

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA MEJORAR LA
DISPONIBILIDAD DE LOS TRACTORES AGRÍCOLAS DE LA
EMPRESA OBLITAS TRACTO PARTS E.I.R.L.”**

Presentada por:

JAIME EDUARDO VÁSQUEZ CÁCERES

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA AGRÍCOLA**

Lima - Perú

2023

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS TRACTORES AGRÍCOLAS DE LA EMPRESA OBLITAS TRACTO PARTS E.I.R.L.

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 15% | 15% | 3% | % |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | scielo.conicyt.cl Fuente de Internet | 6% |
| 2 | repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet | 2% |
| 3 | qdoc.tips Fuente de Internet | 1% |
| 4 | dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet | 1% |
| 5 | repositorio.usm.cl Fuente de Internet | 1% |
| 6 | repositorio.unan.edu.ni Fuente de Internet | 1% |
| 7 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 1% |
| 8 | repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet | 1% |

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA MEJORAR LA
DISPONIBILIDAD DE LOS TRACTORES AGRÍCOLAS DE LA
EMPRESA OBLITAS TRACTO PARTS E.I.R.L.”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

JAIME EDUARDO VÁSQUEZ CÁCERES

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

**Dr. Néstor Montalvo Aquíñigo
PRESIDENTE**

**M.Adm. Armenio Galíndez Oré
ASESOR**

**M. Adm. José Orellana Pardave
CO-ASESOR**

**Dr. Josué Alata Rey
MIEMBRO**

**Mg.Sc. Augusto Zingg Rosell
MIEMBRO**

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de investigación a mi amada familia, en especial a mi esposa. Su apoyo y aliento han sido piedras angulares en este recorrido.

A mis hijos, para quienes anhelo que este proyecto sea una fuente de inspiración, demostrándoles que no existen barreras insuperables en la vida.

Agradecimiento

Expreso mi profundo agradecimiento en memoria a mi hermana Zoila Aurora, por su inquebrantable apoyo y creencia en mí.

A mis amigos y a todas las personas que desempeñaron un rol importante en mi formación, les agradezco por su apoyo constante y palabras de aliento.

Mi más sincero agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria la Molina, por brindarme la oportunidad de adquirir esta valiosa profesión.

A la empresa Oblitas Tracto Parts E. I. R. L., por haberme brindado todo su respaldo y apoyo, lo cual hizo posible la realización de este proyecto de investigación.

Al Ingeniero José Antonio Orellana Pardavé, mi co-asesor, quien depositó su confianza en mí y brindó su colaboración desinteresada para la ejecución de este trabajo.

Cada uno de ustedes desempeñó un papel esencial en este proyecto, y estoy profundamente agradecido por ello.

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|-------|--|----|
| I. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 2 |
| 1.1.1 | Objetivo general:..... | 2 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos: | 2 |
| 1.2 | HIPÓTESIS | 2 |
| II. | REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 | ANTECEDENTES | 3 |
| 2.1.1 | Antecedentes Internacionales..... | 3 |
| 2.1.2 | Antecedentes nacionales | 4 |
| 2.2 | MARCO CONCEPTUAL | 5 |
| 2.2.1 | El mantenimiento | 6 |
| 2.2.2 | El modelo de gestión de mantenimiento | 7 |
| 2.2.3 | Estructura organizativa y niveles de gestión | 13 |
| 2.2.4 | Jerarquización de activos | 14 |
| 2.2.5 | Herramientas de análisis de fallas | 15 |
| 2.2.6 | Diseño de planes de mantenimiento..... | 16 |
| 2.2.7 | Parámetros del mantenimiento..... | 18 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 20 |
| 3.1 | UBICACIÓN | 20 |
| 3.2 | Diseño y enfoque de la investigación. | 20 |
| 3.3 | TIPO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 20 |
| 3.4 | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 20 |
| 3.5 | POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 21 |
| 3.6 | IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO | 21 |
| 3.7 | DISEÑO ESTADÍSTICO | 21 |
| 3.7.1 | Naturaleza de las variables..... | 21 |
| 3.7.2 | Plan de análisis estadístico | 21 |
| 3.8 | DESARROLLO DE LA INTERVENCIÓN Y OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS | 22 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 23 |
| 4.1 | OBJETIVO ESPECÍFICO 1. | 23 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 4.2OBJETIVO ESPECÍFICO 2..... | 59 |
| 4.3OBJETIVO ESPECÍFICO 3..... | 62 |
| 4.4OBJETIVO GENERAL..... | 64 |
| 4.5PRUEBA DE HIPÓTESIS..... | 65 |
| 4.6DISCUSIONES..... | 67 |
| V. CONCLUSIONES..... | 68 |
| VI. RECOMENDACIONES..... | 69 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 70 |
| VIII.ANEXOS..... | 74 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de la empresa Oblitas Tractor Parts E.I.R.L | 24 |
| Tabla 2: Matriz de criticidad para la jerarquización de los tractores agrícolas de la empresa Oblitas Tractor Parts E.I.R.L..... | 29 |
| Tabla 3: Valoración de los factores: Frecuencia, Impacto operacional, Costo de mantenimiento, Impacto en seguridad, ambiente e higiene y Consecuencia. | 29 |
| Tabla 4: Sistemas identificados de los tractores agrícolas de la empresa Oblitas Tractor Parts E.I.R.L | 31 |
| Tabla 5: Actividades de mantenimiento propuestas para los tractores agrícolas de Oblitas Tractor Parts E.I.R.L | 36 |
| Tabla 6: Cronograma del plan de mantenimiento para los tractores Kubota M8540 para la empresa Oblitas Tracto Parts E.I.R.L..... | 39 |
| Tabla 7: Procedimientos de mantenimientos de rutina..... | 49 |
| Tabla 8: Sugerido de juego de herramientas básicas para el mantenimiento preventivo y correctivo..... | 57 |
| Tabla 9: Pruebas de normalidad de los datos MTBF, MTTR y Disponibilidad inherente de los tractores de Oblitas Tracto Parts E.I.R.L. | 60 |
| Tabla 10: Prueba de diferencia de medias Wilcoxon para muestras relacionadas del MTBF para los tractores de la empresa Oblitas Tracto Parts E.I.R.L..... | 62 |
| Tabla 11: Prueba de diferencia de medias T-Student para muestras relacionadas del MTTR para los tractores de la empresa Oblitas Tracto Parts E.I.R.L..... | 63 |
| Tabla 12: Prueba de diferencia de medias Wilcoxon para muestras relacionadas del MTTR para los tractores de la empresa Oblitas Tracto Parts E.I.R.L..... | 64 |
| Tabla 13: Prueba de diferencia de medias T-Student para muestras relacionadas de la Disponibilidad para los tractores de la empresa Oblitas Tracto Parts E.I.R.L. | 65 |
| Tabla 14: Disponibilidad inherente y su variación antes y después de la intervención .. | 66 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Matriz de criticidad..... | 15 |
| Figura 2: Etapas para la elaboración de resultados | 22 |
| Figura 3: Análisis FODA para la identificación de los objetivos estratégicos..... | 25 |
| Figura 4: Determinación de los objetivos estratégicos de ofensiva, adaptativos, reactivos y defensivos | 25 |
| Figura 5: Estrategias para la consecución del objetivo estratégico de disponibilidad. | 26 |
| Figura 6: Propuesta de la organización de mantenimiento | 27 |
| Figura 7: Diagrama de Pareto sobre el registro de fallas entre el 2018 y 2020..... | 30 |
| Figura 8: Diagrama de Ishikawa del Sistema de inyección del tractor | |
| Kubota K2 M8540 | 32 |
| Figura 9: Diagrama de Ishikawa del Sistema de admisión y escape del tractor Kubota K2 M8540 | 34 |
| Figura 10: Formato diario de mantenimiento de rutina | 42 |
| Figura 11: Formato de mantenimiento cada 100 horas..... | 43 |
| Figura 12: Formato de mantenimiento cada 300 horas..... | 44 |
| Figura 13: Formato de mantenimiento cada 600 horas..... | 45 |
| Figura 14: Formato de mantenimiento cada 1200 horas..... | 46 |
| Figura 15: Formato de parte de incidencias | 48 |
| Figura 16: Comprobación y llenado de combustible | 50 |
| Figura 17: Comprobación del decantador de agua..... | 51 |
| Figura 18: Comprobación del nivel de aceite del motor | 52 |
| Figura 19: Comprobación del nivel del aceite de transmisión..... | 52 |
| Figura 20: Comprobación del nivel de refrigerante | 53 |
| Figura 21: Limpieza de la válvula evaluadora | 54 |
| Figura 22: Limpieza de rejilla, parrilla del radiador, radiador de aceite y soporte de la batería | 55 |
| Figura 23 Comparación del freno de estacionamiento..... | 56 |
| Figura 24 Variación de la disponibilidad para los tractores 1, 2, 3 y r..... | 66 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 1: Galería de imágenes | 74 |
| Anexo 2: Base de datos..... | 76 |
| Anexo 3: Cuestionario para diagnóstico de la organización..... | 80 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo mejorar los parámetros de mantenimiento vinculados a las máquinas agrícolas de la empresa prestadora de servicios de alquiler al sector agroindustrial *Oblitas Tracto Parts E.I.R.L.* en la ciudad de Ica, Lima – Perú, evaluándose los mismos entre los años 2021 y 2022, luego de la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento. En primer lugar, se identificaron los objetivos estratégicos de la organización, mediante un análisis FODA. Se abordó el cumplimiento del objetivo *mejorar la disponibilidad del servicio de la empresa en los próximos 12 meses*. Se definió e implementó un organigrama del área de mantenimiento que vele por el cumplimiento de las actividades de mantenimiento. Se aplicó la jerarquización de activos con el método de la matriz de criticidad, encontrándose el equipo más crítico, sobre el cual se desarrolló el diagrama de Pareto y el diagrama de Ishikawa para encontrar la causa raíz del problema, resultando que, la carencia de planes de mantenimiento origina los problemas de disponibilidad de los activos, especialmente del más crítico. Se propuso el plan de mantenimiento programado para cada sistema de los tractores agrícolas y se implementó su programación. Para su estricto cumplimiento se diseñó indicadores de mantenimiento como de cumplimiento de los planes de mantenimiento, MTBF, MTTR y disponibilidad inherente de carácter mensual. Finalmente se comprobó la evolución de los indicadores MTBF, MTTR y disponibilidad mediante la prueba estadística diferencia de medias con la prueba paramétrica T de Student, demostrándose que la implementación del modelo de gestión de mantenimiento tiene efectividad en la consecución de las mejoras de los parámetros del mantenimiento.

Palabras claves: gestión de mantenimiento, indicadores de mantenimiento, disponibilidad

ASBTRACT

In this research, the aim was to improve the maintenance parameters related to the agricultural machinery of the rental service provider Oblitas Tracto Parts E.I.R.L. in the agro-industrial sector in the city of Ica, Lima - Peru. The evaluation was conducted between the years 2021 and 2022, following the implementation of a maintenance management model. Firstly, the strategic objectives of the organization were identified through a SWOT analysis. The objective of improving the service availability of the company in the next 12 months was addressed. An organizational chart for the maintenance department was defined and implemented to ensure the fulfillment of maintenance activities. The asset prioritization was applied using the criticality matrix method, identifying the most critical equipment. The Pareto diagram and Ishikawa diagram were developed to determine the root cause of the problem, revealing that the lack of maintenance plans leads to availability issues, especially for the most critical asset. A scheduled maintenance plan was proposed for each system of the agricultural tractors, and its implementation was carried out. Maintenance indicators such as compliance with maintenance plans, MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time to Repair), and inherent monthly availability were designed to ensure strict compliance. Finally, the evolution of the MTBF, MTTR, and availability indicators was tested using the statistical mean difference test with the parametric Student's t-test. The results demonstrated that the implementation of the maintenance management model is effective in achieving improvements in the maintenance parameters.

Keywords: maintenance management, maintenance indicators, availability

I. INTRODUCCIÓN

En el sector agrícola, las empresas que se dedican al alquiler de equipos agrícolas desempeñan un papel fundamental al proporcionar maquinaria especializada a los agricultores y productores (Sunding & Zilberman 2001). Estas empresas se enfrentan al desafío de mantener sus tractores en condiciones óptimas de funcionamiento para garantizar que estén disponibles cuando los clientes los necesiten. Es en este contexto que la gestión del mantenimiento adquiere una importancia clave.

La gestión del mantenimiento se realiza tanto en entornos industriales como en organizaciones de servicios, donde los activos físicos desempeñan un papel crítico en la operación y el logro de los objetivos organizacionales (Ahuja & Khamba 2008). Al implementar una gestión eficaz del mantenimiento, se pueden lograr beneficios significativos, como la mejora de la productividad, la reducción de los costos operativos, la minimización de los riesgos y la optimización de la disponibilidad de los activos.

Desde hace más de 50 años, se reconoce la importancia de integrar el área de mantenimiento dentro de las empresas y su interacción con otras áreas funcionales (Pintelon & Gelders 1992). La implementación de un modelo de gestión integral del mantenimiento se ha convertido en un tema fundamental de investigación, con el objetivo de lograr una gestión eficiente y eficaz que cumpla los objetivos del negocio.

En la actualidad, el nivel de competitividad alcanzado por las empresas es crucial para su éxito. En este contexto, la gestión de mantenimiento juega un papel importante, ya que tiene un impacto directo en la competitividad empresarial (Kamsu-Foguem & Mathieu, 2014). Las empresas reconocen que el mantenimiento puede agregar valor a su negocio y una gestión moderna del mantenimiento abarca todas las actividades relacionadas con la determinación de prioridades, objetivos, estrategias y responsabilidades del mantenimiento (Tsang 2002).

Una gestión eficaz del mantenimiento, considerando el ciclo de vida de cada activo físico, debe cumplir con los objetivos de reducción de costos, asegurando el correcto desempeño de los equipos, la minimización de riesgos para las personas y el medio ambiente, y generar procesos y actividades que respalden estos objetivos (Miet & Odoom 2016). En consecuencia, la gestión del mantenimiento se convierte en un factor competitivo poderoso y su importancia en el negocio sigue creciendo día a día.

En tal sentido, en esta investigación se implementó un modelo de gestión de mantenimiento a la prestadora de servicios de alquiler de tractores agrícolas con la finalidad de medir el impacto en los indicadores de mantenimiento antes y después de la implementación en la ciudad de Ica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general:

Diseñar un modelo de gestión de mantenimiento que permita lograr el incremento de la disponibilidad de los tractores agrícolas de la empresa Oblitas Tracto Parts E.I.R.L.

1.1.2 Objetivos específicos:

- Implementar la gestión de mantenimiento a empresa prestadora de servicios agrícolas Oblitas Tracto Parts E.I.R.L. en la ciudad de Ica, Lima – Perú.
- Medir la mejora del tiempo medio entre fallos de los tractores agrícolas, luego de la implementación de la gestión de mantenimiento.
- Medir la mejora del tiempo medio de reparación de los tractores agrícolas, luego de la implementación de la gestión de mantenimiento.

1.2 HIPÓTESIS

Se plantea la siguiente hipótesis a demostrar:

Con la implementación del modelo de gestión de mantenimiento se logrará una mejora de la disponibilidad en un 10 por ciento de los tractores agrícolas de la empresa Oblitas Tractor Parts E.I.R.L para el año 2022.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes Internacionales

En el estudio realizado por Cabrera (2019), concluyó que la estrategia de confiabilidad mixta planteada tuvo un impacto directo y decisivo tanto en las personas como en los activos. Esta estrategia permitió lograr un crecimiento integral en la organización y obtener resultados positivos a nivel global, con una reducción del 29,44 por ciento en los costos de los componentes principales. Además, se observó un aumento en la disponibilidad a partir de 2017, en comparación con el año base 2016, lo que evidenció una tendencia positiva que proyecta mejores resultados en el futuro. También se destacó que la implementación de esta estrategia permitió intervenir tempranamente los síntomas de falla a través del monitoreo de variables operacionales de los equipos, lo que posibilita anticipar o evitar consecuencias negativas en los indicadores finales.

De manera similar, Córdova (2017) llegó a la conclusión de que la incorporación de la filosofía Lean Management en el caso de estudio demostró ser un valioso aporte para dirigir la operación minera bajo el concepto de mejora continua. Este estudio generó oportunidades de mejora en la gestión de los tiempos de demora asociados al transporte, reduciendo los tiempos de demora operacional y transfiriéndolos a tiempos efectivos para la operación de equipos. También se ratificó que la gestión hacia la excelencia operacional es un factor fundamental para el éxito o fracaso en la productividad de las prácticas operacionales, ya que garantiza una alta disponibilidad y confiabilidad. Este estudio muestra un potencial de implementación del Lean Management en actividades relacionadas con la mejora en la ingeniería de confiabilidad.

En la investigación de Ortiz (2014), identificó las amenazas que obstaculizaban el crecimiento adecuado de la empresa analizada, lo que condujo a la propuesta de alternativas para potenciar las fortalezas y aprovechar las oportunidades, ampliando así el margen de

seguridad de la empresa en su desarrollo a mediano y largo plazo. Asimismo, se propusieron y desarrollaron diversas herramientas de gestión que otorgaron a la empresa estudiada una ventaja comparativa sobre sus competidores.

Otro aspecto relevante se refiere al desarrollo de la formulación estratégica, que incluyó la descripción del contexto de la empresa, la elaboración de un mapa estratégico con sus relaciones causa-efecto, la definición de un diccionario de objetivos, la implementación de tableros de gestión para cada atributo y la creación de un cuadro de mando integral con su correspondiente esquema de incentivos.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Como antecedente nacional, Aldana (2019) concluyó que la implementación de la gestión de mantenimiento preventivo tiene un impacto significativo en la disponibilidad de los equipos mineros de transporte en la unidad Inmaculada-Ayacucho de la empresa Unión de Concreteras S.A, representando un aumento del 4.06 por ciento. Asimismo, la eficacia del mantenimiento preventivo mejora considerablemente la disponibilidad de los equipos de transporte en dicha unidad, evidenciado por una reducción en el promedio de fallas de los equipos de operaciones de la mina, que pasó de 23.88 a 19.25 fallas, lo que representa una mejora del 19.63 por ciento.

En cuanto a los costos de la empresa, la implementación de un plan de mantenimiento preventivo no tiene un impacto significativo, ya que se mantuvieron casi iguales antes y después de la implementación. Los resultados mostraron una mínima disminución en los costos, tanto antes como después del plan de mantenimiento preventivo.

En la investigación de Sánchez (2016), llegó a la conclusión de que la mejor alternativa para optimizar la administración de montacargas es la tercerización parcial del proceso. Esta opción representa una inversión menor en comparación con mantener la administración de los montacargas con equipos nuevos. Además, se recomienda tercerizar las actividades de mantenimiento, abastecimiento y administración de los activos actuales. En este caso, la tercerización de la operación permitirá alcanzar una disponibilidad operativa del 97.78 por ciento para equipos no críticos y del 100 por ciento para equipos críticos, en contraste con la disponibilidad actual cercana al 80 por ciento.

La tercerización también conllevará la eliminación de gastos de alquiler de emergencia, que representa el 20 por ciento del gasto actual de la administración de los montacargas, así como la eliminación del stock de repuestos, ya que todo el proceso de mantenimiento estará a cargo del proveedor. Además, se logrará una disminución del personal en el área de gerencia de mantenimiento.

En el estudio de Chuquilin *et al.* (2019), concluyen que la implementación de un plan de gestión de mantenimiento bajo la Norma ISO 55001:2014 para la maquinaria pesada de la empresa constructora CHC INGENIEROS S.A. permite aumentar el valor de los equipos analizados. El establecimiento de una gestión estratégica del mantenimiento proporciona el respaldo necesario para identificar objetivos alineados con el mantenimiento y las estrategias para alcanzarlos, detallando los indicadores que medirán el logro de los objetivos mediante un Balanced Scorecard.

La parte final del plan de mantenimiento incluye el control, las auditorías, la revisión por la dirección y las mejoras en la gestión del mantenimiento. Estos elementos permiten verificar la eficacia del sistema integrado de control (SGA), así como proponer mejoras que permitan que el SGA se adapte a los cambios del entorno.

Por último, Aguirre (2015) llegó a la conclusión de que la aplicación de la gestión de mantenimiento mediante Six Sigma optimiza la productividad de los equipos y maquinarias estudiados, reduciendo los defectos por millón de oportunidades (DPMO) de 417,500.00 a 17,500 DPMO, lo que equivale a un aumento en el nivel Sigma de 1.708 a 3.592. Además, se mejoraron los procesos para el área de mantenimiento, lo que permitirá a la gerencia obtener información de mejor calidad y de forma más rápida en el futuro. En consecuencia, esta investigación mejoró las prácticas de los técnicos mecánicos y operadores del área de mantenimiento, así como incrementó la realización de mantenimientos preventivos.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Desde la perspectiva de la gestión de los activos, se requiere una atención cuidadosa y planificada en todas las etapas de su ciclo de vida. Para ello es importante la comprensión del mantenimiento y su propósito; el diseño adecuado del modelo de gestión de mantenimiento (basadas en la mejora continua) donde se debe plasmar la relación de todas

las actividades vinculadas al mantenimiento; la definición de una estructura organizativa ágil que responda a la demanda de actividades de mantenimiento; la jerarquización de activos que permita enfocar adecuadamente los esfuerzos del mantenimiento; el conocimiento de las herramientas de análisis de fallas que contribuyan a encontrar la causa raíz de las fallas de los equipos críticos, para su posterior control; el diseño de planes de mantenimiento, que permita organizar las tareas de mantenimiento y al mismo tiempo identificar las necesidades de recurso humano, herramientas, materiales, financiamiento, entre otros; la medición de los parámetros del mantenimiento para medir cuantitativamente la gestión de mantenimiento; el uso de herramientas gráficas como el análisis gráfico de mantenimiento, que nos permite visualizar ágilmente el comportamiento de los parámetros del mantenimiento; y finalmente, la comprensión del ciclo de vida de los activos y su utilidad para la toma de decisiones como la renovación de equipos. Todos estos elementos trabajan en conjunto para garantizar la disponibilidad, confiabilidad y rendimiento óptimo de los activos, y contribuir al éxito global de la organización.

2.2.1 El mantenimiento

Mora (2009), define al mantenimiento como el proceso de sostener la funcionalidad y la integridad de un objeto o aparato productivo para que cumpla su función de producir bienes o servicios. También sostiene que, este término se deriva del verbo *mantener*, que significa preservar, conservar o cuidar. Así mismo, manifiesta que el mantenimiento es esencial para garantizar que máquinas generadas por la ingeniería, en sus diversas ramas como la ingeniería mecánica, civil, eléctrica o electrónica, etc., puedan funcionar de manera adecuada. Por lo tanto, en cada rama de la ingeniería, los equipos que requieren cuidado y mantenimiento pueden variar, pero la función de mantener es fundamental en todos ellos.

