de la Barra Estabilizadora	SN	16
26	Cable de Acelerador	SN	4
27	Retenedor metálico de eje posterior	SN	8
28	Kit de retenedores para gato telescópico	SN	2 kits

Anexo 7. Fallas en las máquinas durante los meses de agosto a diciembre del 2022

CANTIDAD DE FALLAS DE MÁQUINAS	Meses-2022					
	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Motoniveladora 140K JPA00564	1	1	0	1	0	3
Cargador frontal 950H M1G01436	1	1	1	1	1	5
Excavadora 320D TPM00596	1	1	0	1	1	4
Tractor orugas D6T SMC01822	1	1	1	1	0	4
Cargador frontal 938H JKM01614	1	2	0	1	1	5
Motoniveladora 120H ALZ00243	2	0	1	0	2	5
Rodillo compactador CS-533E BZE02614	1	1	1	1	0	4
Minicargador 246 5SZ00425	0	1	1	0	0	2
Excavadora 330D JLP01357	1	1	2	0	0	4

Nota: Adaptado de la empresa MAQTRACK SAC.

Anexo 8. Data histórica de la empresa durante el 2022

N.º	Nombre de la maquinaria	Semanas/ mes	Días/ semana	Días/mes	Horas/día	Horas /mes	Número de fallas	Horas paradas por falla	Tiempo por reparación de falla (hora)
1	Motoniveladora 140K JPA00564	4	6	24	10	240	3	72	120
2	Cargador frontal 950H M1G01436	4	6	24	10	240	5	96	120
3	Excavadora 320D TPM00596	4	6	24	10	240	4	48	72
4	Tractor orugas D6T SMC01822	4	6	24	10	240	4	12	48
5	Cargador frontal 938H JKM01614	4	5	20	10	200	5	72	120
6	Motoniveladora 120H ALZ00243	4	5	20	10	200	5	48	168
7	Rodillo compactador CS-533E BZE02614	4	5	20	10	200	4	12	120
8	Minicargador 246 5SZ00425	4	5	20	8	160	2	24	120
9	Excavadora 330D JLP01357	4	6	24	10	240	4	72	168

Nota: Adaptado de la empresa MAQTRACK SAC.

Anexo 9. Análisis de criticidad

Frecuencia de fallos (FF)	Impacto operacional (IO)	Flexibilidad operacional (FO)	Costos de mantenimiento (CM)	Seguridad, higiene y ambiente (SHA)
Escala del 1 al 4	Escala del 1 al 10	Escala del 1 al 4	Escala del 1 al 2	Escala del 1 al 8
Cantidad de fallas que surgieron en un periodo de tiempo estudiado.	En base a las pérdidas de producción que provocan las fallas.	En base a si se tiene con unidades de reemplazo para máquinas dañadas.	En base a si estos costos son menores o mayores a 20 mil dólares.	En base a la influencia que presenta la falla de las máquinas en la seguridad de los colaboradores y el medio ambiente.

$C=(IO*FO)+ (CM) + (SHA)$	
No Críticos	NC
Media Criticidad	MC
Críticos	C

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Nota. Adaptado de Blanco et al. (38)

Anexo 10. Fallas en las máquinas luego de implementar el sistema de mantenimiento preventivo de enero a junio 2023

Cantidad de fallas de máquinas	MESES						
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	TOTAL
Motoniveladora 140K JPA00564	0	0	0	0	0	1	1
Cargador frontal 950H M1G01436	1	0	1	0	0	1	3
Excavadora 320D TPM00596	0	0	0	0	0	1	1
Tractor orugas D6T SMC01822	1	0	1	0	0	0	2
Cargador frontal 938H JKM01614	1	0	0	1	0	0	2
Motoniveladora 120H ALZ00243	1	0	1	0	0	0	2
Rodillo compactador CS-533E BZE02614	0	1	0	0	0	0	1
Minicargador 246 5SZ00425	0	0	0	0	0	1	1
Excavadora 330D JLP01357	1	0	1	0	0	1	3

Nota: Adaptado de la empresa MAQTRACK SAC.

Anexo 11. Fallas en las máquinas durante los meses de enero a junio del 2023

N.º	Nombre de la maquinaria	Semanas/ mes	Días/ semana	Días/mes	Horas/día	Horas /mes	Número de fallas	Horas paradas por falla	Tiempo por reparación de falla (hora)
1	Motoniveladora 140K JPA00564	4	6	24	10	240	1	72	12
2	Cargador frontal 950H MIG01436	4	6	24	10	240	3	96	12
3	Excavadora 320D TPM00596	4	6	24	10	240	1	48	12
4	Tractor orugas D6T SMC01822	4	6	24	10	240	2	12	12
5	Cargador frontal 938H JKM01614	4	5	20	10	200	2	72	8
6	Motoniveladora 120H ALZ00243	4	5	20	10	200	2	48	8
7	Rodillo compactador CS-533E BZE02614	4	5	20	10	200	1	12	6
8	Minicargador 246 5SZ00425	4	5	20	8	160	1	24	6
9	Excavadora 330D JLP01357	4	6	24	10	240	3	72	12

Nota: Adaptado de la empresa MAQTRACK SAC.

Huancayo, 17 de junio de 2024

Señor:

Aranda Martínez, Rodolfo Javier

Gerente

MAQ&TRAK CAT EIRL

Presente.-

Es grato dirigirme a usted para saludarlo y a la vez manifestarle que, dentro de mi formación académica en la experiencia curricular de estudios, se contempla la realización de una investigación con fines netamente académicos.

En tal sentido, considerando la relevancia de su organización, solicito su colaboración para que pueda realizar mi investigación en su representada y obtener la información necesaria para poder desarrollar la investigación titulada: "Mejora de proceso de Gestión de Mantenimiento de la empresa MAQ&TRAK CAT EIRL para aumentar disponibilidad de la maquinaria". En dicha investigación me comprometo a mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa, salvo que se crea a bien su socialización.

Se adjunta la carta de autorización de uso de información y publicación, en caso de que se considere la aceptación de esta solicitud para ser llenada por el representante de la empresa.

Agradeciéndole anticipadamente por vuestro apoyo en favor de mi formación profesional, hago propicia la oportunidad para expresar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,


GARY FRANZ HERRERA RUIZ
DNI: 44459160


MAQ&TRAK CAT
Rodolfo J. Aranda Martínez
GERENTE GENERAL

AUTORIZACION DE USO DE EMPRESA

Yo Rodolfo Javier Aranda Martinez
identificado con DNI 44459160 en mi calidad de Gerente General de la
empresa MAQ&TRAK CAT E.I.R.L.
con RUC 20603715029 ubicada en la ciudad de Huancayo Jl. Grau
2462

OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor Herrera Ruiz Gary Franz

Identificado con DNI 44459160 de la carrera profesional de Ing. Industrial, para que
utilice la siguiente información de la empresa:

**Información relacionada al área de mantenimiento de equipos, con la finalidad de
que pueda desarrollar su trabajo de Investigación.**

Indicar si el representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el
nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción
seleccionada.

- () Publique los resultados de la investigación en el repositorio institucional de la UCCI.
- () Mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa
- () Mencionar el nombre de la empresa



RODOLFO ARANDA MARTINEZ

Gerente General de MAQ&TRAK CAT EIRL