En tal sentido podemos comprender que el mantenimiento se refiere al conjunto de actividades realizadas para garantizar el buen funcionamiento y la disponibilidad de los equipos, maquinarias o instalaciones en una organización. Mora (2009), manifiesta que estas actividades incluyen acciones correctivas, preventivas, predictivas y modificativas. Por ende, sostiene que, el mantenimiento debe ser organizado en un proceso estructurado para asegurar su eficacia y eficiencia, dado que se presentan etapas necesarias para su correcto desarrollo, como la contratación o capacitación del personal, la adquisición de herramientas y recursos, hasta el desarrollo de técnicas y tecnologías propias de la empresa. Por lo tanto,

urge la necesidad de concebir un modelo de gestión del mantenimiento para administrar las actividades de mantenimiento de manera efectiva (Mora 2009).

2.2.2 El modelo de gestión de mantenimiento

Mora (2009), manifiesta que, en una primera etapa, dada la necesidad de llevar el mantenimiento adecuado de los activos, aparecen elementos necesarios para dar soporte a estas actividades. Estos elementos incluyen órdenes de trabajo, herramientas, utensilios, almacenes de repuestos e insumos de mantenimiento. Además, surge la necesidad de generar las primeras informaciones que se convertirán en bases de datos y sistemas de información. En esta etapa inicial, agrega Mora, la prioridad del área de producción es elaborar productos o generar servicios, por lo que las fallas imprevistas se convierten en un problema significativo que afecta el desarrollo normal de las actividades de producción.

Como consecuencia, surge una segunda etapa del mantenimiento, donde el objetivo principal es solucionar las paradas repentinas de los equipos (Mora 2009). El autor agrega que, también se establece el control operativo de los equipos y sus elementos. Señala que, se distingue entre las acciones correctivas, modificativas, preventivas y predictivas; siendo las dos primeras posteriores a la falla, mientras que las últimas son acciones que se realizan antes de que los equipos dejen de funcionar. En esta segunda etapa también se identifican los equipos, se determinan las tareas para las intervenciones planeadas o programadas, se generan órdenes de trabajo programadas y no programadas, se establecen planes de mantenimiento y se definen los parámetros para la subcontratación y administración de proveedores.

Además, manifiesta Mora (2009), una vez que las empresas adquieren madurez en la gestión de las acciones de mantenimiento, adoptan un modelo de gestión más estructurado, al cual denomina la tercera etapa. En esta etapa, agrega el autor, se implementan diversas tácticas de mantenimiento, como TPM (Mantenimiento Productivo Total), RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), MCC (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y la Condicionalidad), PMO (Oficina de Gestión de Proyectos), entre otras. Estas tácticas se seleccionan en función de las mejores prácticas y se utilizan para maximizar la explotación y combinación de los factores productivos.

Barberá *et al.* (2012), sostienen que, un modelo de gestión del mantenimiento debe ser efectivo, eficiente y oportuno, es decir, debe estar alineado con los objetivos establecidos basados en las necesidades empresariales, y minimizar los costos indirectos de mantenimiento (asociados con pérdidas de producción). Al mismo tiempo, señalan los autores, debe ser capaz de operar, producir y alcanzar los objetivos con el costo mínimo (para minimizar los costos directos de mantenimiento) y generar actividades para mejorar los indicadores clave del proceso de mantenimiento, relacionados con la mantenibilidad y confiabilidad.

Actualmente existe una brecha importante entre los modelos académicos y su aplicación en la práctica, lo que dificulta que las empresas adapten estos modelos a su contexto empresarial específico (Barberá *et al.* 2012). Por lo que es imperativo, añaden los autores, proponer un modelo avanzado para la gestión integral del mantenimiento en un ciclo de mejora continua, alineado con las estrategias, políticas e indicadores clave del negocio.

Es importante antes de abordar el modelo conocer que existe una serie de artículos predecesores que plantearon enfoques sobre la gestión del mantenimiento, por ejemplo, en el período de 1990 a 2010, se realizaron varios estudios relacionados con la gestión del mantenimiento. En 1990, se propuso un sistema completo de indicadores de mantenimiento (Pintelon y Van Wassenhove 1990). En 1992, se destacó la necesidad de vincular el mantenimiento con otras funciones de la organización y utilizar técnicas cuantitativas y cualitativas para su gestión (Pintelon & Gelders 1992). En 1995, se enfocó en el análisis de la eficacia y eficiencia del mantenimiento, resaltando la importancia del liderazgo gerencial (Vanneste & Van Wassenhove 1995). En 1997, se propuso un enfoque de modelado integrado basado en la teoría de la gestión situacional (Riis *et al.*, 1997). En 2000, se sugirió el uso de conceptos y herramientas japonesas para el control estadístico del mantenimiento (Duffuaa *et al.* 2000). En 2001, se orientó el modelo hacia el uso de la computadora y estándares para el intercambio de información (Hassanain *et al.* 2001). En 2002, se introdujo el concepto de e-mantenimiento, con énfasis en la gestión del conocimiento (Tsang *et al.* 1999). En 2006, se recomendó combinar herramientas como QFD y TPM en un modelo (Pramod *et al.* 2006). En 2007, se propuso que el mantenimiento contribuya a los objetivos externos (Söderholm *et al.* 2007). Finalmente, en 2010, se diseñó un nuevo modelo de gestión de mantenimiento alineado con la norma ISO 9001:2008 y expresado mediante el lenguaje unificado de modelado (UML) (López Campos *et al.* 2010).

El modelo propuesto por Barberá *et al.* (2012), consta de siete etapas organizadas que siguen una secuencia lógica de jerarquía de acciones y alinean los objetivos de mantenimiento locales con los objetivos comerciales globales. El modelo describe cómo gestionar y optimizar de manera continua todos los procesos relacionados con la planificación, programación e implementación del mantenimiento. A continuación, se describe las siete etapas de este modelo:

- **Etapa 1: Análisis de la situación actual: Definición de objetivos, estrategias y responsabilidades del mantenimiento**

En esta etapa se destaca la importancia de realizar una evaluación de la situación inicial en cuanto a la gestión del mantenimiento. Esta evaluación debe abarcar aspectos como la planificación, programación y ejecución de las tareas de mantenimiento, el histórico de fallas, indicadores de tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación, así como los recursos financieros asignados y el impacto económico de las paradas no programadas. Además, se debe establecer objetivos claros y una estrategia alineada con ellos, definiendo las responsabilidades del personal involucrado. También se destaca la necesidad de determinar indicadores clave para evaluar el rendimiento de las instalaciones. La gestión del mantenimiento debe alinearse con la estrategia definida a nivel estratégico, táctico y operativo, priorizando los activos críticos. Así mismo, se debe asignar correctamente los recursos y crear un programa detallado con las tareas y los recursos asignados. Por último, se menciona la importancia de llevar a cabo las tareas de mantenimiento de manera adecuada, siguiendo los procedimientos y utilizando las herramientas adecuadas (Márquez 2007).

- **Etapa 2: Jerarquización de equipos**

En esta etapa se propone clasificar los activos físicos de una organización en base a su criticidad para el sistema productivo y la seguridad. Se puede utilizar diversas técnicas cualitativas o cuantitativas para clasificar los activos como críticos, semicríticos o no críticos. Estas técnicas se basan en la evaluación probabilística del riesgo y utilizan indicadores como la frecuencia de fallas, los impactos en producción, los costos de reparación, el tiempo de reparación, la seguridad y el impacto ambiental. Entre algunas técnicas tenemos al análisis de criticidad y el método de análisis Jack-Knife como un enfoque multicriterio para evaluar las variables relacionadas con los modos de falla (Moubray 2001).

- **Etapa 3: Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto**

En esta etapa se debe realizar una inspección técnica-visual detallada de los equipos clasificados como críticos en una planta, mientras que los equipos semicríticos serán inspeccionados de manera somera y los no críticos no requerirán recursos de inspección. Esta inspección permite obtener información relevante sobre el estado de operación de los equipos y determinar las necesidades específicas de mantenimiento. Se menciona la importancia de considerar la información proporcionada por los operarios que controlan y utilizan los equipos críticos y semicríticos (DoE 1992). En relación con los equipos críticos, se recomienda analizar los posibles fallos repetitivos y crónicos a partir del historial de los equipos, identificando las causas raíces que los provocan. La eliminación o control de estos modos de falla contribuye a obtener un retorno inicial alto en la inversión en el programa de gestión de mantenimiento y facilita el análisis y diseño de los planes de mantenimiento. Además, se debe apoyar en el Análisis Causa Raíz (ACR) como un método utilizado para identificar sistemáticamente las causas raíces de las fallas, clasificándolas en físicas, humanas y latentes/organizacionales (Mobley 1999).

- **Etapa 4: Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios**

En esta etapa se contempla el diseño de los planes de mantenimiento preventivo, la cual se divide en dos partes: a) la recopilación de información sobre los equipos, incluyendo funciones, posibles fallas y modos de falla, y b) la toma de decisiones para prevenir las consecuencias de los modos de falla, estableciendo tareas de mantenimiento técnicamente factibles y rentables.

Una estrategia comúnmente utilizada es el método RCM, que identifica las funciones de un sistema y sus posibles fallas, seleccionando tareas de mantenimiento preventivo aplicables. La metodología RCM propone un proceso sistemático para la selección de tareas de mantenimiento, definiendo el contenido y las frecuencias de ejecución. La aplicación del proceso RCM sigue normas específicas y se establecen recomendaciones finales para cada equipo crítico, las cuales se implementan a través de un plan de mantenimiento (Kobbacy *et al.* 2008). Esto permite anticiparse a los fallos, subsanarlos con mínimo impacto y eliminar causas de fallos, asegurando la seguridad del sistema (JA1011 1999).

- **Etapa 5: Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos**

En esta etapa se debe realizar una programación detallada de todas las actividades de y, mantenimiento, considerando para ello las necesidades de producción en la escala temporal y el coste de oportunidad para el negocio durante la ejecución de las tareas (Terminology 2001). La programación de las actividades de mantenimiento pretende optimizar la asignación de recursos tanto humanos como materiales, así como minimizar el impacto en la producción. La programación del mantenimiento debe efectuarse a corto (< 1 año), medio (1-5 años) y largo plazo (> 5 años).

García (2010), en su libro *Organización y Gestión Integral del Mantenimiento*, manifiesta que las actividades de mantenimiento se pueden agrupar en gamas y rutas de mantenimiento con el objetivo de facilitar su ejecución. Primero, menciona la importancia de agrupar tareas que pertenezcan al mismo área, equipo o especialidad, así como aquellas que se realicen con diferentes frecuencias. Estas agrupaciones se conocen como Rutas o Gamas de mantenimiento.

El autor describe las características de las *rutas diarias*, las cuales consisten en tareas que son fáciles de realizar y generalmente se refieren a controles visuales, mediciones y trabajos de limpieza y engrase. Estas tareas son fundamentales para el mantenimiento preventivo y pueden realizarse con los equipos en funcionamiento (máquinas estacionarias). También se menciona que debido a la gran cantidad de papel que generan, es más práctico generar las hojas de ruta manualmente en lugar de utilizar un sistema informático, dado que se debería incorporar todo el ciclo de trabajo de una Orden de Trabajo (apertura, aprobación, cargas de datos, cierre, aprobación del cierre, etc.) generando un esfuerzo injustificado.

Las rutas semanales y mensuales involucran tareas más complejas que no necesariamente deben realizarse a diario. Pueden requerir desmontajes, paradas de equipos o mediciones más laboriosas, como limpiezas interiores o mediciones de consumo de un motor. También se incluyen tareas que no se justifican realizar diariamente, como los engrases, señala García.

Agrega además que, las *gamas anuales* representan revisiones completas del equipo o una serie de tareas que no se requieren con frecuencia menor. Estas gamas pueden implicar la parada del equipo durante varios días y su realización debe ser planificada cuidadosamente. Ejemplos de tareas incluidas en las gamas anuales son cambios de rodamientos, Cambio de líquido refrigerante, comprobaciones de la bomba de alta presión, inspecciones de alternador, bomba de agua, comprobación de la correa de transmisión del alternador, entre otros.

El autor añade que, después de completar las gamas y rutas de mantenimiento, es importante redactar informes que detallen las anomalías encontradas y las reparaciones realizadas o necesarias. Se recomienda recoger todas las incidencias en un informe único, denominado "*Parte de Incidencias*", el cual debe ser revisado por una persona autorizada para emitir órdenes de trabajo correspondientes.

Una vez que se ha elaborado el plan de mantenimiento, es necesario ponerlo en marcha. Esto implica asegurarse de que las tareas sean realizables, designar responsables para su ejecución, realizar acciones formativas y supervisar la realización inicial para realizar posibles ajustes al plan. Se sugiere implementar las gamas y rutas de manera escalonada (García 2010).

Después de poner en marcha las gamas y rutas, agrega García, es recomendable redactar *procedimientos* que expliquen cómo llevar a cabo cada tarea. Estos procedimientos deben describir claramente los elementos involucrados, las mediciones necesarias, los útiles y materiales requeridos, las precauciones y los valores a respetar.

Finalmente, se aborda la planificación del mantenimiento, que implica determinar cuándo y quién realizará cada gama y ruta. Menciona diferentes enfoques para la planificación de las rutas diarias, semanales, mensuales y anuales. Además, el autor destaca la importancia de la organización de paradas, que son grandes revisiones realizadas en momentos específicos del año y requieren una cuidadosa planificación debido a los desafíos (García 2010).

- **Etapa 6: Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento**

En la etapa 06, la ejecución de las actividades de mantenimiento, una vez diseñadas, planificadas y programadas, requiere una evaluación continua y el control de las desviaciones para alcanzar los objetivos de negocio y los indicadores clave de rendimiento (KPI) establecidos por la organización. El control de la ejecución permite mejorar la eficacia y eficiencia de los planes de mantenimiento a través de la retroalimentación. El diseño del sistema de información es fundamental para recopilar y procesar datos precisos que satisfagan las necesidades de información y contribuyan a aumentar la eficacia y reducir los costos. Es crucial que los datos recopilados sean confiables, por lo que el diseño de los documentos y órdenes de trabajo debe ser sencillo y estandarizado para facilitar su registro y obtener información útil y fiable. Este aspecto de diseño es esencial para el funcionamiento efectivo del sistema de mantenimiento.

- **Etapa 7: Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos**

En esta etapa se contempla el análisis del costo de ciclo de vida como estrategia para la renovación de equipos. Incluye costos de planificación, investigación y desarrollo, producción, operación, mantenimiento y retiro del equipo. Además del costo de adquisición, el análisis depende de factores como la confiabilidad, tasa de fallas, costo de repuestos, tiempos de reparación y costo de componentes (Yang 2007).

Este enfoque de costos de ciclo de vida es fundamental para la adquisición óptima de nuevos equipos, ya que revela todos los costos asociados, permitiendo predicciones más precisas. Para tomar decisiones informadas, es importante conocer la curva de costos globales, que abarca el costo de capital fijo, el costo operativo y el costo de ineficiencia. La alternativa técnica más recomendable será aquella con el menor costo global (Durairaj *et al.* 2002).

2.2.3 Estructura organizativa y niveles de gestión

Mora *et al.* (2009), mencionan tres formas de organización del mantenimiento: *centralizado*, *descentralizado* y *mixto*. El centralizado se encuentra en el mismo nivel jerárquico de la operación y es común en empresas medianas y pequeñas. El descentralizado se encuentra en cada unidad de negocio y es típico en organizaciones grandes con múltiples instalaciones. El mixto es una combinación de ambas estructuras y es más complejo. La dependencia del mantenimiento respecto a la producción puede tener inconvenientes, como la falta de

conocimiento técnico, la falta de visión a largo plazo y la dificultad para programar paradas de equipos. Por otro lado, los autores mencionan un modelo ideal en el que tanto el mantenimiento como la producción tienen igual nivel jerárquico y toman decisiones en conjunto. El tamaño del departamento de mantenimiento puede ser grande, pequeño o concentrado en actividades clave, subcontratando las de menor valor agregado.

Mora *et al.* (2009), Barberá *et al.* (2012) y Viveros *et al.* (2013), coinciden que los niveles estratégico, táctico y operativo en la gestión del mantenimiento se relacionan con las diferentes áreas o departamentos de la empresa. Manifiestan que, en el nivel estratégico, los altos directivos definen la dirección general y establecen metas estratégicas, tomando decisiones sobre planificación, asignación de recursos y políticas de mantenimiento. En el nivel táctico, los gerentes y supervisores traducen la estrategia en planes detallados, gestionando recursos y tomando decisiones sobre personal, presupuesto y adquisición de materiales. En el nivel operativo, los técnicos y el personal de mantenimiento ejecutan las tareas diarias, siguiendo procedimientos y horarios establecidos.

Estos niveles reflejan la jerarquía y responsabilidades en la gestión del mantenimiento, involucrando a diferentes departamentos o áreas de la empresa.

2.2.4 Jerarquización de activos

García (2010) y Viveros *et al.* (2013) manifiestan que, se deben utilizar datos objetivos para evaluar la criticidad de un problema en función de diversos factores, como la frecuencia de las fallas, los impactos en la producción, los costos y el tiempo de reparación, así como los impactos en la seguridad personal y el medio ambiente. Señalan que, se considera un factor cualitativo que consiste en establecer una escala o criterio para representar los resultados de cada factor medible y definir la jerarquización final de la criticidad. El riesgo o criticidad se define como el producto de la frecuencia de la falla por la consecuencia de la misma, y esta consecuencia se cuantifica mediante la ponderación de varios factores o criterios de importancia según las necesidades de la organización, la que se expresa en la siguiente fórmula:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Donde:

Frecuencia: Número de Fallas en un tiempo determinado

Consecuencia: (Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costos de Mantenimiento + Impacto (Seguridad – Ambiente)

Una vez que los activos están jerarquizados en base a su criticidad, se obtiene la Matriz de Criticidad, como se puede observar la Figura 1:

MATRIZ DE CRITICIDAD

| | | | | | | | | |
|------------|---|--------------|----|----|----|----|----|---|
| FRECUENCIA | 1 | SC | SC | C | C | C | C | C |
| | 2 | SC | SC | SC | C | C | C | C |
| | . | NC | SC | SC | SC | C | C | C |
| | . | NC | NC | SC | SC | SC | C | C |
| | | NC | NC | NC | SC | SC | C | C |
| | N | NC | NC | NC | NC | SC | SC | C |
| | | 1 | 2 | . | . | | | M |
| | | CONSECUENCIA | | | | | | |

Nota: NC: No crítico, SC: Semi-crítico, C: Crítico

Figura 1: Matriz de criticidad

Fuente: Viveros *et al.* (2013)

2.2.5 Herramientas de análisis de fallas

García (2010) y Viveros *et al.* (2013) sostienen que, el Análisis Causa Raíz (ACR) es uno de los métodos más utilizados para realizar el análisis de puntos débiles en activos críticos. El ACR es una metodología sistemática que permite identificar las causas raíces primarias de las fallas con el objetivo de encontrar soluciones permanentes. Estas causas pueden clasificarse en físicas, humanas y latentes/organizacionales. La causa física se refiere a la razón técnica por la cual ocurre la falla en el activo. La causa humana implica los errores o acciones humanas que generan las causas físicas de la falla. Por último, las causas latentes

abarcan las deficiencias organizacionales y de gestión que resultan en errores humanos y perpetúan las fallas en sistemas y procedimientos a lo largo del tiempo al no ser corregidas.

Existen varias técnicas que se pueden utilizar en el Análisis Causa Raíz (ACR) para identificar las causas raíces de las fallas. Algunas de las técnicas comunes incluyen (Barberá *et al.* 2012; García 2010; Viveros *et al.* 2013):

- **Diagrama de Ishikawa**

También conocido como diagrama de causa y efecto o diagrama de espina de pescado. Permite visualizar las posibles causas de un problema o falla a través de categorías principales, como personas, procesos, materiales, máquinas y entorno, identificando las causas primarias y secundarias.

- **Los "5 Por qué"**

Consiste en realizar preguntas sucesivas para indagar en las causas subyacentes de una falla. Se pregunta "¿Por qué?" repetidamente, buscando llegar a la causa raíz.

- **Análisis de árbol de fallos**

FTA (fault-tree análisis), por sus siglas en inglés, se utiliza para analizar y visualizar las causas y consecuencias de una falla. Se representan las causas y se analiza cómo pueden interactuar para generar la falla.

2.2.6 Diseño de planes de mantenimiento

García (2010), hace referencia del Plan de Mantenimiento, el cual es un documento que recopila todas las tareas de mantenimiento programado necesarias para garantizar los niveles de disponibilidad establecidos para el área de producción. Destacan que el plan es un documento dinámico, sujeto a modificaciones constantes basadas en el análisis de las incidencias que ocurren con los activos y en los indicadores de gestión. Esto significa que se actualiza y ajusta periódicamente para adaptarse a las necesidades y mejorar la eficiencia del mantenimiento en función de la experiencia y los datos recopilados.

García (2010), menciona dos posibilidades relacionadas con el mantenimiento preventivo en una planta o activos productivos. En el primer caso, si no hay ningún sistema de

mantenimiento preventivo en funcionamiento, se propone diseñar un Plan Preventivo que contenga gamas de mantenimiento agrupadas según su periodicidad (diaria, semanal, mensual y anual). Se descompone la planta en áreas o zonas, se listan los equipos significativos y se aplican gamas estándar a esos equipos. Este plan provisional no es óptimo, pero se busca desarrollar un plan que pueda implementarse rápidamente. También se destaca la importancia de asignar responsabilidades a las personas encargadas de llevar a cabo el mantenimiento y proporcionarles la formación necesaria.

En la segunda posibilidad el autor señala que, si ya existe un Plan de Mantenimiento, el enfoque es asegurarse de que se esté llevando a cabo correctamente. Se revisa el plan, se corrigen posibles errores y se verifica la disponibilidad de los recursos necesarios para su implementación. En ambos casos, se destaca la importancia de supervisar y asegurarse de que el plan de mantenimiento se esté ejecutando.

Por otro lado, García (2010), Viveros *et al.* (2013), Barberá *et al.* (2012) y Mora *et al.* (2009), coinciden que la estrategia conocida como RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) es ampliamente utilizada en la industria para el diseño de planes y estrategias de mantenimiento. Este método permite determinar de manera efectiva las necesidades de mantenimiento de activos físicos en su entorno operativo. Consiste en identificar las funciones de un sistema y los posibles modos de falla, y luego seleccionar de manera sistemática y homogénea las tareas de mantenimiento preventivo adecuadas y aplicables. El resultado es un conjunto de actividades de mantenimiento recomendadas para cada equipo, con contenido específico y frecuencias de ejecución definidas.

Los autores agregan que, la metodología de análisis RCM sigue un procedimiento que se basa en siete preguntas formuladas para identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operativo. La aplicación de este proceso está reglamentada por normas como la SAE-JA1011 y SAE-JA1012. Una vez seleccionadas las actividades de mantenimiento más eficientes para los equipos críticos, se establecen las recomendaciones finales del análisis RCM y se lleva a cabo su implementación. Esto implica la redacción de un plan o estrategia de mantenimiento para la instalación, asignando los recursos necesarios. La implementación del programa de mantenimiento preventivo generado permite anticiparse a los fallos, subsanarlos con el mínimo impacto en el funcionamiento del sistema, eliminar

las causas de algunos fallos e identificar aquellos fallos que no comprometen la seguridad del sistema.

2.2.7 Parámetros del mantenimiento

García (2010), aborda la importancia de establecer indicadores para evaluar el rendimiento y la evolución del departamento de mantenimiento. Estos indicadores permiten convertir los datos en información útil para tomar decisiones informadas. Agrega que, es crucial seleccionar cuidadosamente los indicadores que sean relevantes y proporcionen información significativa, evitando convertirlos en una lista interminable de datos. Por ejemplo, la disponibilidad de equipos puede ser un indicador, pero solo al agrupar los datos por líneas, áreas o zonas se obtiene información que permite tomar decisiones para mejorar los resultados.

García (2010), manifiesta que, en el contexto de un sistema de información digital (GMAO), el cálculo de los indicadores es más rápido y se recomienda automatizar su generación en informes periódicos. Sin embargo, si se utiliza soporte en papel, se sugiere desarrollar pequeñas aplicaciones (como hojas de cálculo) para calcular los índices de manera más eficiente. Además, es importante no solo conocer el valor actual de un indicador, sino también su evolución a lo largo del tiempo. Por lo tanto, al presentar los valores de los indicadores, se debe incluir la comparación con periodos anteriores y establecer objetivos para facilitar la comprensión de si los resultados son favorables o desfavorables. En resumen, junto al valor del índice, se deben proporcionar dos informaciones adicionales: los valores en periodos anteriores y los objetivos establecidos.

García (2010) propone algunos indicadores, los que se señalan a continuación:

- **Disponibilidad operativa**

Es uno de los indicadores más importantes en la gestión de mantenimiento. Es el cociente de dividir el número de horas que un equipo ha estado disponible para producir entre el número de horas totales de un periodo (Wireman, 2005). Es importante seleccionar los equipos significativos en lugar de calcular la disponibilidad de todos los equipos de una planta, ya que esto sería laborioso y no proporcionaría información relevante. Se sugiere

identificar aquellos equipos que tienen importancia en el sistema productivo (Puvanasvaran *et al.* 2013), se define la expresión matemática:

$$\text{Disponibilidad operativa} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

- **Tiempo medio entre fallos (MTBF)**

Nos permite conocer la frecuencia de fallas en horas.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Horas totales del periodo de análisis}}{\text{Número de averías}}$$

- **Tiempo medio de reparaciones (MTTR)**

Indicador para determinar la media de la reparación de cada fallo en horas.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Horas totales de paros por averías}}{\text{Número de averías}}$$

- **Disponibilidad inherente:**

Indicador de disponibilidad estimada a partir de los indicadores MTBF y MTTR, no considera las paradas programadas y otros tiempos por orígenes administrativos (Pinto *et al.* 2019).

$$\text{Disponibilidad inherente} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

Donde:

MTBF: Tiempo medio entre fallos

MTTR: Tiempo medio entre reparaciones

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

La presente investigación se aplicó a la empresa prestadora de servicio de alquiler de maquinaria agrícola Oblitas Tracto Parts E.I.R.L., ubicada en la zona de Ica, cuyo ámbito de acción se encuentra primordialmente en los distritos de Santiago, Los Aquijes y Pueblo Nuevo.

3.2 DISEÑO Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Presenta un enfoque cuantitativo, debido a que es una técnica para estudiar cualquier tipo de comunicación de una manera “objetiva” y sistemática, que cuantifica los mensajes o contenidos en categorías y subcategorías, y los somete a análisis estadístico (Sampieri 2018) La investigación es de diseño no experimental, longitudinal. Los diseños longitudinales son utilizados cuando el investigador está interesado en analizar cambios a lo largo del tiempo en diferentes categorías, conceptos, sucesos, variables, contextos o comunidades, así como en las relaciones entre ellos. Estos diseños implican recolectar datos en momentos o periodos distintos para realizar inferencias sobre el cambio, sus determinantes y consecuencias. Los puntos o periodos suelen ser especificados de antemano (Sampieri 2018)

3.3 TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.

La investigación presenta una temporalidad longitudinal y un alcance explicativo, ya que la investigación se centró en describir y explicar la evolución los indicadores de mantenimiento en el periodo señalado, con y sin intervención (Sampieri 2018).

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica empleada es el análisis documental y el instrumento empleado para la recolección de datos es la ficha de datos que posteriormente se pasará al formato Excel.

3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población y muestra son los 4 tractores agrícolas marca Kubota, modelo M8540.

3.6 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO

La investigación explicará las siguientes variables, las cuales se analizarán su evolución posterior a la implantación de la gestión de mantenimiento.

- MTBF
- MTTR
- Disponibilidad inherente

3.7 DISEÑO ESTADÍSTICO

3.7.1 Naturaleza de las variables

Variable MTBF: Indicador del tiempo medio entre fallos de los activos físicos reparables, tiene naturaleza cuantitativa continua.

Variable MTTR: Indicador del tiempo medio de reparación por falla, tiene naturaleza cuantitativa continua.

Variable Disponibilidad inherente: Indicador de la disponibilidad de los activos en un periodo de tiempo, tiene naturaleza cuantitativa continua.

3.7.2 Plan de análisis estadístico

Los datos obtenidos mediante el análisis documental fueron digitalizados en Excel, posteriormente fueron procesados y exportados a la herramienta estadística IBM SPSS Statistics 25. Se aplicó la prueba de diferencia de medias para las variables antes y después de la intervención (Implantación de la gestión de mantenimiento).

Se aplicó la prueba estadística: *t de Student*, utilizada para muestras relacionadas, para la observación de las diferencias de medias de dos mediciones (antes y después del tratamiento) de las variables.

3.8 DESARROLLO DE LA INTERVENCIÓN Y OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

Las etapas desarrolladas para la obtención de los resultados se describen a continuación en la Figura 2:

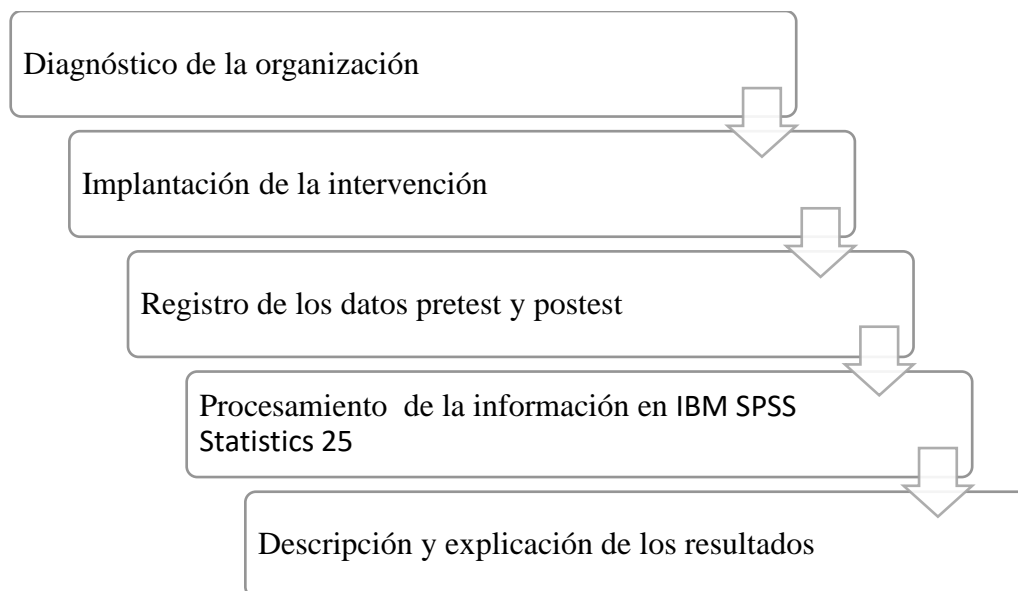


Figura 2: Etapas para la elaboración de resultados

Elaboración propia.

Se procedió a hacer un diagnóstico de la organización para identificar la situación actual de la misma, con la finalidad de determinar las acciones necesarias para mejorar su desempeño en cuanto a la disponibilidad de sus activos productivos.

Seguidamente se implanto la gestión de mantenimiento, siguiendo las siete etapas recomendadas por Barberá *et al.* (2012).

Posteriormente se registraron los datos correspondientes a los indicadores de mantenimiento antes y después de la intervención.

Luego, se procedió a procesar la información primero en Excel y seguidamente en el programa estadístico IBM SPSS Statistics 25. Finalmente se procedió a describir y explicar los resultados obtenidos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En vista que el objetivo general de esta investigación es el de diseñar un modelo de gestión de mantenimiento que permita lograr el incremento de la disponibilidad de los tractores agrícolas de la empresa Oblitas Tractor Parts E.I.R.L, se ha dispuesto en primera instancia el cumplimiento de los objetivos específicos uno, dos y tres. Con el cumplimiento de los objetivos específicos se conseguirá finalmente el logro del objetivo general. En tal sentido, se detallan los resultados de los objetivos específicos en el orden siguiente.

4.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 1.

4.1.1 Implementar la gestión de mantenimiento a empresa prestadora de servicios agrícolas Oblitas Tracto Parts E.I.R.L. en la ciudad de Ica, Lima – Perú:

En cuanto a la implementación de la gestión de mantenimiento a la empresa prestadora de servicios agrícolas de la ciudad de Ica, se procedió a aplicar el modelo propuesto por Barberá *et al.* (2012), quien propone siete etapas para su implementación:

Etapa 1: Análisis de la situación actual. Definición objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento.

a. Análisis de la situación actual

En cuanto al análisis de la situación actual del mantenimiento se presenta la Tabla 1:

**Tabla 1: Diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de la empresa
Oblitas Tractor Parts E.I.R.L**

| Información técnica | Situación actual |
|--|-------------------------|
| Entorno operacional | Si |
| Codificación de equipos | Si |
| Información técnica de cada equipo | Si |
| Historial de mantención | Si |
| Repuestos clave por equipo | No |
| Procedimientos de mantenimiento preventivo | No |
| Procedimientos de mantenimiento correctivo | No |

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al entorno operacional, si hay una comprensión del medio ambiente al cual es sometido el conjunto de tractores agrícolas de la empresa. En este sentido se resalta la alta exposición a humedad, productos químicos propios de la aplicación de productos fitosanitarios, altas temperaturas propias de la región y presencia de salitre. También se observó que los equipos contaban con una codificación, aunque no marcada en los activos, sino en el cuaderno de registro. El propietario y su personal identifican a sus equipos, sin embargo, para un personal nuevo, es dificultoso la identificación inmediata. Se observa cuidado en la limpieza de los equipos al retornar al almacén de guardado. Del mismo modo, se observó la presencia de los manuales de operación y mantenimiento de los equipos agrícolas de la empresa, sin embargo, su uso es mínimo. Finalmente, se observó el historial de intervenciones de cada uno de los equipos en un cuaderno de registro, donde se anotan los eventos de fallas, y el horómetro.

Por otro lado, no hay evidencia de un registro de información sobre los repuestos claves, así como un almacén adecuado para su conservación y disposición. No cuenta con procedimientos de mantenimientos preventivos ni correctivos. Las actividades de mantenimiento la realizan basadas en sus propias experiencias y el control es mínimo dado que es una organización familiar que adolece de una estructura organizativa clara.

b. Definición de objetivos estrategias y responsabilidades de mantenimiento

Para la definición de los objetivos, estrategias y responsabilidades, se preparó una matriz FODA como resultado de diversas entrevistas con los dueños de la empresa arrendadora de máquinas agrícolas, identificándose los siguientes elementos, según la Figura 3:

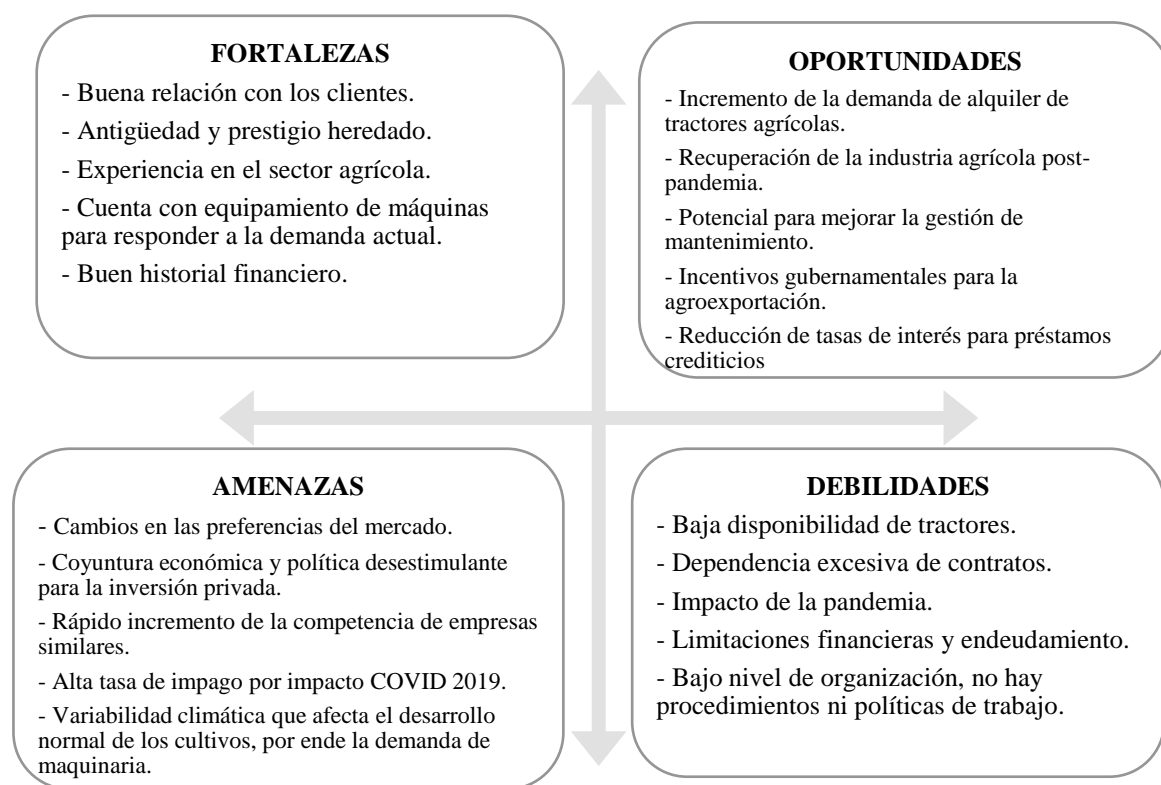


Figura 3: Análisis FODA para la identificación de los objetivos estratégicos

Fuente: Elaboración propia.

De los cuales se obtuvieron los objetivos estratégicos presentados en la Figura 4:



Figura 4: Determinación de los objetivos estratégicos de ofensiva, adaptativos, reactivos y defensivos

De la figura anterior los objetivos estratégicos competentes a la investigación y con la redacción adecuada sería:

- Mejorar la disponibilidad de servicio de los equipos agrícolas a 80 por ciento en los 12 meses.

Para el objetivo estratégico anterior se definen las estrategias en la Figura 5:

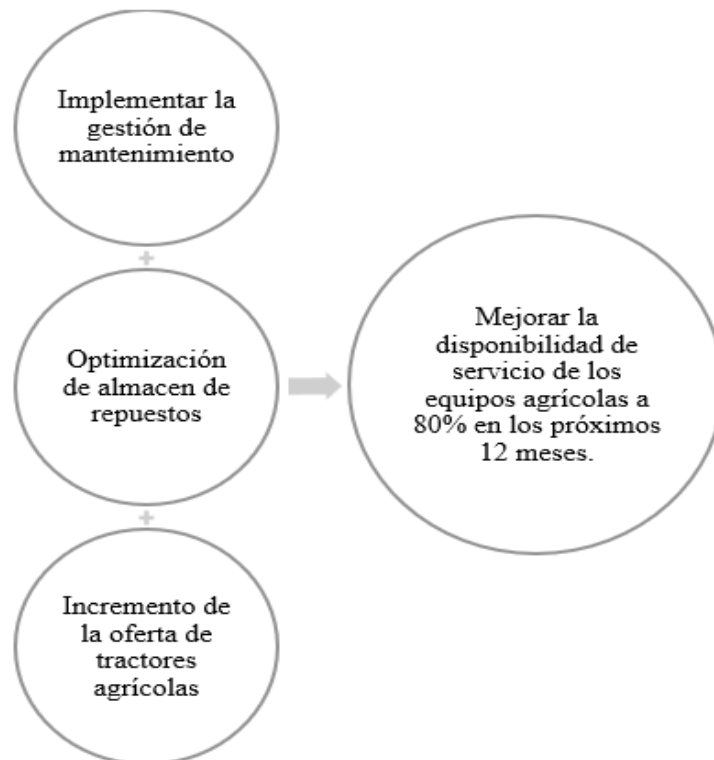


Figura 5: Estrategias para la consecución del objetivo estratégico de disponibilidad

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se concluye en este punto que, para el cumplimiento del objetivo estratégico mejorar la disponibilidad de servicio de los equipos agrícolas a 80 por ciento en los próximos 12 meses, una de las estrategias es la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento en la organización.

En cuanto a las responsabilidades de mantenimiento, se plantea un organigrama básico (García 2010), el cual consta de un jefe de mantenimiento, un asistente de jefatura, un técnico mecánico, un técnico electricista y 3 ayudantes, según la Figura 6, a continuación.

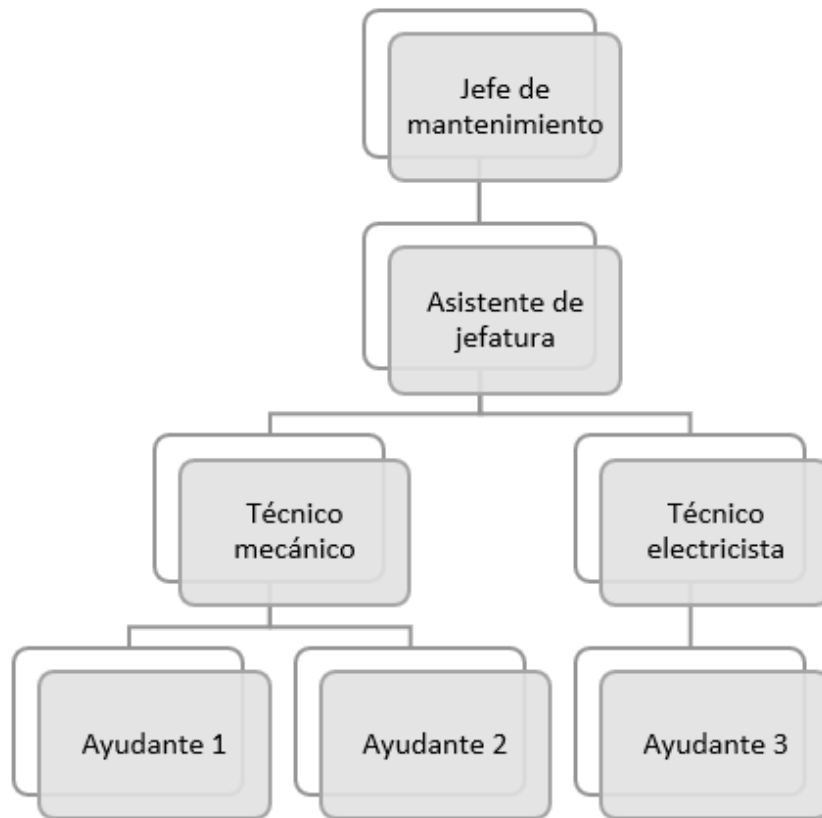


Figura 6: Propuesta de la organización de mantenimiento

Fuente: Tomado de García (2010)

Jefe de mantenimiento

Sus funciones son, asumir la responsabilidad de la gestión del mantenimiento, también se ocupa de los aspectos económicos. Asigna los recursos necesarios para las tareas, resuelve problemas que surgen durante el trabajo y actúa como punto de consulta para los operarios de mantenimiento. Además, supervisa el cumplimiento de las programaciones y resuelve cualquier desviación que pueda surgir. El jefe de mantenimiento también se involucra personalmente en situaciones de emergencia y se encarga de las actividades diarias del taller de mantenimiento.

Asistente de jefatura

El encargado de jefatura de mantenimiento tiene varias responsabilidades clave. Su función principal es garantizar el rendimiento adecuado del personal, solucionar problemas técnicos que puedan surgir durante el trabajo y proporcionar los materiales y medios técnicos necesarios. A diferencia del jefe de mantenimiento, que se enfoca en resultados a medio y largo plazo, el encargado se concentra en el día a día y resuelve de manera inmediata cualquier incidencia.

Técnico mecánico

Los mecánicos tienen la responsabilidad de desmontar, reparar, sustituir, montar y ajustar los elementos mecánicos de un equipo o instalación. Se busca que tengan una formación técnica en Mecánica y una experiencia acorde a su categoría. Se valoran características como la meticulosidad, paciencia, habilidad espacial y capacidad de abstracción.

Técnico electricista

Se ocupa de la parte eléctrica de los equipos especializado en aparatos de medida (medidores de presión, sensores de temperatura, analizadores, sensores de peso, de humedad, de caudal, de vibración, etc.), y en los dispositivos actuadores relacionados con estos (principalmente válvulas de control). Su misión es la calibración, ajuste y reparación de los citados instrumentos de medida, de los actuadores y de los lazos de control que los gobiernan.

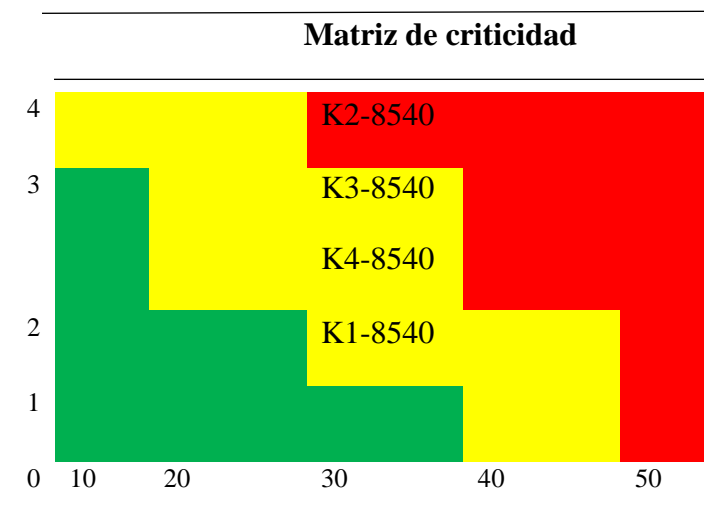
Ayudantes

Se deben de ocupar de las tareas básicas del mantenimiento, así como de asistir a los técnicos mecánico y electricista.

Etapa 2: Jerarquización de equipos.

Establecida la matriz de criticidad, se obtuvo los siguientes resultados en la Tabla 2:

Tabla 2: Matriz de criticidad para la jerarquización de los tractores agrícolas de la empresa Oblitas Tractor Parts E.I.R.L.



Fuente: Elaboración propia.

La matriz de criticidad mostrada en la Tabla 2, resultó del procesamiento de los datos presentados en la Tabla 3:

Tabla 3: Valoración de los factores: Frecuencia, Impacto operacional, Costo de mantenimiento, Impacto en seguridad, ambiente e higiene y Consecuencia

| Tractor agrícola | Frecuencia | Impacto Operacional | Flexibilidad Operacional | Costo de mantenimiento | Impacto en seguridad, ambiente e higiene | Consecuencia | TOTAL |
|------------------|------------|---------------------|--------------------------|------------------------|--|--------------|-------|
| K1 M8540 | 2 | 10 | 2 | 2 | 8 | 30 | 60 |
| K2 M8540 | 4 | 10 | 2 | 2 | 8 | 30 | 120 |
| K3 M8540 | 3 | 10 | 2 | 2 | 8 | 30 | 90 |
| K4 N8540 | 3 | 10 | 2 | 2 | 8 | 30 | 90 |

Fuente: Elaboración propia

De las tablas se puede observar que el tractor que se encuentra en la zona crítica es el tractor K2 M8540, debido principalmente a su alto índice de tasa de fallos, el cual fue calificado por el personal con la escala más alta (cuatro), impactando en la columna de consecuencia.

Por lo anterior, se debe prestar atención al tractor ubicado en la zona crítica, sobre el cual se llevará a cabo en la siguiente etapa de la implementación.

Etapa 3: Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto

En cuanto a la identificación de los puntos débiles del equipo crítico, se obtiene la siguiente información (Figura 7), proveniente del registro manual de fallas:

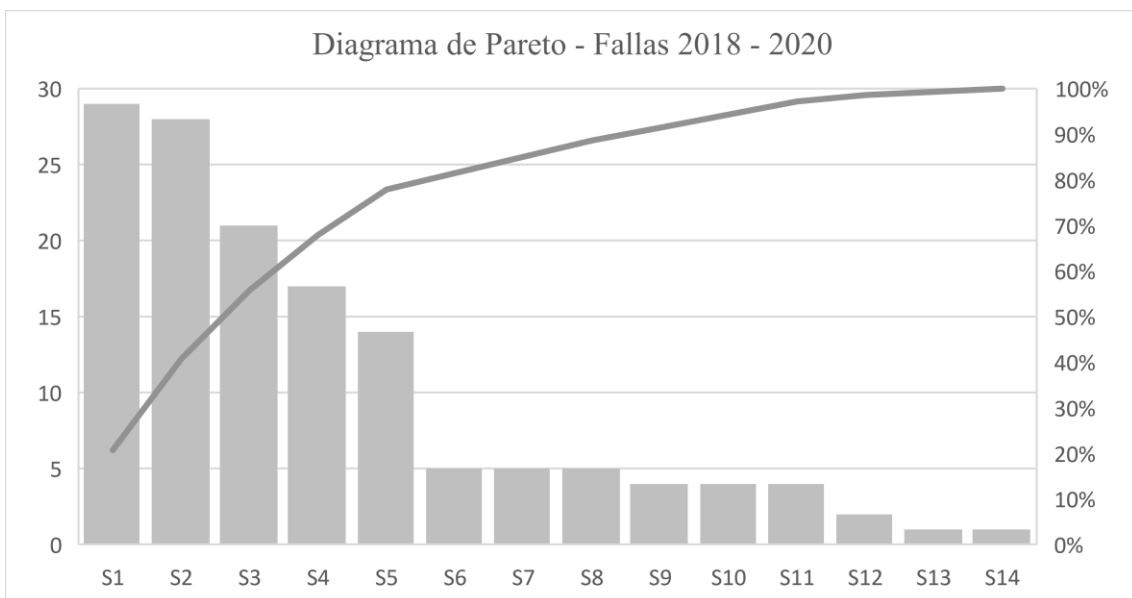


Figura 7: Diagrama de Pareto sobre el registro de fallas entre el 2018 y 2020

Fuente: Elaboración propia.

De donde se observa que los sistemas críticos que causan el 80 por ciento de las fallas correctivas son los S1, S2, S3 y S4. De los cuales se abordaron para la presente investigación el análisis de los sistemas S1 y S2.

En cuanto a los detalles de los sistemas, se explica en la Tabla 4:

**Tabla 4: Sistemas identificados de los tractores agrícolas de la empresa Oblitas
Tractor Parts E.I.R.L**

| Sistema | Símbolo | 2018 | 2019 | 2020 | Total, fallas | Porcentaje Frecuencia | Porcentaje Frecuencia Acum. |
|---------------------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|------------------------------|------------------------------------|
| Sistema de inyección | S1 | 10 | 10 | 9 | 29 | 20,71 | 20,71 |
| Sistema de admisión y escape | S2 | 11 | 9 | 8 | 28 | 20,00 | 40,71 |
| Embrague | S3 | 6 | 7 | 8 | 21 | 15,00 | 55,71 |
| Sistema de frenos | S4 | 6 | 5 | 6 | 17 | 12,14 | 67,86 |
| Sistema eléctrico general | S5 | 4 | 5 | 5 | 14 | 10,00 | 77,86 |
| Sistema enfriamiento de motor | S6 | 1 | 3 | 1 | 5 | 3,57 | 81,43 |
| Caja de cambios | S7 | 2 | 1 | 2 | 5 | 3,57 | 85,00 |
| Dirección | S8 | 1 | 2 | 2 | 5 | 3,57 | 88,57 |
| Toma de fuerza | S9 | 1 | 2 | 1 | 4 | 2,86 | 91,43 |
| Diferenciales | S10 | 1 | 1 | 2 | 4 | 2,86 | 94,29 |
| Sistema de levante hidráulico | S11 | 1 | 1 | 2 | 4 | 2,86 | 97,14 |
| Sistema de arranque | S12 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1,43 | 98,57 |
| Mandos finales | S13 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,71 | 99,29 |
| Sistema de lubricación de motor | S14 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0,71 | 100,00 |

Fuente: Elaboración propia

Dado que los sistemas 1 y 2, correspondientes a los sistemas de inyección y de admisión y escape. Se procede a utilizar la técnica de Ishikawa para encontrar la causa raíz de las fallas originadas en tales sistemas. Encontrándose lo siguiente en las Figuras 8 y 9:

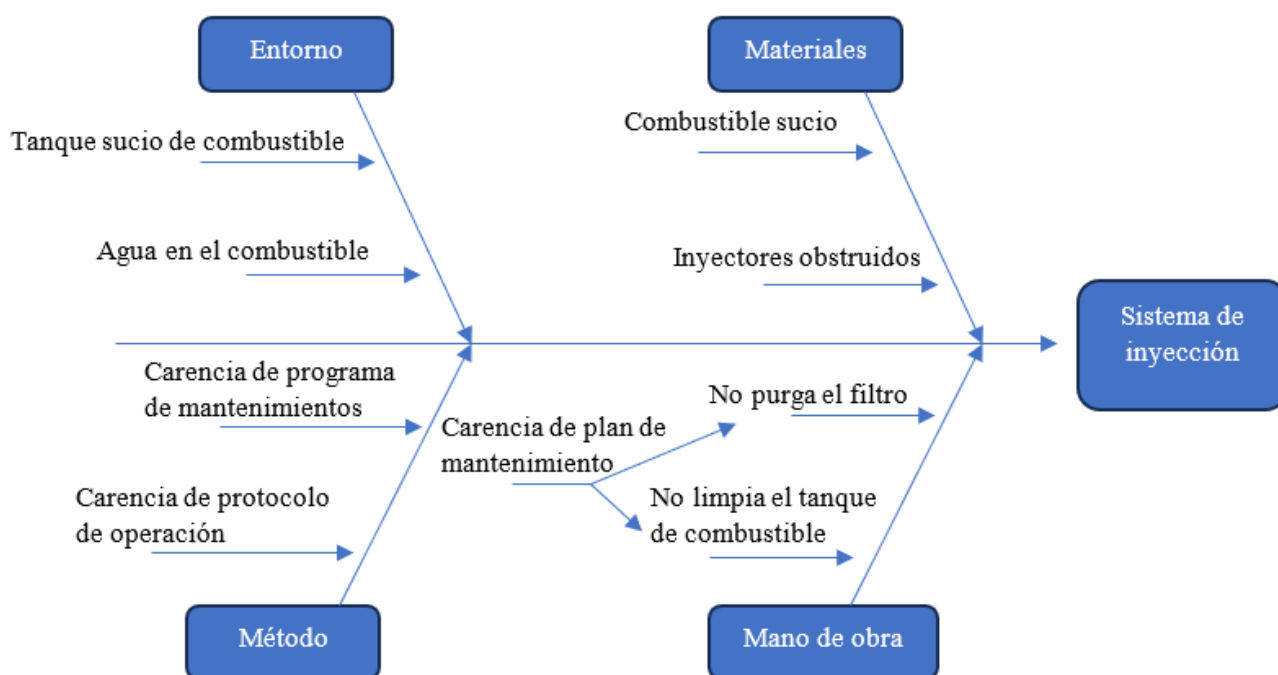


Figura 8: Diagrama de Ishikawa del Sistema de inyección del tractor Kubota K2 M8540

Fuente: Elaboración propia

En el diagrama de Ishikawa mostrado, se identifican diferentes causas relacionadas con los materiales, la mano de obra, el método y el entorno, que pueden contribuir a las fallas en el sistema de inyección del tractor agrícola.

En la categoría de materiales, se identificaron dos posibles causas: el combustible sucio y los inyectores obstruidos de suciedad. Aquí es importante destacar la importancia de una gestión adecuada de los materiales utilizados en el mantenimiento. Una buena práctica de gestión de activos incluye el uso de combustibles de calidad, el control de la contaminación y la selección de inyectores confiables y limpios. Esto requiere una gestión efectiva de la cadena de suministro, así como la implementación de prácticas de inspección y mantenimiento preventivo.

En la categoría de mano de obra, se encontraron dos posibles causas: no purgar el filtro de agua y no limpiar el tanque de combustible. Aquí se resalta la importancia de contar con un

equipo de mantenimiento competente y debidamente capacitado. Una gestión de mantenimiento efectiva implica la formación y capacitación continua del personal, asegurando que estén familiarizados con los procedimientos adecuados de mantenimiento y sigan las mejores prácticas de manutención. Además, es crucial establecer un sistema de actividades de mantenimiento que garantice la realización de actividades de mantenimiento programadas, como la purga del filtro de agua y la limpieza del tanque de combustible, entre otros.

En la categoría de método, se mencionan dos posibles causas: la falta de procedimientos de operación de los tractores agrícolas y la ausencia de un programa de mantenimiento. Aquí es fundamental implementar una gestión de activos sólida que incluya el desarrollo y documentación de procedimientos de operación y mantenimiento. Estos procedimientos deben ser claros, detallados y accesibles para el personal de mantenimiento. Asimismo, es esencial establecer un programa de mantenimiento preventivo, que defina tareas, frecuencias y responsabilidades específicas para mantener los tractores agrícolas en óptimas condiciones de funcionamiento.

En la categoría de entorno, se encontraron dos posibles causas: el tanque de combustible sucio y la presencia de agua en el depósito de combustible, filtros y conductos. Esto implica implementar prácticas como la limpieza y el control regular del tanque de combustible, así como la protección adecuada contra la humedad y la contaminación. Además, se deben establecer programas de inspección y mantenimiento para detectar y corregir posibles problemas ambientales que puedan afectar el sistema de inyección.

La causa raíz identificada en este diagrama es la carencia de un plan de mantenimiento. Aquí es donde la gestión de mantenimiento y de activos juega un papel fundamental. Un plan de mantenimiento adecuado incluye la planificación y programación

Correspondiente al sistema de admisión y escape se tiene:

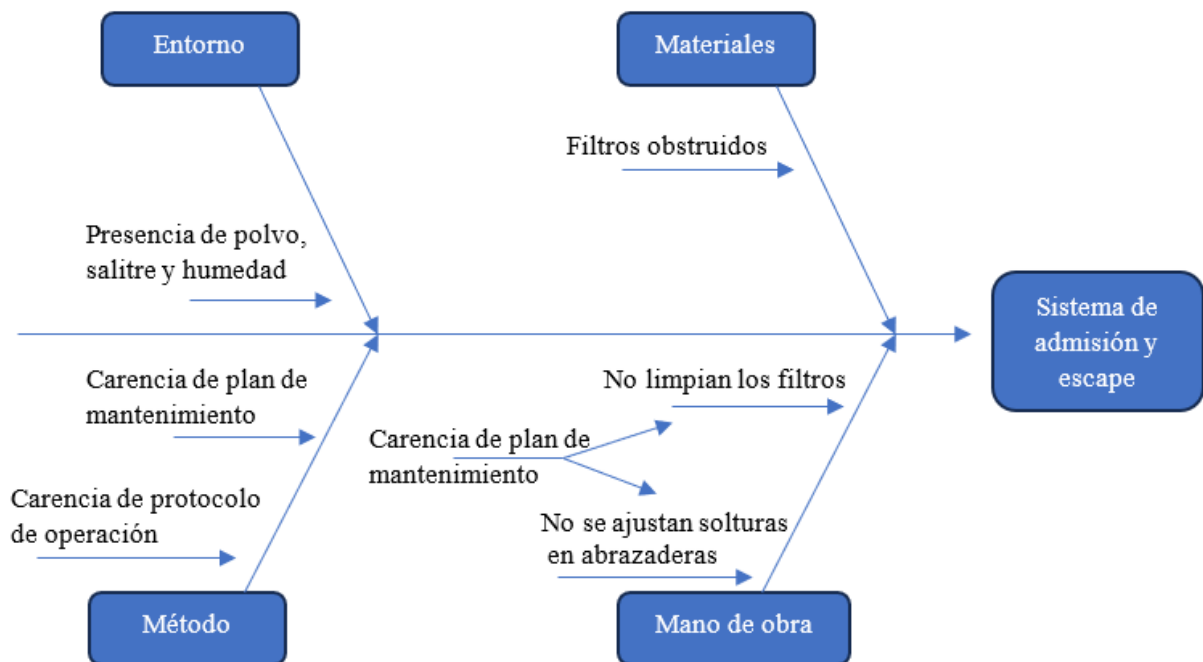


Figura 9: Diagrama de Ishikawa del Sistema de admisión y escape del tractor Kubota K2 M8540

Fuente: Elaboración propia

En la categoría de materiales, se identificó una posible causa: filtros obstruidos. Aquí es importante destacar la importancia de una gestión adecuada de los materiales utilizados en el mantenimiento. Los filtros desempeñan un papel crucial en la protección de los componentes del tractor, evitando la entrada de partículas y contaminantes en el sistema. Una buena práctica de gestión de mantenimiento implica la selección de filtros de calidad y su reemplazo regular según las recomendaciones del fabricante.

En la categoría de mano de obra, se mencionan dos posibles causas: no limpiar los filtros y no ajustar las soldaduras en las abrazaderas. Similar al diagrama anterior, aquí es fundamental contar con un equipo de mantenimiento competente y debidamente capacitado.

En la categoría de método, se encontraron dos posibles causas: carencia de un plan de mantenimiento y de protocolo de operación. Aquí, la gestión de mantenimiento se enfoca en

establecer y seguir un plan estructurado de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo. Al igual que el diagrama anterior, urge la necesidad de definir un plan de mantenimiento adecuado que incluya la definición de tareas, frecuencias y responsabilidades para mantener el tractor en óptimas condiciones.

En la categoría de entorno, se mencionan posibles causas como la presencia de polvo, salitre y humedad, especialmente debido a que el tractor trabaja en la costa, cerca del mar, y aplica productos químicos a las plantas. Aquí, la gestión de mantenimiento debe adaptarse a las condiciones ambientales particulares. Es necesario implementar medidas de protección y mantenimiento adecuadas para contrarrestar los efectos de la corrosión, la obstrucción por polvo y la humedad en los componentes del tractor. Esto puede incluir el uso de recubrimientos protectores, limpieza regular y el uso de materiales resistentes a la corrosión.

En tal sentido, para este segundo caso, también se define que la causa raíz del problema es la carencia de un plan de mantenimiento.

Etapa 4: Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios

En esta etapa se propone el diseño del plan de mantenimiento, el cual consta de describir las siguientes actividades de mantenimiento, a continuación, en la Tabla 5, se muestra parte de las actividades de mantenimiento correspondiente al motor.

Tabla 5: Actividades de mantenimiento propuestas para los tractores agrícolas de Oblitas Tractor Parts E.I.R.L

| Actividades de rutina diaria |
|--|
| Comprobación y llenado de combustible |
| Comprobación del decantador de agua |
| Comprobación del nivel de aceite del motor |
| Comprobación del nivel del aceite de la transmisión |
| Comprobación del nivel de refrigerante |
| Limpieza de la válvula evacuadora |
| Limpieza de rejilla, parrilla del radiador, radiador de aceite y soporte de la batería |
| Comprobación del pedal del freno |
| Comprobar freno de estacionamiento |
| Comprobación de los faros, luces de emergencia, etc. |
| Comprobación del cinturón de seguridad |
| Comprobación de Piezas Móviles |
| Comprobación y llenado de combustible |
| Comprobación del decantador de agua |
| Comprobación del nivel de aceite del motor |
| Comprobación del nivel del aceite de la transmisión |
| Comprobación del nivel de refrigerante |
| Limpieza de la válvula evacuadora |
| Limpieza de rejilla, parrilla del radiador, radiador de aceite y soporte de la batería |
| Comprobación del pedal del freno |
| Comprobar freno de estacionamiento |
| Comprobación de los faros, luces de emergencia, etc. |
| Comprobación del cinturón de seguridad |

Fuente: Adaptado KUBOTA Corporation (2020)

Las actividades mencionadas en la Tabla 5, son de vital importancia para asegurar el correcto funcionamiento, la confiabilidad y la durabilidad del equipo.

Comprobar y cambiar el aceite del motor es crucial, ya que el aceite lubrica y protege las partes móviles del motor. Al verificar el nivel y cambiar el aceite de forma regular, se garantiza un rendimiento eficiente y se previene el desgaste prematuro de las piezas.

El filtro de aceite del motor debe ser reemplazado para retener las impurezas y contaminantes que podrían dañar el motor. Mantener los filtros limpios asegura que el aceite cumpla su función de manera adecuada.

El sistema de refrigeración también es importante, por lo que se debe comprobar la junta y el nivel de refrigerante para prevenir fugas y sobrecalentamientos. Un sistema de refrigeración en buen estado garantiza que el motor opere a la temperatura adecuada y evita daños graves.

Es esencial comprobar y limpiar la tapa del radiador para mantener la presión adecuada en el sistema de enfriamiento, prevenir fugas y mantener una temperatura estable.

Las correas, que transmiten energía del motor a diferentes componentes, deben ser comprobadas y ajustadas en su tensión para evitar el deslizamiento y desgaste prematuro.

Los filtros de aire protegen al motor de partículas y contaminantes presentes en el aire de admisión. Reemplazar los filtros de aire regularmente asegura una combustión adecuada y evita que partículas dañinas ingresen al motor.

Mantener limpios los radiadores y las rejillas del radiador es esencial para un intercambio de calor eficiente y evitar obstrucciones que puedan afectar el rendimiento del sistema de enfriamiento.

La inspección y comprobación de la bomba de agua y el turbocompresor son actividades importantes para garantizar el suministro adecuado de agua y aire al motor, lo cual evita posibles fallos y problemas de rendimiento.

Realizar estas actividades de mantenimiento preventivo ayuda a mantener el tractor agrícola en condiciones óptimas, reduciendo el riesgo de averías y prolongando su vida útil. Además, un mantenimiento adecuado contribuye a la seguridad del operador y a la disponibilidad del

equipo en el campo. Siguiendo las recomendaciones del fabricante y realizando estas actividades de acuerdo con los intervalos establecidos en el manual de mantenimiento, se obtienen los mejores resultados y se maximiza el rendimiento del tractor.

Etapa 5: Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos

a. Sobre la programación del mantenimiento

En esta etapa se propone la documentación de los planes de mantenimientos básicos para los tractores de la empresa prestadora de servicios de alquiler de maquinaria agrícola. Cabe destacar que la empresa, no cuenta con documentación pertinente sobre las actividades y su programación que aborden tareas básicas de mantenimiento, por lo que se propone el desarrollo del siguiente plan (KUBOTA Corporation 2020).

Programar las actividades de mantenimiento en un cronograma basado en horas es de suma importancia en la gestión de mantenimiento de un tractor agrícola. Establecer un plan de mantenimiento preventivo basado en intervalos de horas de uso ayuda a prevenir averías inesperadas y a mantener el equipo en condiciones óptimas. Al programar estas actividades, se garantiza que se realicen de manera regular y oportuna, lo que contribuye a prevenir el desgaste prematuro de las piezas, reducir los tiempos de inactividad y minimizar los costos de reparación.

El cumplimiento estricto del cronograma de mantenimiento es esencial para asegurar la confiabilidad y el rendimiento continuo del tractor agrícola. Cumplir con las actividades programadas garantiza que se realicen las inspecciones, ajustes y reemplazos necesarios, lo que ayuda a detectar y resolver problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas mayores. Además, el cumplimiento del plan de mantenimiento permite maximizar la vida útil de los componentes, optimizar la eficiencia operativa y minimizar el riesgo de interrupciones en la producción agrícola. Además, un buen registro de las actividades realizadas durante el mantenimiento ayuda a mantener un historial completo y preciso del equipo, lo que facilita la toma de decisiones informadas en la gestión de activos y permite llevar un control adecuado de los costos asociados al mantenimiento.

A continuación, se muestra en la Tabla 6, parte del plan de mantenimiento.

Tabla 6: Cronograma del plan de mantenimiento para los tractores Kubota M8540 para la empresa Oblitas Tracto Parts E.I.R.L.

| N° | Elementos | Actividad | Intervalo |
|-----------|--|------------------|------------------|
| 1 | Comprobación y llenado de combustible | Comprobar | diario |
| 2 | Comprobación del decantador de agua | Comprobar | diario |
| 3 | Comprobación del nivel de aceite del motor | Comprobar | diario |
| 4 | Comprobación del nivel del aceite de la transmisión | Comprobar | diario |
| 5 | Comprobación del nivel de refrigerante | Comprobar | diario |
| 6 | Limpieza de la válvula evacuadora | Limpiar | diario |
| 7 | Limpieza de rejilla, parrilla del radiador, radiador de aceite y soporte de la batería | Limpiar | diario |
| 8 | Comprobación del pedal del freno | Comprobar | diario |
| 9 | Comprobar freno de estacionamiento | Comprobar | diario |
| 10 | Comprobación de los faros, luces de emergencia, etc. | Comprobar | diario |
| 11 | Comprobación del cinturón de seguridad | Comprobar | diario |
| 12 | Comprobación de Piezas Móviles | Comprobar | diario |
| 13 | Par de apriete de los tornillos de las ruedas | Comprobar | cada 100 h |
| 14 | Estado de la batería | Comprobar | cada 100 h |
| 15 | Engrase | --- | cada 100 h |
| 16 | Correa del ventilador | Ajustar | cada 100 h |
| 17 | Correa del alternador | Ajustar | cada 100 h |
| 18 | Pedal de freno | Ajustar | cada 100 h |
| 19 | Elemento del filtro de aire | Limpiar | cada 100 h |

| | | | |
|----|---|-----------|-------------|
| 20 | Elemento principal | Sustituir | cada 1 año |
| 21 | Elemento secundario | Sustituir | cada 1 año |
| 22 | Circuito de combustible | Comprobar | cada 100 h |
| 23 | Circuito de combustible | Sustituir | cada 2 años |
| 24 | Freno de estacionamiento (cable) | Ajustar | cada 100 h |
| 25 | Freno de estacionamiento | Sustituir | cada 2 años |
| 26 | Agua del depósito de combustible | Drenar | cada 100 h |
| 27 | Circuito de aceite de la dirección asistida | Comprobar | cada 100 h |
| 28 | Circuito de aceite de la dirección asistida | Sustituir | cada 2 años |
| 29 | Manguito y abrazadera del radiador | Comprobar | cada 100 h |
| 30 | Manguito y abrazadera del radiador | Sustituir | cada 2 años |
| 31 | Manguitos de admisión de aire | Comprobar | cada 100 h |
| 32 | Manguitos de admisión de aire | Sustituir | cada 2 años |
| 33 | Aceite del motor | Cambiar | cada 300 h |
| 34 | Filtro del aceite hidráulico | Sustituir | cada 300 h |
| 35 | Separador de agua | Limpiar | cada 300 h |
| 36 | Filtro de combustible | Sustituir | cada 300 h |
| 37 | Filtro de aceite del motor | Sustituir | cada 600 h |
| 38 | Aceite de la transmisión | Cambiar | cada 600 h |
| 39 | Aceite de la caja del diferencial | Cambiar | cada 600 h |
| 40 | Aceite de la caja del diferencial del eje delantero | Cambiar | cada 600 h |
| 41 | Pivote del eje delantero | Ajustar | cada 600 h |
| 42 | Holgura de las válvulas del motor | Ajustar | cada 1200 h |
| 43 | Presión de inyección de la tobera de inyección de combustible | Comprobar | cada 1200 h |

| | | | |
|----|--------------------------------------|-----------|--------------------|
| 44 | Turbocompresor | Comprobar | cada 3000 h |
| 45 | Bomba de inyección | Comprobar | cada 3000 h |
| 46 | Sistema de refrigeración | Lavar | cada 1200 h |
| 47 | Refrigerante | Cambiar | cada 1200 h |
| 48 | Filtro de la bomba de frenos | Limpiar | cada 2 años |
| 49 | Latiguillo del cilindro de elevación | Sustituir | cada 2 años |
| 50 | Kit del cilindro principal | Sustituir | cada 2 años |
| 51 | Kit del compensador | Sustituir | cada 2 años |
| 52 | Juntas de freno 1 y 2 | Sustituir | cada 2 años |
| 53 | Sistema de combustible | Purgar | Cuando se requiera |
| 54 | Sistema de frenos | Purgar | |
| 55 | Agua en la carcasa del embrague | Drenar | |
| 56 | Fusible | Sustituir | |
| 57 | Lámpara | Sustituir | |

Fuente: Adaptado KUBOTA Corporation (2020)

Con relación a lo mencionado por García (2010), propone los formatos de apoyo a la ejecución de tareas de mantenimiento sobre los tractores agrícolas de Oblitas Tracto Parts E.I.R.L. A continuación, el formato de lista de verificación diaria de mantenimiento (Figura 10):

| OBLITAS TRACTOR PARTS ELR.L. | LISTA DE CONTROL DE MANTENIMIENTO | | FRECUENCIA: DIARIA |
|--|--|-------------|---|
| | INSPECCIÓN GENERAL DIARIA | | Actualizado: 01/01/2021 |
| Código de equipo: | | | |
| Operador: | | | FECHA: |
| Hora de inicio: | Hora final: | | Tiempo normal: 25 minutos |
| HERRAMIENTAS: | | | EQUIPO DE PROTECCIÓN |
| INSUMOS: Trapos limpios, aceite hidráulico, aceite de motor, aceite de transmisión | | | Botas de seguridad Guantes Mameluco |
| RIESGOS DEL TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS | | | |
| 1.-Productos químicos. Trabajar con guantes. Leer y conocer fichas de seguridad. 2.-Temperaturas altas en algunas zonas. Precaución para no tocar partes calientes. 3.-Trabajos con disolventes. Riesgo de incendio y explosión. No fumar en las inmediaciones. 4.-Riesgos eléctricos. No tocar cables, ni manipular equipos bajo tensión. Solicitar aislamiento antes de intervenir. | | | |
| Descripción | Realiz. (✓) | Obs. (X) | Estándar |
| Inspección alrededor del vehículo | | | Limpio, sin presencia de suciedad acumulada, pemos flojos, fugas de aceite, refrigerante, combustible, piezas rotas o en mal estado |
| Comprobación y llenado de combustible | | | Depósito tanqueado del día anterior |
| Comprobación del decantador de agua | | | Nivel de agua por debajo de la marca |
| Comprobación del nivel de aceite del motor | | | Nivel entre mínimo y máximo |
| Comprobación del nivel del aceite de la transmisión | | | Nivel entre mínimo y máximo |
| Comprobación del nivel de refrigerante | | | Nivel entre mínimo y máximo |
| Limpieza de la válvula evacuadora | | | Libre de partículas de polvo y suciedad |
| Limpieza de rejilla, parrilla del radiador, radiador de aceite y soporte de la batería | | | Rejilla, parrilla, radiadores y soporte de batería limpios de residuos o barro |
| Comprobación del pedal del freno | | | Carrera libre y desplazamiento suave |
| Comprobar freno de estacionamiento | | | Suave, funcional y la luz indicadora activa en el panel |
| Comprobación de los faros, luces de emergencia, etc. | | | Luces operativas y sin rajadura o roturas |
| Comprobación del cinturón de seguridad | | | Elementos de fijación funcionales |
| Comprobación de Piezas Móviles | | | Palancas y pedales de movimiento suave y libres de óxidos |
| OBSERVACIONES ENCONTRADAS: | OPERADOR (Apellidos, nombres y firma): | | |

Figura 10: Formato diario de mantenimiento de rutina

A continuación, se presenta el formato de verificación del mantenimiento preventivo a las 100 horas, (Figura 11):

| | | | |
|--|---|---|---|
| OBLITAS TRACTOR PARTS ELR.L. | LISTA DE CONTROL DE MANTENIMIENTO | | FRECUENCIA: 100 HORAS |
| | INSPECCIÓN CADA 100 HORAS | | Actualizado: 01/01/2021 |
| Código de equipo: | | | |
| Operador: | | FECHA: | |
| Hora de inicio: | Hora final: | Tiempo normal: 35 minutos | |
| HERRAMIENTAS: Torquímetro, engrasadera, compresora de aire, juego de destornilladores. | | EQUIPO DE PROTECCIÓN | |
| INSUMOS: Trapos limpios, grasa, depósito. | | Botas de seguridad Guantes Mameluco Protector ocular | |
| RIESGOS DEL TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS | | | |
| 1.-Productos químicos. Trabajar con guantes. Leer y conocer fichas de seguridad. 2.-Temperaturas altas en algunas zonas. Precaución para no tocar partes calientes. 3.-Trabajos con disolventes. Riesgo de incendio y explosión. No fumar en las inmediaciones. 4.-Riesgos eléctricos. No tocar cables, ni manipular equipos bajo tensión. Solicitar aislamiento antes de intervenir. | | | |
| Descripción | Realiz. (✓) | Obs. (X) | Estándar |
| Comprobación de par de apriete de pernos de las ruedas | | | Delanteras 170-195 Nm/ posteriores 260 - 300 Nm |
| Lubricación de puntos de engrase en ejes, sistema de enganche hidráulico y bomes de batería | | | Lubricados y limpios, sin exceso de grasa |
| Limpieza del elemento primario del filtro de aire | | | Limpio, libres de polvo o aceite |
| Ajuste de tensión de correa del ventilador | | | Deflexión de 15mm al ejercer presión, debe estar en buen estado |
| Ajuste de tensión de correa del alternador | | | Deflexión de 10mm al ejercer presión, debe estar en buen estado |
| Comprobación del circuito de combustible | | | Tubos, abrazaderas apretadas, limpias y sin daños |
| Ajuste de pedal de freno | | | Suave y carrera máxima de 100mm en cada pedal |
| Comprobación de estado de batería | | | Batería cargada, fijación de cables ajustadas y bomes limpios |
| Comprobación de los manguitos y abrazaderas del radiador y de admisión de aire | | | Manguitos limpios, sin rajaduras, flexibles y abrazaderas en buen estado y fijadas firmemente |
| Comprobación del circuito de la dirección asistida | | | Tubos y abrazaderas limpias, en buen estado y fijadas firmemente. |
| Drenaje del depósito de combustible | | | Presencia relativa de sedimentos, impurezas y agua. |
| OBSERVACIONES ENCONTRADAS: | OPERADOR (Apellidos, nombres y firma): | | |

Figura 11: Formato de mantenimiento cada 100 horas

A continuación, se presenta el formato de mantenimiento de cada 300 horas, (Figura 12):

| | | | | |
|--|--|--|--|----------------------------------|
| OBLITAS TRACTOR PARTS ELR.L. | LISTA DE CONTROL DE MANTENIMIENTO | | FRECUENCIA: 300 HORAS | |
| | MANTENIMIENTO CADA 300 HORAS | | Actualizado: 01/01/2021 | |
| Código de equipo: | | | | |
| Operador: | | | FECHA: | |
| Hora de inicio: | | Hora final: | | Tiempo normal: 90 minutos |
| HERRAMIENTAS: Juego de llaves, llave de filtros, juego de destornilladores | | | EQUIPO DE PROTECCIÓN Botas de seguridad Guantes Mameluco | |
| INSUMOS: Trapos limpios, depósitos, petróleo, aceite para motor | | | | |
| RIESGOS DEL TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS 1.-Productos químicos. Trabajar con guantes. Leer y conocer fichas de seguridad. 2.-Temperaturas altas en algunas zonas. Precaución para no tocar partes calientes. 3.-Trabajos con disolventes. Riesgo de incendio y explosión. No fumar en las inmediaciones. 4.-Riesgos eléctricos. No tocar cables, ni manipular equipos bajo tensión. Solicitar aislamiento antes de intervenir. | | | | |
| Descripción | Realiz. (✓) | Obs. (X) | Estándar | |
| Cambio del aceite del motor | | | SAE 15W40 | |
| Sustitución de filtro de aceite del motor | | | Original de fábrica | |
| Sustitución del filtro de aire de motor | | | Original de fábrica | |
| Sustitución del filtro de combustible | | | Original de fábrica | |
| Sustitución del filtro de aceite hidráulico | | | Original de fábrica | |
| Limpieza de bomba de transferencia de combustible | | | Filtro y carcasa limpios | |
| Limpieza del decantador de agua | | | Vaso decantador limpio de impurezas | |
| OBSERVACIONES ENCONTRADAS: | | OPERADOR (Apellidos, nombres y firma): | | |

Figura 12: Formato de mantenimiento cada 300 horas

En cuanto al mantenimiento cada 600 horas. Se presenta el formato de mantenimiento en la Figura 13:

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| OBLITAS TRACTOR PARTS E.L.R.L. | LISTA DE CONTROL DE MANTENIMIENTO | | FRECUENCIA: 600 HORAS | |
| | MANTENIMIENTO CADA 600 HORAS | | Actualizado: 01/01/2021 | |
| Código de equipo: | | | | |
| Operador: | | | FECHA: | |
| Hora de inicio: | | Hora final: | Tiempo normal: 90 minutos | |
| HERRAMIENTAS: Juego de llaves. | | | EQUIPO DE PROTECCIÓN Botas de seguridad Guantes Mameluco | |
| INSUMOS: Lubricante para transmisión | | | | |
| RIESGOS DEL TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS 1.-Productos químicos. Trabajar con guantes. Leer y conocer fichas de seguridad. 2.-Temperaturas altas en algunas zonas. Precaución para no tocar partes calientes. 3.-Trabajos con disolventes. Riesgo de incendio y explosión. No fumar en las inmediaciones. 4.-Riesgos eléctricos. No tocar cables, ni manipular equipos bajo tensión. Solicitar aislamiento antes de intervenir. | | | | |
| Descripción | Realiz. (✓) | Obs. (X) | Estándar | |
| Cambio del aceite de la transmisión | | | SAE 10W30 | |
| Cambio de aceite de la reducción final del eje delantero | | | SAE 10W30 | |
| Cambio de aceite en el diferencial del eje delantero | | | SAE 10W30 | |
| OBSERVACIONES ENCONTRADAS: | | OPERADOR (Apellidos, nombres y firma): | | |

Figura 13: Formato de mantenimiento cada 600 horas

A continuación, se presenta el formato del mantenimiento para las 1200 horas en la Figura 14:

| | | | | |
|--|--|--------------------|--|----------------------------------|
| OBLITAS TRACTOR PARTS ELRL. | LISTA DE CONTROL DE MANTENIMIENTO | | FRECUENCIA: 1200 HORAS | |
| | MANTENIMIENTO CADA 1200 HORAS | | Actualizado: 01/01/2021 | |
| Código de equipo: | | | | |
| Operador: | | | FECHA: | |
| Hora de inicio: | | Hora final: | | Tiempo normal: 90 minutos |
| HERRAMIENTAS: Juego de llaves. | | | EQUIPO DE PROTECCIÓN Botas de seguridad Guantes Mameluco | |
| INSUMOS: Líquido refrigerante. | | | | |
| RIESGOS DEL TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS 1.-Productos químicos. Trabajar con guantes. Leer y conocer fichas de seguridad. 2.-Temperaturas altas en algunas zonas. Precaución para no tocar partes calientes. 3.-Trabajos con disolventes. Riesgo de incendio y explosión. No fumar en las inmediaciones. 4.-Riesgos eléctricos. No tocar cables, ni manipular equipos bajo tensión. Solicitar aislamiento antes de intervenir. | | | | |
| Descripción | Realiz. (✓) | Obs. (X) | Estándar | |
| Holgura de la válvula del motor | | | Servicio de distribuidor oficial | |
| Comprobación de inyectores de combustible | | | Servicio de distribuidor oficial | |
| Drenaje y limpieza del radiador | | | Líquido refrigerante original de fábrica, radiadores limpios, libres de barro e impurezas. | |
| OBSERVACIONES ENCONTRADAS: | OPERADOR (Apellidos, nombres y firma): | | | |

Figura 14: Formato de mantenimiento cada 1200 horas

b. Sobre los informes tras la realización de las hojas de lista de control de actividades de mantenimiento

La realización de las actividades de mantenimiento es un proceso que incluye la redacción de un informe detallado que registra todas las anomalías encontradas y las reparaciones realizadas o requeridas. Es recomendable recopilar todas las incidencias identificadas en las rutas diarias en un informe único llamado "Parte de Incidencias". En este informe, se deben especificar los parámetros fuera de rango, las observaciones relacionadas con fugas, vibraciones y ruidos anómalos, y cualquier otra observación relevante.

Después de redactar el Parte de Incidencias, una persona autorizada debe revisarlo y emitir Órdenes de Trabajo correspondientes a cada anomalía detectada. Estas tareas, que incluyen la redacción del informe, la emisión de las Órdenes de Trabajo y su seguimiento, son de vital importancia. Si no se llevan a cabo, resulta inútil poner en marcha las rutas diarias. Los principales objetivos de estas actividades son detectar anomalías en una etapa temprana, antes de que se conviertan en problemas graves, y tener un conocimiento actualizado del estado de los activos.

Dado que es probable que muchas de las órdenes emitidas no se resuelvan antes de la siguiente ruta diaria, surge la pregunta de si es necesario registrar todas las anomalías encontradas en cada ruta o solo las nuevas fallas que no fueron detectadas en inspecciones anteriores. Una solución práctica recomendada por el autor Santiago García Garrido en su libro: *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*, es registrar únicamente las nuevas anomalías la mayoría de los días, pero designar un día a la semana (como los lunes) para registrar todas las fallas encontradas durante la semana completa.

En resumen, la realización de las tareas de mantenimiento requiere la redacción de un informe detallado de anomalías y reparaciones. Es importante recopilar todas las incidencias en un único informe, el Parte de Incidencias, que debe ser revisado por una persona autorizada para emitir las Órdenes de Trabajo correspondientes. Estas tareas son fundamentales para detectar anomalías en etapas tempranas y mantener un seguimiento adecuado del estado de los activos. Se sugiere registrar las nuevas anomalías en las rutas diarias, pero también tener un informe semanal donde se incluyan todas las fallas, indicando cuáles han recibido órdenes de trabajo y cuáles se emiten en ese momento. Esto permite tener un registro completo y facilita la revisión del estado de la planta en diferentes momentos.

A continuación, se presenta un ejemplo del parte de incidencias en la Figura 15:

| PARTE DE INCIDENCIAS | | | | | | | | |
|----------------------|-------|---------|--|---------------------------------------|------------------|----------|-----------|--|
| EQUIPO | FECHA | DETALLE | OPERADOR (Apellido, nombre y firma) | FIRMA DE ENTERADO DE SUPERVISOR | Orden de Trabajo | | | |
| | | | | | Emitida | Aprobada | Ejecutada | |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |

Figura 15: Formato de parte de incidencias

Con este formato se puede registrar el equipo, la fecha del incidente, el detalle del incidente encontrado en las actividades de mantenimiento, el nombre del operador que registra y la evidencia de que se tomó conocimiento por parte del supervisor o jefe del área de mantenimiento. Finalmente se aprecia el estado de la incidencia en cuanto a la etapa en la orden de servicio en la que se encuentra.

c. Sobre los procedimientos de las actividades de mantenimiento

Es importante redactar procedimientos claros para llevar a cabo tareas específicas después de establecer rutas y gamas. Estos procedimientos deben explicar cómo realizar cada tarea, identificar los elementos involucrados, describir los métodos de medición y los rangos aceptables, indicar los útiles y materiales necesarios, y resaltar las precauciones para el montaje. Además, se menciona que se puede optar por redactar un procedimiento por cada ruta o gama, o agruparlas según frecuencias, especialidades o áreas. Una sugerencia práctica es agruparlas por áreas y redactar un procedimiento para cada área, que contenga todas las gamas y rutas relacionadas a ella.

Se muestra un ejemplo del procedimiento de mantenimiento de rutina, en la Tabla 7 que se muestra a continuación:

Tabla 7: Procedimientos de mantenimientos de rutina

| | | |
|--|---|------------------------------------|
| OBLITAS TRACTOR PARTS E.I.R.L | PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTOS DE RUTINA | Actualizado: 01/01/2021 |
|--|---|------------------------------------|

1. Objetivo:

El presente documento es de aplicación para los tractores agrícolas Kubota modelo M8540 propiedad de la empresa Oblitas Tractor Parts E.I.R.L, para la realización adecuada del mantenimiento de rutina.

2. Documentos de referencia.

- Plan de mantenimiento de los activos.
- Manual de operación y mantenimiento de tractor Kubota M8540

3. Responsabilidades.

El jefe de mantenimiento tiene la responsabilidad de conocer y participar en la implementación de este procedimiento. Además, es el encargado de tomar las acciones necesarias para resolver cualquier desviación que surja durante su aplicación. Por otro lado, el personal encargado de realizar los trabajos debe seguir adecuadamente las instrucciones del procedimiento y reportar cualquier anomalía que observen a su superior inmediato.

4. Requisitos de seguridad

- Colocar caballetes o un sistema de inmovilización adecuado para el tractor.
- No abra el capó del tractor con el motor encendido.
- No toque el silenciador ni los tubos de escape en caliente.
- Aparque la máquina en suelo firme y nivelado
- Ponga el freno de estacionamiento.
- Baje el implemento al suelo.
- Libere la presión del sistema hidráulico
- Pare el motor y quite la llave.

5. Desarrollo

a. Inspección alrededor del vehículo

Realice una inspección minuciosa del tractor tanto en su parte exterior como en la inferior para identificar posibles problemas, como tornillos sueltos, acumulación de suciedad, fugas de aceite o refrigerante, así como piezas rotas o desgastadas.

b. Comprobación y llenado de combustible

- Compruebe la cantidad de combustible mediante el indicador de combustible.
- Cuando se enciende el piloto de aviso del combustible, es el momento de repostar combustible.

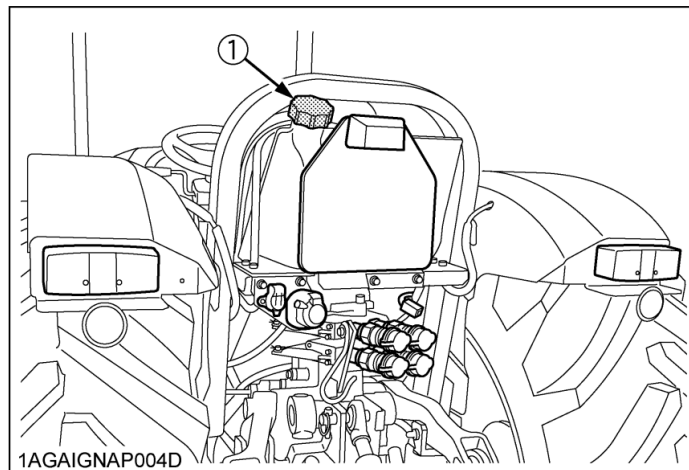


Figura : 16 (1) Tapón del depósito de combustible

Recomendaciones sobre esta actividad:

- No permita que entre suciedad u otros elementos extraños en el circuito de comb (1) Tapón del depósito de combustible
- Tenga cuidado de que no se vacíe el depósito de combustible, ya que entraría aire en el sistema, lo que exigiría la purga del mismo para arrancar el motor.

- Tenga cuidado de no derramar combustible al repostar. En caso de que se derrame combustible, límpielo inmediatamente, ya que podría originar un incendio.
- Para evitar la condensación de agua en el depósito de combustible, llene el depósito antes del estacionamiento nocturno.

c. Comprobación del decantador de agua

- Durante el proceso de recolección de agua en el decantador de agua, se observará que el flotador rojo se elevará.
- Cuando el flotador rojo haya alcanzado la línea blanca, se debe cerrar el grifo de combustible y aflojar el retén para poder extraer la copa y limpiarla. Es importante tener precaución para evitar dañar el elemento.
- Una vez limpia la copa, se debe colocar nuevamente en su lugar y purgar el circuito de combustible.

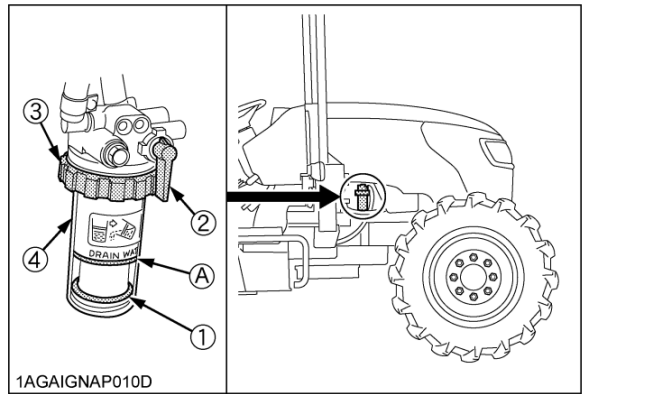


Figura: 17 (1) Flotador rojo (A) "LÍNEA BLANCA"
 (2) Grifo del combustible
 (3) Anillo de retención
 (4) Vaso decantador

d. Comprobación del nivel de aceite del motor

- Estacione la máquina en una superficie plana.
- Antes de arrancar el motor o después de que este haya estado apagado durante al menos 5 minutos, verifique el nivel de aceite del motor.
- Para verificar el nivel de aceite, extraiga la varilla de nivel, límpiela, vuelva a insertarla y luego retírela nuevamente. Verifique si el nivel de aceite se encuentra entre las dos marcas indicadas.

- Si el nivel de aceite está por debajo del nivel recomendado, agregue aceite nuevo a través de la boca de llenado de aceite hasta alcanzar el nivel especificado.

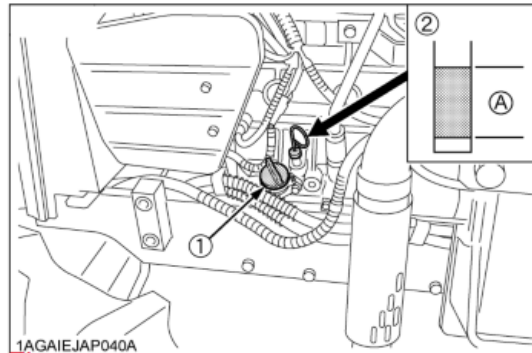


Figura : 18 (1) Boca de llenado de aceite (2) Varilla de nivel (A) El nivel de aceite es aceptable dentro de este intervalo.

- Cuando utilice un aceite de marca o viscosidad distintas de las del aceite anterior, retire todo el aceite antiguo.
- No mezcle nunca dos tipos de aceite distintos.
- Si el nivel de aceite está bajo, no haga funcionar el motor.

e. Comprobación del nivel del aceite de la transmisión

- Estacione la máquina en una superficie plana, baje el apero o equipo de trabajo y apague el motor.
- Para comprobar el nivel de aceite, saque la varilla de nivel, límpiela, vuelva a insertarla y luego retírela nuevamente. Verifique si el nivel de aceite se encuentra entre las dos marcas indicadas.
- Si el nivel de aceite está por debajo del nivel recomendado, agregue aceite nuevo hasta alcanzar el nivel especificado. Puede realizar esto a través de la boca de llenado de aceite.

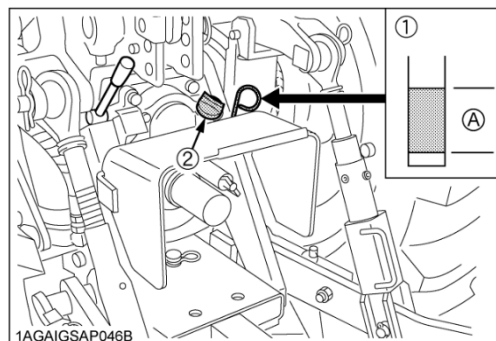


Figura : 19 (1) Varilla de nivel (2) Boca de llenado de aceite (A) El nivel de aceite es aceptable dentro de este intervalo.

f. Comprobación del nivel de refrigerante

- Compruebe si el nivel de refrigerante en el depósito de expansión se encuentra entre las marcas de lleno y bajo. Si el nivel ha descendido debido a la evaporación, añada agua únicamente hasta alcanzar el nivel adecuado. En caso de fugas, agregue agua y anticongelante en la proporción especificada hasta alcanzar el nivel de lleno. Consulte el apartado "Lavado del sistema de refrigeración y cambio del refrigerante" en la sección "Mantenimiento Periódico" cada 2 años.
- Si el nivel de refrigerante está por debajo de la marca de nivel bajo en el depósito de expansión, retire el tapón del radiador y verifique que el nivel de refrigerante esté justo por debajo de la abertura de llenado. Si el nivel está bajo, agregue refrigerante. Al volver a colocar el tapón del radiador, asegúrese de apretarlo firmemente, teniendo en cuenta la precaución mencionada anteriormente.
- Recuerde utilizar agua dulce limpia y anticongelante para rellenar el radiador. Si hay fugas de refrigerante, se recomienda que se realice una revisión y reparación adecuada del sistema de refrigeración.

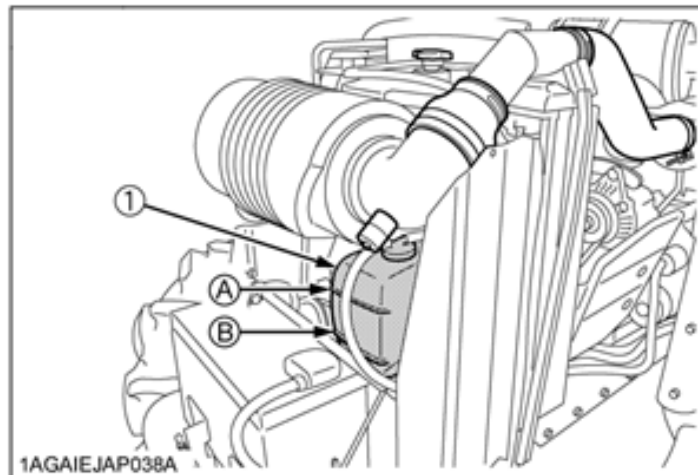


Figura : 20 (1) Depósito de expansión

(A) "LLENO"
(B) "BAJO"

g. Limpieza de la válvula evacuadora

- Abra la válvula evacuadora para deshacerse de las partículas grandes de polvo y suciedad.

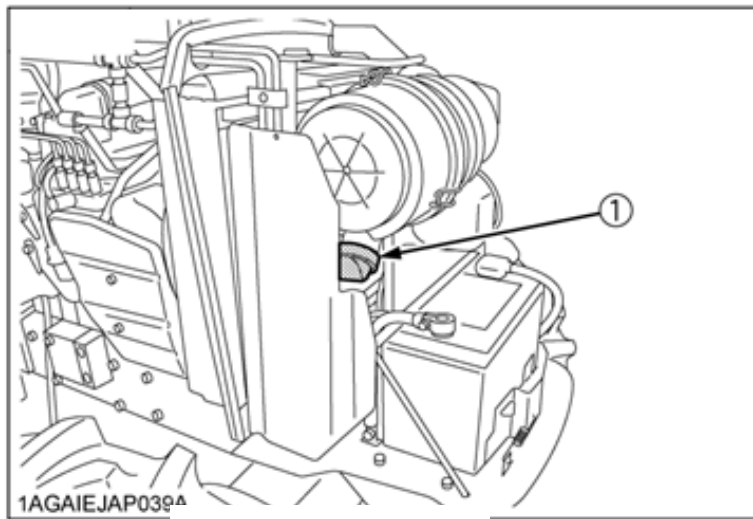


Figura: 21 (1) Válvula evacuatora

h. Limpieza de rejilla, parrilla del radiador, radiador de aceite y soporte de la batería

- Para abrir el panel, tire hacia afuera de la parte delantera.
- Para cerrar el panel, empújelo hacia adentro hasta que quede bloqueado.
- Abra el panel y levántelo hasta que el pasador (A) salga del orificio, luego extráigalo por completo.
- Compruebe si la rejilla delantera está libre de residuos.
- Desmonte la parrilla del radiador y elimine cualquier material extraño que pueda haberse acumulado.
- Verifique que el radiador de aceite y el soporte de la batería estén limpios y sin residuos.
- Acople nuevamente el panel y cierre correctamente.
- Es importante limpiar tanto la rejilla como la parrilla para evitar el sobrecalentamiento del motor y asegurarse de que no haya obstrucciones en la entrada del filtro de aire.

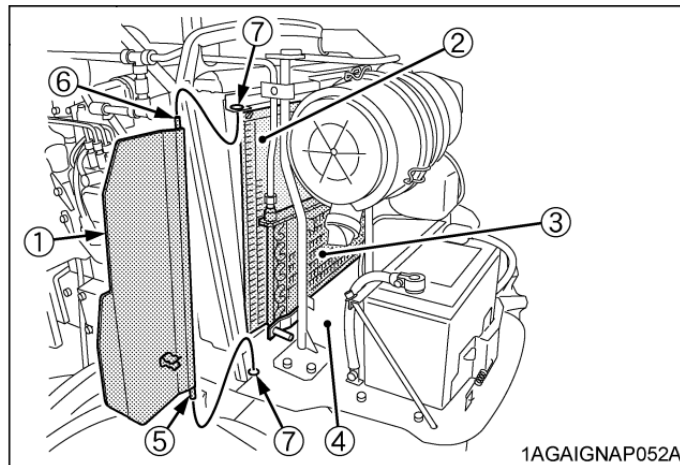


Figura: 22 (1) Panel (5) Pasador (A) (6) Pasador (B) (7) Orificio
 (2) Parrilla del radiador (3) Radiador de aceite (4) Soporte de batería

i. Comprobación del pedal del freno

- Inspeccione los pedales de freno para ver su carrera libre y si se desplazan con suavidad.
- Proceda a su ajuste si la comprobación indica que es necesario.

j. Comprobación del freno de estacionamiento

- Para aplicar los frenos de estacionamiento, tire de la palanca del freno de estacionamiento. Con la llave de contacto en la posición de encendido, se iluminará el indicador del freno de estacionamiento en el panel de instrumentos.
- Para desbloquear los frenos, presione el botón ubicado en la punta de la palanca del freno de estacionamiento y baje la palanca. Asegúrese de que el indicador en el panel de instrumentos se apague cuando la palanca del freno de estacionamiento esté bajada.

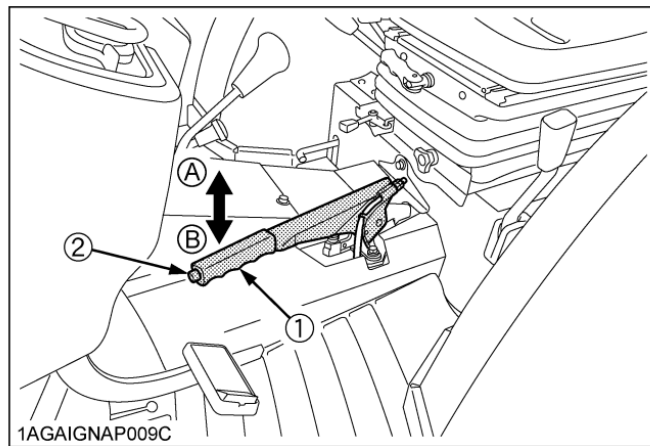


Figura:23 (1) Palanca del freno de estacionamiento (A) "TIRAR"
(2) Botón de desbloqueo (B) "DESBLOQUEAR"

k. Comprobación de los faros, luces de emergencia, etc.

- Inspeccione las luces para ver si hay alguna bombilla o algún cristal roto.
- Sustituya los elementos rotos.

l. Comprobación del cinturón de seguridad y arco de seguridad

- Compruebe siempre el estado de los elementos de fijación del cinturón y el arco de seguridad antes de poner en funcionamiento el tractor.
- Sustituya los elementos que estén dañados

Fuente: Adaptado KUBOTA Corporation (2020)

d. Sobre recursos y herramientas necesarias

En cuanto a los recursos y herramientas necesarias, se propone la adquisición y renovación de herramientas apropiadas para la ejecución de los mantenimientos descritos en el plan anterior, llaves de ruedas, engrasadores. Se resumen en la Tabla 8:

Tabla 8: Sugerido de juego de herramientas básicas para el mantenimiento preventivo y correctivo

| No. | Herramientas | Aplicación |
|------------|-------------------------------|--|
| 1 | Juego de llaves | Aflojar y apretar tuercas y pernos en diferentes componentes |
| 2 | Destornilladores | Desmontar y montar componentes con tornillos |
| 3 | Llave de filtros | Quitar y ajustar los filtros |
| 4 | Manómetro de presión | Verificar la presión del sistema de refrigeración |
| 5 | Juego de limpieza | Limpiar y eliminar la suciedad en diferentes partes |
| 6 | Medidor de tensión de correas | Medir y ajustar la tensión adecuada de las correas |
| 7 | Multímetro | Comprobar el estado del sistema eléctrico |
| 8 | Pirómetro | Medir la temperatura del motor y sistema de enfriamiento |
| 9 | Torquímetro | Aplicar el torque adecuado a pernos y tuercas |
| 10 | Alicates | Agarrar, doblar y cortar cables y alambres |
| 11 | Martillo | Golpear suavemente para desmontar piezas |
| 12 | Pistola de engrase | Aplicar grasa en puntos de lubricación |
| 13 | Llave ajustable | Ajustar tuercas y pernos de diferentes tamaños |
| 14 | Llave de tubo | Ajustar tuercas y pernos en espacios estrechos |
| 15 | Calibre de espesores | Medir el espacio entre componentes |
| 16 | Extractor de cojinetes | Quitar cojinetes y rodamientos |
| 17 | Cepillos de limpieza | Limpiar áreas de difícil acceso y eliminar residuos |
| 18 | Linterna | Proporcionar iluminación adicional en áreas oscuras |

Fuente: Elaboración propia

Etapa 6: Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento

Para la evaluación y control de las tareas de mantenimiento se implementó los indicadores claves de mantenimiento. Entre ellos los siguientes:

a. Indicador de cumplimiento de plan de mantenimiento (mensual)

El indicador de cumplimiento del plan de mantenimiento mensual es una medida que permite evaluar en qué medida se están llevando a cabo las tareas de mantenimiento programadas según lo establecido en el plan para cada mes. Proporciona una visión general de si las actividades de mantenimiento se están realizando según lo previsto o si se están desviando. La fórmula para calcular el cumplimiento del plan de mantenimiento mensual es la siguiente:

$$\% \text{ cumplimiento} = (\text{Cantidad de tareas de mantenimiento realizadas} / \text{Cantidad total de tareas de mantenimiento programadas}) \times 100$$

Por ejemplo, si se programaron 50 tareas de mantenimiento para el mes y se realizaron correctamente 45 de ellas, el cumplimiento del plan sería:

$$(45 / 50) \times 100 = 90 \text{ por ciento}$$

Esto indica que se cumplió el 90 por ciento del plan de mantenimiento para ese mes en particular.

b. Indicador de tiempo medio entre fallos (mensual)

El indicador de Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) mensual es una métrica que te permite evaluar la confiabilidad y el rendimiento de tus máquinas durante un período de tiempo específico, en este caso, mensualmente. Este indicador mide el promedio de tiempo transcurrido entre las fallas de las máquinas. Su cálculo se detalla en el marco teórico.

c. Indicador de tiempo medio de reparación (mensual).

El indicador de Tiempo Medio de Reparación (MTTR) es una métrica que te permite evaluar la eficiencia y efectividad del proceso de reparación de las máquinas. Este indicador mide el

promedio de tiempo que lleva reparar una máquina después de una falla o avería. Su cálculo se detalla en el marco teórico.

d. Indicador de disponibilidad inherente (mensual)

Resulta de la relación entre el MTBF sobre el (MTBF + MTTR) y se interpreta como el tiempo disponible de los activos respecto del tiempo total en la jornada laboral. Su cálculo se detalla en el marco teórico.

Etapa 7: Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos

El desarrollo de esta etapa no fue desarrollado en vista que la poca madurez de la empresa prestadora de servicios en cuanto a la organización de datos vinculados a los costos, por lo que es una limitante para este proyecto.

4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 2.

- Medir la mejora del tiempo medio entre fallos de los tractores agrícolas, luego de la implementación de la gestión de mantenimiento

En cuanto a la mejora del tiempo medio entre fallos de los tractores agrícolas, se propone la evaluación de la diferencia de medias del tiempo medio entre fallos de los tractores agrícolas antes y después de la implementación de la gestión de mantenimiento. Para ello se debe conocer si los datos siguen una distribución normal o no, para lo cual se hace el siguiente planteamiento:

H_0 : Hipótesis nula: La muestra sigue una distribución normal.

H_a : Hipótesis alterna: La muestra no sigue una distribución normal.

Significancia (alfa): 0.05

Decisión:

1. Si p-valor es menor o igual que alfa, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a , es decir la muestra no sigue una distribución normal.

2. Si p-valor es mayor que alfa, se rechaza la H_a y se acepta la H_o , es decir la muestra si sigue una distribución normal.

Se procedió a realizar la prueba de normalidad de los datos con la herramienta estadística IBM SPSS Statistics 25, obteniéndose los siguientes resultados en la Tabla 9:

Tabla 9: Pruebas de normalidad de los datos MTBF, MTTR y Disponibilidad inherente de los tractores de Oblitas Tracto Parts E.I.R.L.

| | Pruebas de normalidad | | | | | |
|---|---------------------------------|----|---------|--------------|----|---------|
| | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Estadístico | gl | p-valor | Estadístico | gl | p-valor |
| Tractor 1: MTBF después – MTBF antes | 0,254 | 24 | 0,000 | 0,657 | 24 | 0,000 |
| Tractor 1: MTTR después – MTTR antes | 0,116 | 24 | ,200* | 0,977 | 24 | 0,836 |
| Tractor 1: D(i) después – D(i) antes | 0,132 | 24 | ,200* | 0,942 | 24 | 0,180 |
| Tractor 2: MTBF después – MTBF antes | 0,163 | 24 | 0,099 | 0,841 | 24 | 0,002 |
| Tractor 2: MTTR después – MTTR antes | 0,137 | 24 | ,200* | 0,970 | 24 | 0,673 |
| Tractor 2: D(i) después – D(i) antes | 0,173 | 24 | 0,062 | 0,934 | 24 | 0,122 |
| Tractor 3: MTBF después – MTBF antes | 0,207 | 24 | 0,009 | 0,756 | 24 | 0,000 |
| Tractor 3: MTTR después – MTTR antes | 0,198 | 24 | 0,015 | 0,897 | 24 | 0,019 |
| Tractor 3: D(i) después – D(i) antes | 0,182 | 24 | 0,039 | 0,926 | 24 | 0,079 |
| Tractor 4: MTBF después – MTBF antes | 0,244 | 24 | 0,001 | 0,858 | 24 | 0,003 |
| Tractor 4: MTTR después – MTTR antes | 0,230 | 24 | 0,002 | 0,861 | 24 | 0,004 |
| Tractor 4: D(i) después – D(i) antes | 0,106 | 24 | ,200* | 0,972 | 24 | 0,714 |

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se dispone elegir la prueba Shapiro-Wilk, dado que se cuenta con 24 datos relacionados a comparar por tractor agrícola. Tractor 1: MTBF después menos MTBF antes, es la prueba estadística de la diferencia de MTBF de enero a diciembre de los años 2021 al 2022 (años después de la implementación de la gestión de mantenimiento) menos

los meses de enero a diciembre de los años 2019 al 2020. Como se puede apreciar las diferencias de parámetros de mantenimiento de los tractores siguen distribuciones normales y no normales dado los valores del p-valor.

Entre las diferencias con distribuciones no normales tenemos: las diferencias de MTBF de los tractores 1, 2, 3 y 4 y de la diferencia de los MTTR de los tractores 3 y 4, dado que sus p-valor son menores que la significancia (alfa). Por otro lado, entre las diferencias con distribuciones normales tenemos los MTTR de los tractores 1 y 2, dado que sus p-valor son mayores a la significancia (alfa). Así mismo, todas las diferencias de las disponibilidades resultaron tener una distribución normal por sus p-valores que resultaron ser mayor que la significancia (alfa).

Por lo anterior se procede a analizar la diferencia de medias de los MTBF registrados de manera mensual para los años 2021 y 2022, posteriores a la implementación de la gestión de mantenimiento menos los MTBF de los años 2019 y 2020 antes de la implementación. Se procedió a realizar la prueba de Wilcoxon para las diferencias de medias de los datos que no siguen una distribución normal. Sin embargo, debemos considerar las siguientes condiciones para determinar una decisión:

Ho: Hipótesis nula: $\tilde{x}_{t2} - \tilde{x}_{t1} = 0$

Ha: Hipótesis alterna: $\tilde{x}_{t2} - \tilde{x}_{t1} \neq 0$

Significancia (alfa): 0.05

Decisión:

Si p-valor es menor o igual que alfa, se rechaza la Ho y se acepta la Ha, es decir la muestra tiene una diferencia de medias significativa o mayor que cero.

Si p-valor es mayor que alfa, se rechaza la Ha y se acepta la Ho, es decir la muestra no tiene una diferencia de medias significativa o es igual a cero.

Luego del procesamiento de los datos, se obtiene los resultados en la Tabla 10:

Tabla 10: Prueba de diferencia de medias Wilcoxon para muestras relacionadas del MTBF para los tractores de la empresa Oblitas Tracto Parts E.I.R.L.

| Estadísticos de prueba ^a | | | | |
|-------------------------------------|--|--|--|--|
| | Tractor 1: MTBF después - MTBF antes | Tractor 2: MTBF después - MTBF antes | Tractor 3: MTBF después - MTBF antes | Tractor 4: MTBF después - MTBF antes |
| Z | -4,286 ^b | -4,286 ^b | -4,286 ^b | -4,257 ^b |
| P - valor | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

Fuente: Elaboración propia

De lo anterior se observa que para los cuatro tractores los p-valor de los tractores 1,2,3, y 4 sobre la diferencia de las medias de sus MTBF después y antes de la intervención son menores que el alfa. Por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna, es decir, la diferencia de medias es estadísticamente significativa.

4.3 OBJETIVO ESPECÍFICO 3.

- Medir la mejora del tiempo medio de reparaciones de los tractores agrícolas, luego de la implementación de la gestión de mantenimiento

Respecto al tiempo medio para reparar y considerando la Tabla 8, debemos considerar que los tiempos medios para reparar (MTTR), siguen distribuciones normales y no normales. En tal sentido, las pruebas estadísticas de diferencia de medias para los MTTR de los tractores 1 y 2, las que siguen una distribución normal, se procederá a aplicar la prueba estadística T de Student, considerando:

Ho: Hipótesis nula: $\tilde{x}_{t2} - \tilde{x}_{t1} = 0$

Ha: Hipótesis alterna: $\tilde{x}_{t2} - \tilde{x}_{t1} \neq 0$

Significancia (alfa): 0.05

Decisión:

Si p-valor es menor o igual que alfa, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a , es decir la muestra tiene una diferencia de medias significativa o mayor que cero.

Si p-valor es mayor que alfa, se rechaza la H_a y se acepta la H_0 , es decir la muestra no tiene una diferencia de medias significativa o es igual a cero.

Luego del procesamiento de los datos se obtiene la Tabla 11:

Tabla 11: Prueba de diferencia de medias T-Student para muestras relacionadas del MTTR para los tractores de la empresa Oblitas Tracto Parts E.I.R.L.

| Prueba de muestras emparejadas | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|------------------|----------------------|--|----------|---------|----|---------|
| Diferencias emparejadas | | | | | | | | |
| | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | | t | gl | p-valor |
| | | | | Inferior | Superior | | | |
| Tractor 1: | -1,17542 | 0,35236 | 0,07192 | -1,32420 | -1,02663 | -16,342 | 23 | 0,000 |
| MTTR después – | | | | | | | | |
| MTTR antes | | | | | | | | |
| Tractor 2: | -2,03625 | 0,30104 | 0,06145 | -2,16337 | -1,90913 | -33,137 | 23 | 0,000 |
| MTTR después – | | | | | | | | |
| MTTR antes | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior, podemos decir que dado que el p-valor es menor al alfa, podemos afirmar que la diferencia de medias para los MTTR de los tractores 1 y 2 antes y después de la implementación de la gestión de mantenimiento es diferente de cero, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna, es decir la diferencia de medias de los MTTR de los tractores 1 y 2 es diferente de cero.

En cuanto a la diferencia de medias de las MTTR de los tractores 3 y 4, dado que no siguen una distribución normal, se procede a realizar la prueba Wilcoxon, como se observa en la Tabla 12:

Tabla 12: Prueba de diferencia de medias Wilcoxon para muestras relacionadas del MTTR para los tractores de la empresa Oblitas Tracto Parts E.I.R.L.

| Estadísticos de prueba ^a | | |
|-------------------------------------|--|--|
| | Tractor 3: MTTR después - MTTR antes | Tractor 4: MTTR después - MTTR antes |
| Z | -4,286 ^b | -4,229 ^b |
| p-valor | 0,000 | 0,000 |

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior, dado que el p-valor es menor al alfa, podemos afirmar que la diferencia de medias para los MTTR de los tractores 3 y 4 antes y después de la implementación de la gestión de mantenimiento es diferente de cero, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.

4.4 OBJETIVO GENERAL.

- Diseñar un modelo de gestión de mantenimiento que permita lograr el incremento de la disponibilidad de los tractores agrícolas de la empresa Oblitas Tracto Parts E.I.R.L.

En cuanto a la disponibilidad de los tractores 1, 2, 3 y 4. Las cuales siguen una distribución normal según la Tabla 8. Procedemos a analizar su prueba estadística T de Student para diferencias de medias, veamos la Tabla 13:

Tabla 13: Prueba de diferencia de medias T-Student para muestras relacionadas de la Disponibilidad para los tractores de la empresa Oblitas Tracto Parts E.I.R.L.

| Prueba de muestras emparejadas | | | | | | | | |
|--|---------|------------------|----------------------|--|----------|--------|----|------------------|
| Diferencias emparejadas | | | | | | | | |
| | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | | t | gl | Sig. (bilateral) |
| | | | | Inferior | Superior | | | |
| Tractor 1: Di después - Di antes | 0,09625 | 0,02795 | 0,00570 | 0,08445 | 0,10805 | 16,873 | 23 | 0,000 |
| Tractor 2: Di después - Di antes | 0,13542 | 0,01956 | 0,00399 | 0,12716 | 0,14367 | 33,924 | 23 | 0,000 |
| Tractor 3: Di después - Di antes | 0,08417 | 0,01640 | 0,00335 | 0,07724 | 0,09109 | 25,148 | 23 | 0,000 |
| Tractor 4: Di después - Di antes | 0,07625 | 0,02428 | 0,00496 | 0,06600 | 0,08650 | 15,383 | 23 | 0,000 |

De lo anterior, podemos decir que dado que el p-valor es menor al alfa, podemos afirmar que la diferencia de medias para las Disponibilidades Inherentes (Di) de los tractores 1, 2, 3 y 4 después y antes de la implementación de la gestión de mantenimiento es diferente de cero, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.

4.5 PRUEBA DE HIPÓTESIS.

En cuanto a la hipótesis planteada: “Con la implementación del modelo de gestión de mantenimiento se logrará una mejora de la disponibilidad en un 10 por ciento de los tractores agrícolas de la empresa Oblitas Tractor Parts E.I.R.L para el año 2022”. Se tiene la siguiente información en la Tabla 14:

Tabla 14: Disponibilidad inherente y su variación antes y después de la intervención (porcentaje)

| Año | Tractor 1 | | Tractor 2 | | Tractor 3 | | Tractor 4 | |
|------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | Di Prom. | % Var. | Di Prom. | % Var. | Di Prom. | % Var. | Di Prom. | % Var. |
| 2019 | 80,32 | 0,00 | 75,47 | 0,00 | 82,94 | 0,00 | 83,30 | 0,00 |
| 2020 | 79,64 | -0,68 | 80,81 | 0,49 | 84,28 | 3,96 | 84,92 | 4,60 |
| 2021 | 87,87 | 7,55 | 90,58 | 10,26 | 89,95 | 9,63 | 89,95 | 9,63 |
| 2022 | 91,34 | 11,01 | 92,76 | 12,44 | 93,35 | 13,03 | 93,22 | 12,90 |

De donde se concluye que las disponibilidades de los tractores agrícolas Kubota modelo 8540M han mejorado, tomando como base la disponibilidad del año 2019 (antes de la intervención) en 11,01 por ciento; 12,44 por ciento; 13,03 por ciento y 12,90 ciento respectivamente para los tractores 1, 2, 3 y 4. En resumen se muestra la Figura 16

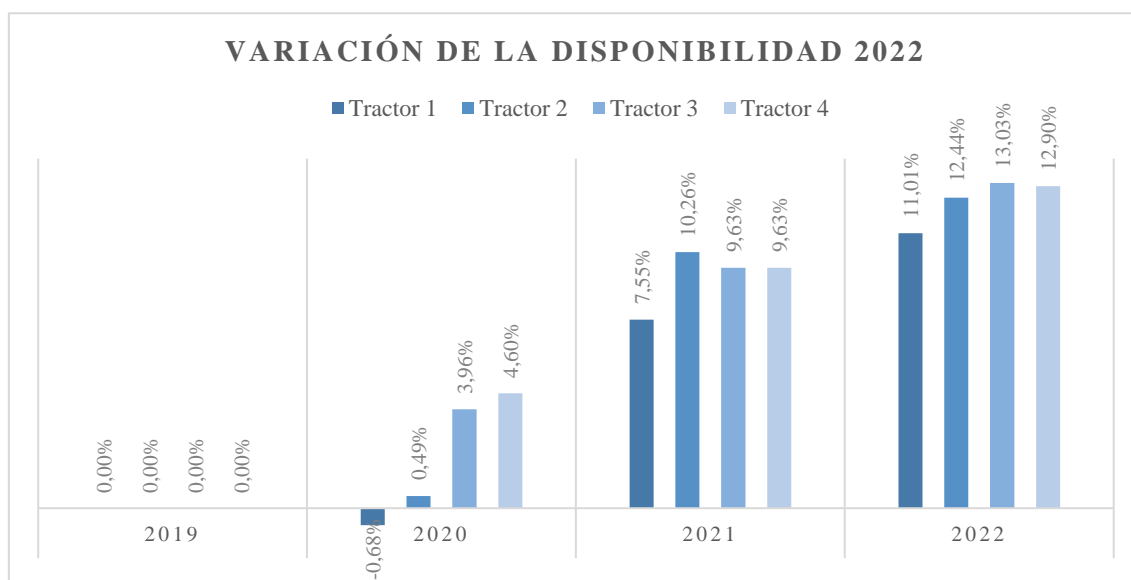


Figura 24: Variación de la disponibilidad para los tractores 1, 2, 3 y 4

Por lo que se acepta la hipótesis planteada dado que las disponibilidades obtenidas el 2022 superan al 10 por ciento propuesto.

4.6 DISCUSIONES.

En cuanto a la implementación de la gestión de mantenimiento se ha conseguido la mejora de los indicadores planteados como el MTBF, MTTR y la disponibilidad (Di), logrando alinear los resultados obtenidos con lo mencionado por Cabrera (2019), Córdoba (2017), Ortiz (2014), Aldana (2019) y Sánchez (2016), coinciden que la gestión de mantenimiento desempeña un papel fundamental en la optimización de la disponibilidad de los equipos, la reducción de costos, la prevención de fallas y la mejora continua en las operaciones, a través de estrategias adecuadas, herramientas de gestión y enfoques como Lean Management, ISO 55001:2014 o Six Sigma, se pueden obtener resultados positivos a nivel global, potenciar fortalezas, aprovechar oportunidades y lograr la excelencia operacional.

Se ha conseguido la mejora del indicador MTBF, coincidiendo con Cabrera (2019), dado que, en su investigación, menciona que la estrategia de confiabilidad mixta implementada tuvo un impacto directo y determinante en los activos de la organización, permitiendo sostener un crecimiento integral y obtener resultados positivos a nivel global.

En cuanto a la mejora de la disponibilidad de los tractores agrícolas en este estudio, se logra coincidir con los antecedentes donde se mencionan aspectos relacionados con la mejora de la disponibilidad, confiabilidad y gestión de activos en general, como el impacto de la estrategia de confiabilidad mixta en Cabrera (2019), la gestión hacia la excelencia operacional y la alta disponibilidad en Córdoba (2017), la implementación de la gestión de mantenimiento preventivo en Aldana (2019), la tercerización parcial y mejora de la disponibilidad en Sánchez (2016), el plan de gestión de mantenimiento bajo la Norma ISO 55001:2014 en Chuquilin *et al.* (2019), y la aplicación de la gestión de mantenimiento mediante Six Sigma en Aguirre (2015).

V. CONCLUSIONES

- La implementación de un modelo de gestión de mantenimiento ha sido favorable, mejorando los principales parámetros del mantenimiento de los activos de la empresa. A través del análisis FODA, se identificó la necesidad de un modelo de gestión de mantenimiento para el cumplimiento urgente del objetivo estratégico de mejorar la disponibilidad de los activos a corto plazo. Mediante la Matriz de Criticidad, el análisis de Pareto e Ishikawa, se jerarquizaron los activos y se identificaron los sistemas que presentan fallas de alto impacto encontrándose que la causa raíz de los bajos indicadores de disponibilidad eran la falta de un plan de mantenimiento, lo que motivó a su diseño e implementación. Del mismo modo se propuso una estructura básica del área de mantenimiento. Finalmente, los resultados estadísticos, luego de la implementación, respaldan la hipótesis de esta investigación y demuestran la importancia de un enfoque estructurado en la gestión de mantenimiento.
- Los resultados obtenidos luego de la implementación del sistema de gestión de mantenimiento ofrecen un valioso aporte para futuras investigaciones en el campo. La mejora en los indicadores clave de desempeño del mantenimiento, como el MTBF, MTTR y la disponibilidad, proporciona una base sólida para estudios comparativos y análisis de buenas prácticas en otras organizaciones. Además, el diseño de la estructura organizacional y la identificación de las causas raíz de los problemas de mantenimiento presentan oportunidades para investigaciones más profundas sobre la eficacia de diferentes enfoques y estrategias de gestión de mantenimiento. Los resultados también enfatizan la importancia de implementar indicadores de desempeño adecuados y sistemas de monitoreo para evaluar continuamente la eficiencia de los procesos de mantenimiento.

VI. RECOMENDACIONES

Se plantean las recomendaciones siguientes:

- Mantener un sistema de medición y evaluación constante de los indicadores clave, como el MTBF, MTTR y la disponibilidad, para asegurar que los resultados positivos se mantengan a largo plazo y para identificar oportunidades adicionales de mejora.
- Difundir los resultados de la implementación del sistema de gestión de mantenimiento y las mejores prácticas en este campo. Esto permitirá un intercambio de conocimientos y experiencias que beneficiará a la comunidad agroindustrial en general.
- Realizar investigaciones adicionales para comprender en mayor detalle los factores que han contribuido al éxito de la implementación. Esto puede incluir análisis cualitativos y cuantitativos, así como estudios de caso en diferentes sectores y contextos organizacionales.
- Reconocer que cada organización tiene sus propias necesidades y desafíos únicos. Por lo tanto, se recomienda adaptar y personalizar el enfoque de gestión de mantenimiento de acuerdo con las características específicas de la organización y su entorno operativo.
- Fomentar una cultura de mejora continua en el área de mantenimiento y en toda la organización. Esto implica fomentar la participación activa de los empleados, establecer canales de retroalimentación abiertos y alentar la implementación de ideas innovadoras para optimizar aún más los procesos de mantenimiento.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. 2008. Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Barberá, L., Crespo, A., Viveros, P., & Stegmaier, R. 2012. Advanced model for maintenance management in a continuous improvement cycle: integration into the business strategy. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 3, 47–63.
- DoE, U. S. 1992. *Root cause analysis guidance document*. Technical Report DOE-NE-STD-1004-92, US Department of Energy, Office of
- Duffuaa, S., Raouf, A., & Dixon Campbell, J. 2000. *Maintenance system. Planning and control*. México Limusa.
- Durairaj, S. K., Ong, S. K., Nee, A. Y. C., & Tan, R. B. H. 2002. Evaluation of life cycle cost analysis methodologies. *Corporate Environmental Strategy*, 9(1), 30–39.
- García S. 2010. *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Ediciones Diaz de santos.
- Hassanain, M. A., Froese, T. M., & Vanier, D. J. 2001. Development of a maintenance management model based on IAI standards. *Artificial Intelligence in Engineering*, 15(2), 177–193.
- JA1011, S. A. E. 1999. Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes. *Society for Automotive Engineers*.

- Kamsu-Foguem, B., & Mathieu, Y. 2014. Software architecture knowledge for intelligent light maintenance. *Advances in Engineering Software*, 67, 125–135.
- Kobbacy, K. A. H., Murthy, D. N. P., Rausand, M., & Vatn, J. 2008. Reliability centred maintenance. *Complex System Maintenance Handbook*, 79–108.
- López Campos, M. A., Gómez Fernández, J. F., González Díaz, V., & Crespo, M. A. 2010. A new maintenance management model expressed in UML reliability, risk and safety: theory and applications. *Briš GS, Martorell (Eds) Taylor & Francis Group, London*.
- Márquez, A. C. 2007. *The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance*. Springer Science & Business Media.
- Miet, E. K. P., & Odoom, S. K. 2016. Development Of An Effective Industrial Maintenance Practice For Plant Optimum Performance. *International Journal of Engineering Research and Application*. ISSN, 2248–9622.
- Mobley, R. K. 1999. *Root cause failure analysis*. Butterworth-Heinemann.
- Mora, L. A. 2009. *Mantenimiento-planeación, ejecución y control* (1a ed.). Alfaomega Grupo Editor.
- Moubray, J. 2001. *Reliability-centered maintenance*. Industrial Press Inc.
- Pascual, R. 2002. Gestión moderna del mantenimiento. In *Santiago de Chile: Universidad de Chile*.
- Pintelon, L. M., & Gelders, L. F. 1992. Maintenance management decision making. *European Journal of Operational Research*, 58(3), 301–317.
- Pintelon, L. M., & Van Wassenhove, L. N. 1990. A maintenance management tool. *Omega*, 18(1), 59–70.

- Pinto, G. F. L., Silva, F. J. G., Campilho, R., Casais, R. B., Fernandes, A. J., & Baptista, A. 2019. Continuous improvement in maintenance: a case study in the automotive industry involving Lean tools. *Procedia Manufacturing*, 38, 1582–1591.
- Pramod, V. R., Devadasan, S. R., Muthu, S., Jagathyraj, V. P., & Dhakshina Moorthy, G. 2006. Integrating TPM and QFD for improving quality in maintenance engineering. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(2), 150–171.
- Puvanasvaran, A. P., Mei, C. Z., & Alagendran, V. A. 2013. Overall equipment efficiency improvement using time study in an aerospace industry. *Procedia Engineering*, 68, 271–277.
- Riis, J. O., Luxhøj, J. T., & Thorsteinsson, U. 1997. A situational maintenance model. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Sampieri, R. H. 2018. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill México.
- Söderholm, P., Holmgren, M., & Klefsjö, B. 2007. A process view of maintenance and its stakeholders. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 13(1), 19–32.
- Sunding, D., & Zilberman, D. 2001. The agricultural innovation process: research and technology adoption in a changing agricultural sector. *Handbook of Agricultural Economics*, 1, 207–261.
- Terminology, M. 2001. The European Standard EN 13306: 2001. *European Committee for Standardization*.
- Tsang, A. H. C. 2002. Strategic dimensions of maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(1), 7–39.

- Tsang, A. H. C., Jardine, A. K. S., & Kolodny, H. 1999. Measuring maintenance performance: a holistic approach. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Vanneste, S. G., & Van Wassenhove, L. N. 1995. An integrated and structured approach to improve maintenance. *European Journal of Operational Research*, 82(2), 241–257.
- Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. 2013. Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 21(1), 125–138.
- Wireman, T. 2005. *Developing performance indicators for managing maintenance*. Industrial Press Inc.
- Yang, G. 2007. *Life cycle reliability engineering*. John Wiley & Sons.

IX. ANEXOS

Anexo 1:Galería de imágenes





Anexo 2: Base de datos

| Tractor Kubota 01 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|------|----------------------------|---------|--------|------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Antes de la intervención | | | Después de la intervención | | | | Diferencia de indicadores | | | |
| mes/año | MTBF | MTTR | DIS | mes/año | MTBF | MTTR | DIS | Δ MTBF | Δ MTTR | Δ Disp |
| Ene-19 | 29,45 | 7,35 | 80,04% | Ene-21 | 44,02 | 5,79 | 88,37% | 14,56 | -1,55 | 8,33% |
| Feb-19 | 28,57 | 7,54 | 79,11% | Feb-21 | 46,83 | 6,11 | 88,47% | 18,26 | -1,44 | 9,35% |
| Mar-19 | 31,56 | 7,36 | 81,10% | Mar-21 | 41,61 | 5,97 | 87,46% | 10,05 | -1,39 | 6,36% |
| Abr-19 | 33,85 | 7,46 | 81,93% | Abr-21 | 42,81 | 5,85 | 87,98% | 8,96 | -1,61 | 6,04% |
| May-19 | 25,91 | 7,03 | 78,67% | May-21 | 41,93 | 5,96 | 87,55% | 16,02 | -1,06 | 8,88% |
| Jun-19 | 30,06 | 7,90 | 79,18% | Jun-21 | 37,41 | 5,96 | 86,26% | 7,35 | -1,94 | 7,08% |
| Jul-19 | 30,56 | 7,27 | 80,78% | Jul-21 | 34,86 | 6,62 | 84,04% | 4,30 | -0,65 | 3,27% |
| Ago-19 | 30,43 | 7,49 | 80,24% | Ago-21 | 43,17 | 6,08 | 87,65% | 12,74 | -1,41 | 7,41% |
| Set-19 | 34,00 | 7,69 | 81,56% | Set-21 | 44,28 | 6,09 | 87,92% | 10,28 | -1,60 | 6,35% |
| Oct-19 | 30,44 | 6,90 | 81,53% | Oct-21 | 47,82 | 6,04 | 88,78% | 17,37 | -0,85 | 7,25% |
| Nov-19 | 24,44 | 6,91 | 77,96% | Nov-21 | 36,82 | 5,99 | 86,01% | 12,38 | -0,92 | 8,05% |
| Dic-19 | 27,70 | 6,79 | 80,32% | Dic-21 | 52,73 | 5,38 | 90,75% | 25,03 | -1,41 | 10,43% |
| Ene-20 | 25,61 | 6,66 | 79,35% | Ene-22 | 72,94 | 5,79 | 92,64% | 47,33 | -0,87 | 13,30% |
| Feb-20 | 25,72 | 6,72 | 79,28% | Feb-22 | 63,38 | 6,11 | 91,21% | 37,66 | -0,62 | 11,94% |
| Mar-20 | 26,54 | 7,02 | 79,08% | Mar-22 | 60,38 | 5,97 | 91,00% | 33,84 | -1,05 | 11,92% |
| Abr-20 | 29,25 | 7,09 | 80,49% | Abr-22 | 100,62 | 5,85 | 94,51% | 71,38 | -1,24 | 14,01% |
| May-20 | 27,96 | 7,05 | 79,87% | May-22 | 61,48 | 5,96 | 91,16% | 33,53 | -1,09 | 11,29% |
| Jun-20 | 28,98 | 7,35 | 79,77% | Jun-22 | 49,87 | 5,96 | 89,33% | 20,89 | -1,39 | 9,56% |
| Jul-20 | 28,83 | 6,94 | 80,59% | Jul-22 | 59,89 | 6,62 | 90,05% | 31,06 | -0,33 | 9,46% |
| Ago-20 | 26,41 | 6,98 | 79,10% | Ago-22 | 50,32 | 6,08 | 89,22% | 23,91 | -0,90 | 10,12% |
| Set-20 | 23,79 | 6,79 | 77,79% | Set-22 | 49,26 | 6,09 | 89,00% | 25,47 | -0,71 | 11,22% |
| Oct-20 | 27,15 | 7,09 | 79,30% | Oct-22 | 55,25 | 6,04 | 90,14% | 28,10 | -1,05 | 10,85% |
| Nov-20 | 26,71 | 7,08 | 79,06% | Nov-22 | 57,40 | 5,99 | 90,55% | 30,68 | -1,09 | 11,49% |
| Dic-20 | 30,36 | 6,64 | 82,05% | Dic-22 | 165,73 | 5,38 | 96,86% | 135,37 | -1,26 | 14,81% |

Continuación

| Tractor Kubota 02 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|------|----------------------------|---------|--------|------|---------------------------|-------|--------|--------|
| Antes de la intervención | | | Después de la intervención | | | | Diferencia de indicadores | | | |
| mes/año | MTBF | MTTR | DIS | mes/año | MTBF | MTTR | DIS | ΔMTBF | ΔMTTTR | ΔDisp |
| Ene-19 | 23,69 | 7,79 | 75,24% | Ene-21 | 63,03 | 6,27 | 90,95% | 39,34 | -1,52 | 15,71% |
| Feb-19 | 25,72 | 8,14 | 75,96% | Feb-21 | 63,87 | 6,07 | 91,32% | 38,15 | -2,07 | 15,36% |
| Mar-19 | 24,27 | 7,72 | 75,86% | Mar-21 | 67,7 | 5,98 | 91,88% | 43,43 | -1,74 | 16,02% |
| Abr-19 | 23,53 | 8,03 | 74,54% | Abr-21 | 65,61 | 5,58 | 92,16% | 41,5 | -2,65 | 17,61% |
| May-19 | 25,55 | 8,36 | 75,35% | May-21 | 48,67 | 5,95 | 89,11% | 23,12 | -2,41 | 13,76% |
| Jun-19 | 24,05 | 7,8 | 75,52% | Jun-21 | 55,99 | 5,95 | 90,40% | 31,93 | -1,85 | 14,87% |
| Jul-19 | 26,54 | 8,2 | 76,39% | Jul-21 | 65 | 6,16 | 91,34% | 38,47 | -2,04 | 14,95% |
| Ago-19 | 25,29 | 7,87 | 76,26% | Ago-21 | 64,63 | 5,92 | 91,61% | 39,34 | -1,95 | 15,35% |
| Set-19 | 27,07 | 8 | 77,20% | Set-21 | 58,32 | 5,81 | 90,94% | 31,25 | -2,19 | 13,75% |
| Oct-19 | 23,44 | 8,2 | 74,08% | Oct-21 | 50,2 | 6,09 | 89,19% | 26,76 | -2,12 | 15,11% |
| Nov-19 | 24,75 | 8,32 | 74,85% | Nov-21 | 49,98 | 5,94 | 89,38% | 25,23 | -2,37 | 14,52% |
| Dic-19 | 24,1 | 8,31 | 74,37% | Dic-21 | 47,46 | 6,03 | 88,73% | 23,36 | -2,28 | 14,36% |
| Ene-20 | 29,18 | 7,48 | 79,60% | Ene-22 | 61,95 | 5,43 | 91,95% | 32,77 | -2,05 | 12,35% |
| Feb-20 | 30,49 | 7,08 | 81,16% | Feb-22 | 62,91 | 5,63 | 91,79% | 32,42 | -1,45 | 10,63% |
| Mar-20 | 33,59 | 7,63 | 81,48% | Mar-22 | 103,64 | 5,67 | 94,81% | 70,06 | -1,96 | 13,33% |
| Abr-20 | 33,96 | 7,72 | 81,47% | Abr-22 | 82,13 | 5,73 | 93,48% | 48,16 | -1,99 | 12,01% |
| May-20 | 34,4 | 7,83 | 81,46% | May-22 | 68,6 | 5,66 | 92,38% | 34,19 | -2,17 | 10,92% |
| Jun-20 | 33,3 | 7,31 | 82,00% | Jun-22 | 73,95 | 5,61 | 92,95% | 40,65 | -1,71 | 10,96% |
| Jul-20 | 33,52 | 7,82 | 81,09% | Jul-22 | 57,08 | 5,41 | 91,34% | 23,56 | -2,4 | 10,25% |
| Ago-20 | 32 | 7,56 | 80,88% | Ago-22 | 68,88 | 5,43 | 92,70% | 36,89 | -2,14 | 11,82% |
| Set-20 | 29,39 | 7,42 | 79,83% | Set-22 | 99,21 | 5,91 | 94,38% | 69,82 | -1,51 | 14,55% |
| Oct-20 | 33,54 | 7,71 | 81,30% | Oct-22 | 66,59 | 5,61 | 92,22% | 33,05 | -2,1 | 10,92% |
| Nov-20 | 29,23 | 7,65 | 79,27% | Nov-22 | 73,73 | 5,4 | 93,17% | 44,5 | -2,24 | 13,90% |
| Dic-20 | 30,34 | 7,48 | 80,23% | Dic-22 | 62,9 | 5,52 | 91,93% | 32,55 | -1,96 | 11,71% |

Continuación

| Tractor Kubota 03 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|------|----------------------------|---------|--------|------|---------------------------|-------|--------|--------|
| Antes de la intervención | | | Después de la intervención | | | | Diferencia de indicadores | | | |
| mes/año | MTBF | MTTR | DIS | mes/año | MTBF | MTTR | DIS | ΔMTBF | ΔMTTTR | ΔDisp |
| Ene-19 | 23,69 | 7,79 | 75,24% | Ene-21 | 63,03 | 6,27 | 90,95% | 39,34 | -1,52 | 15,71% |
| Feb-19 | 25,72 | 8,14 | 75,96% | Feb-21 | 63,87 | 6,07 | 91,32% | 38,15 | -2,07 | 15,36% |
| Mar-19 | 24,27 | 7,72 | 75,86% | Mar-21 | 67,7 | 5,98 | 91,88% | 43,43 | -1,74 | 16,02% |
| Abr-19 | 23,53 | 8,03 | 74,54% | Abr-21 | 65,61 | 5,58 | 92,16% | 41,5 | -2,65 | 17,61% |
| May-19 | 25,55 | 8,36 | 75,35% | May-21 | 48,67 | 5,95 | 89,11% | 23,12 | -2,41 | 13,76% |
| Jun-19 | 24,05 | 7,8 | 75,52% | Jun-21 | 55,99 | 5,95 | 90,40% | 31,93 | -1,85 | 14,87% |
| Jul-19 | 26,54 | 8,2 | 76,39% | Jul-21 | 65 | 6,16 | 91,34% | 38,47 | -2,04 | 14,95% |
| Ago-19 | 25,29 | 7,87 | 76,26% | Ago-21 | 64,63 | 5,92 | 91,61% | 39,34 | -1,95 | 15,35% |
| Set-19 | 27,07 | 8 | 77,20% | Set-21 | 58,32 | 5,81 | 90,94% | 31,25 | -2,19 | 13,75% |
| Oct-19 | 23,44 | 8,2 | 74,08% | Oct-21 | 50,2 | 6,09 | 89,19% | 26,76 | -2,12 | 15,11% |
| Nov-19 | 24,75 | 8,32 | 74,85% | Nov-21 | 49,98 | 5,94 | 89,38% | 25,23 | -2,37 | 14,52% |
| Dic-19 | 24,1 | 8,31 | 74,37% | Dic-21 | 47,46 | 6,03 | 88,73% | 23,36 | -2,28 | 14,36% |
| Ene-20 | 29,18 | 7,48 | 79,60% | Ene-22 | 61,95 | 5,43 | 91,95% | 32,77 | -2,05 | 12,35% |
| Feb-20 | 30,49 | 7,08 | 81,16% | Feb-22 | 62,91 | 5,63 | 91,79% | 32,42 | -1,45 | 10,63% |
| Mar-20 | 33,59 | 7,63 | 81,48% | Mar-22 | 103,64 | 5,67 | 94,81% | 70,06 | -1,96 | 13,33% |
| Abr-20 | 33,96 | 7,72 | 81,47% | Abr-22 | 82,13 | 5,73 | 93,48% | 48,16 | -1,99 | 12,01% |
| May-20 | 34,4 | 7,83 | 81,46% | May-22 | 68,6 | 5,66 | 92,38% | 34,19 | -2,17 | 10,92% |
| Jun-20 | 33,3 | 7,31 | 82,00% | Jun-22 | 73,95 | 5,61 | 92,95% | 40,65 | -1,71 | 10,96% |
| Jul-20 | 33,52 | 7,82 | 81,09% | Jul-22 | 57,08 | 5,41 | 91,34% | 23,56 | -2,4 | 10,25% |
| Ago-20 | 32 | 7,56 | 80,88% | Ago-22 | 68,88 | 5,43 | 92,70% | 36,89 | -2,14 | 11,82% |
| Set-20 | 29,39 | 7,42 | 79,83% | Set-22 | 99,21 | 5,91 | 94,38% | 69,82 | -1,51 | 14,55% |
| Oct-20 | 33,54 | 7,71 | 81,30% | Oct-22 | 66,59 | 5,61 | 92,22% | 33,05 | -2,1 | 10,92% |
| Nov-20 | 29,23 | 7,65 | 79,27% | Nov-22 | 73,73 | 5,4 | 93,17% | 44,5 | -2,24 | 13,90% |
| Dic-20 | 30,34 | 7,48 | 80,23% | Dic-22 | 62,9 | 5,52 | 91,93% | 32,55 | -1,96 | 11,71% |

Continuación

| Tractor Kubota 04 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|------|----------------------------|---------|--------|------|---------------------------|-------|--------|--------|
| Antes de la intervención | | | Después de la intervención | | | | Diferencia de indicadores | | | |
| mes/año | MTBF | MTTR | DIS | mes/año | MTBF | MTTR | DIS | ΔMTBF | ΔMTTTR | ΔDisp |
| Ene-19 | 46,84 | 7,28 | 86,55% | Ene-21 | 58,29 | 6,78 | 89,58% | 11,46 | -0,50 | 3,03% |
| Feb-19 | 36,65 | 7,06 | 83,84% | Feb-21 | 59,21 | 6,62 | 89,95% | 22,56 | -0,45 | 6,11% |
| Mar-19 | 31,15 | 6,67 | 82,37% | Mar-21 | 52,98 | 6,62 | 88,90% | 21,83 | -0,05 | 6,53% |
| Abr-19 | 41,84 | 6,96 | 85,73% | Abr-21 | 64,72 | 6,32 | 91,10% | 22,88 | -0,64 | 5,37% |
| May-19 | 32,34 | 6,96 | 82,30% | May-21 | 54,15 | 6,32 | 89,55% | 21,81 | -0,64 | 7,25% |
| Jun-19 | 30,25 | 6,62 | 82,04% | Jun-21 | 69,46 | 6,70 | 91,21% | 39,21 | 0,07 | 9,17% |
| Jul-19 | 32,35 | 7,00 | 82,22% | Jul-21 | 54,51 | 6,69 | 89,06% | 22,16 | -0,30 | 6,84% |
| Ago-19 | 28,00 | 6,87 | 80,30% | Ago-21 | 51,30 | 6,30 | 89,06% | 23,31 | -0,57 | 8,76% |
| Set-19 | 33,44 | 6,78 | 83,15% | Set-21 | 49,24 | 6,33 | 88,60% | 15,80 | -0,44 | 5,46% |
| Oct-19 | 36,03 | 7,28 | 83,18% | Oct-21 | 85,82 | 6,59 | 92,87% | 49,79 | -0,69 | 9,68% |
| Nov-19 | 34,66 | 6,69 | 83,82% | Nov-21 | 53,37 | 6,54 | 89,09% | 18,71 | -0,15 | 5,27% |
| Dic-19 | 36,01 | 6,82 | 84,07% | Dic-21 | 60,73 | 6,44 | 90,41% | 24,72 | -0,38 | 6,33% |
| Ene-20 | 43,57 | 7,58 | 85,18% | Ene-22 | 50,51 | 5,25 | 90,58% | 6,94 | -2,33 | 5,40% |
| Feb-20 | 40,90 | 7,33 | 84,81% | Feb-22 | 76,99 | 5,62 | 93,20% | 36,08 | -1,71 | 8,39% |
| Mar-20 | 35,21 | 7,51 | 82,43% | Mar-22 | 55,87 | 5,24 | 91,42% | 20,66 | -2,27 | 9,00% |
| Abr-20 | 41,36 | 7,36 | 84,89% | Abr-22 | 116,99 | 5,34 | 95,63% | 75,63 | -2,02 | 10,75% |
| May-20 | 42,79 | 7,39 | 85,27% | May-22 | 71,40 | 5,62 | 92,71% | 28,61 | -1,78 | 7,44% |
| Jun-20 | 44,76 | 7,28 | 86,01% | Jun-22 | 130,40 | 5,32 | 96,08% | 85,64 | -1,96 | 10,07% |
| Jul-20 | 35,41 | 7,48 | 82,55% | Jul-22 | 53,53 | 5,57 | 90,57% | 18,12 | -1,91 | 8,01% |
| Ago-20 | 62,60 | 7,57 | 89,21% | Ago-22 | 59,55 | 5,41 | 91,67% | -3,04 | -2,16 | 2,46% |
| Set-20 | 38,30 | 7,23 | 84,11% | Set-22 | 120,75 | 4,95 | 96,06% | 82,45 | -2,28 | 11,95% |
| Oct-20 | 39,03 | 7,93 | 83,11% | Oct-22 | 83,08 | 5,45 | 93,85% | 44,05 | -2,49 | 10,73% |
| Nov-20 | 43,15 | 7,54 | 85,12% | Nov-22 | 96,07 | 5,22 | 94,84% | 52,92 | -2,32 | 9,72% |
| Dic-20 | 47,26 | 7,44 | 86,40% | Dic-22 | 65,81 | 5,69 | 92,04% | 18,56 | -1,75 | 5,64% |

Anexo 3: Cuestionario para diagnóstico de la organización

Cuestionario para el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento.

| |
|---|
| Entorno Operacional: |
| ¿Cuáles son las condiciones ambientales en las que operan las máquinas en su empresa y cómo podrían estar afectando su rendimiento y vida útil? |
| ¿Existe un protocolo de seguridad establecido para operar las máquinas en su entorno de trabajo? ¿Se ha registrado alguna vez algún incidente relacionado con la seguridad? |
| ¿Se han identificado riesgos potenciales en el entorno operacional que podrían resultar en daños a las máquinas o en accidentes? ¿Se han tomado medidas para mitigar estos riesgos? |
| ¿Cuál es el nivel de capacitación del personal que opera las máquinas en términos de seguridad y manejo adecuado? |
| ¿Se han implementado medidas para mantener las condiciones ambientales (temperatura, humedad, limpieza) en rangos óptimos para el funcionamiento de las máquinas? |
| |
| Codificación de Equipos: |
| ¿Tienen las máquinas en su empresa un sistema de codificación único que permita identificar cada equipo de manera clara y rápida? |
| ¿Existe un registro centralizado de la codificación de equipos que sea accesible para todo el equipo de mantenimiento? |
| ¿Cuál es el proceso para asignar y actualizar los códigos de equipos cuando se adquieren nuevas máquinas o se reemplazan las existentes? |
| ¿Han ocurrido situaciones en las que la falta de codificación clara haya causado confusiones o retrasos en el mantenimiento? |
| ¿Cómo se gestionan los cambios de personal en términos de conocimiento sobre la codificación de equipos? |
| |
| Información Técnica de cada equipo: |
| ¿Existe una base de datos o sistema donde se almacena la información técnica relevante para cada máquina, como manuales, especificaciones y diagramas? |
| ¿Cuándo fue la última vez que se actualizó la información técnica de las máquinas? ¿Se dispone de la información más reciente? |
| ¿Se ha encontrado alguna vez un problema durante el mantenimiento debido a la falta de información técnica actualizada? |
| ¿El equipo de mantenimiento tiene fácil acceso a los manuales de usuario y las guías técnicas de las máquinas? |
| ¿Cómo se garantiza que la información técnica esté disponible incluso en casos de cambios de personal o rotación en el equipo de mantenimiento? |
| |
| Historial de Mantención: |
| ¿Se lleva un registro detallado de las actividades de mantenimiento realizadas en cada máquina, incluyendo fechas, intervenciones y repuestos utilizados? |
| ¿Puede proporcionar ejemplos de situaciones en las que el historial de mantenimiento habría sido útil para diagnosticar o prevenir problemas? |
| ¿Qué porcentaje de las máquinas en su empresa tiene un historial de mantenimiento completo y actualizado? |
| ¿Se han identificado problemas recurrentes en ciertas máquinas que podrían haberse evitado con un mantenimiento adecuado? |
| ¿Cómo se maneja la falta de registros de historial de mantenimiento para máquinas que pueden haber estado en funcionamiento durante mucho tiempo? |
| |
| Repuestos Clave por Equipo: |
| ¿Cómo se determinan los repuestos clave para cada máquina y cuál es la estrategia para mantener un inventario adecuado? |

Continuación

| |
|---|
| ¿Se han enfrentado situaciones en las que la falta de repuestos clave haya causado demoras en el mantenimiento o la producción? |
| ¿Se cuenta con una lista actualizada de proveedores de repuestos y sus tiempos de entrega? |
| ¿Existe un proceso de revisión periódica para asegurarse de que el inventario de repuestos clave esté actualizado y suficiente? |
| ¿Se ha calculado el impacto financiero de no tener repuestos claves disponibles cuando se necesitan? |
| |
| Procedimientos de Mantenimiento Preventivo: |
| ¿Se están llevando a cabo actividades de mantenimiento preventivo de manera regular en las máquinas? Si no es así, ¿por qué? |
| ¿Cómo se determinan las frecuencias y los tipos de actividades de mantenimiento preventivo para cada máquina? |
| ¿Se ha evaluado alguna vez el impacto de no realizar mantenimiento preventivo en términos de costos de reparación y tiempo de inactividad? |
| ¿Se cuenta con un equipo responsable de planificar y ejecutar el mantenimiento preventivo, y cuál es su nivel de experiencia? |
| ¿Existe un sistema de seguimiento para monitorear la realización y eficacia de las actividades de mantenimiento preventivo? |
| |
| Procedimientos de Mantenimiento Correctivo: |
| ¿Cómo se manejan los problemas o averías en las máquinas que requieren mantenimiento correctivo? ¿Se abordan solo cuando se vuelven críticos? |
| ¿Cuál es el tiempo promedio de respuesta para atender problemas de mantenimiento correctivo desde su detección? |
| ¿Cómo se evalúa el impacto financiero y operativo de las intervenciones de mantenimiento correctivo en comparación con un enfoque preventivo? |
| ¿Existe un protocolo establecido para documentar y aprender de las intervenciones de mantenimiento correctivo realizadas? |
| ¿Qué acciones se han tomado para abordar problemas recurrentes que podrían haberse evitado mediante un mantenimiento adecuado? |

Cuestionario para el análisis FODA.

| |
|---|
| Fortalezas: |
| ¿Cuáles son los aspectos únicos de nuestra empresa de alquiler de máquinas que nos diferencian de la competencia en el mercado agrícola? |
| ¿Qué tipo de maquinaria agrícola ofrecemos y cuál es nuestra variedad de equipos? |
| ¿Contamos con un equipo técnico altamente capacitado y experimentado para dar soporte y mantenimiento a los equipos? |
| ¿Tenemos una sólida red de proveedores y socios estratégicos que nos permiten acceder a equipos de última generación? |
| ¿Cuál es nuestra reputación en términos de calidad, confiabilidad y puntualidad en la entrega de equipos a nuestros clientes agrícolas? |
| |
| Oportunidades: |
| ¿Cómo está evolucionando el sector agrícola y cuáles son las tendencias actuales que podríamos aprovechar? |
| ¿Existe una demanda creciente de alquiler de maquinaria agrícola debido a cambios en las condiciones económicas o preferencias de los agricultores? |
| ¿Podemos expandir nuestra oferta de servicios para cubrir nichos específicos en el mercado agrícola, como la agricultura sostenible o la tecnología agrícola? |
| ¿Existen regiones geográficas donde nuestra presencia es limitada, pero podríamos tener un impacto positivo? |
| ¿Cómo podríamos capitalizar el aumento en la adopción de tecnologías agrícolas para mejorar la eficiencia y la productividad de nuestros clientes? |
| |
| Debilidades: |
| ¿Cuáles son las áreas en las que nuestra empresa de alquiler de máquinas agrícolas muestra debilidades en comparación con la competencia? |
| ¿Existen limitaciones en nuestra flota de maquinaria que podrían limitar nuestra capacidad para satisfacer la demanda de ciertos clientes? |
| ¿Estamos enfrentando desafíos en términos de disponibilidad de repuestos, lo que podría afectar la rapidez de los servicios de mantenimiento? |
| ¿Tenemos dificultades para mantener el control de costos operativos, lo que podría afectar nuestra rentabilidad? |
| ¿Experimentamos problemas en la comunicación con nuestros clientes agrícolas o en la entrega de los equipos a tiempo? |
| |
| Amenazas: |
| ¿Cuáles son los competidores directos e indirectos en el mercado de alquiler de maquinaria agrícola y cuáles son sus fortalezas? |
| ¿Existen cambios en la regulación o políticas gubernamentales que podrían afectar nuestra operación o nuestros clientes? |
| ¿Podría la fluctuación en los precios de los combustibles y los insumos agrícolas impactar negativamente en nuestros costos? |
| ¿Existen riesgos de incumplimiento de contrato o problemas legales en la operación de alquiler de maquinaria? |
| ¿Podría la rápida evolución de la tecnología en maquinaria agrícola desplazar nuestros equipos actuales y afectar la demanda de alquiler? |