



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para optar el título profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

“Elaboración de un plan de mantenimiento basado en la metodología rcm para incrementar la disponibilidad del tractor agrícola John Deere 5090 de la empresa plantaciones del Sol – Motupe 2023”

Autor

Bach. Cristian William Tesen Inga

Asesor:

Méndez Cruz, Oscar

LAMBAYEQUE – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para optar el título profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

“Elaboración de un plan de mantenimiento basado en la metodología rcm para incrementar la disponibilidad del tractor agrícola John Deere 5090 de la empresa plantaciones del Sol – Motupe 2023”

Autor

Bach. Cristian William Tesen Inga

Aprobado por el jurado Examinador:

PRESIDENTE : DR. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO.

SECRETARIO : MSC.JONY VILLALOBOS CABRERA

MIEMBRO : MSC. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA

ASESOR : MSC. MÉNDEZ CRUZ OSCAR

LAMBAYEQUE – PERU

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
TESIS

TITULO:

“Elaboración de un plan de mantenimiento basado en la metodología rcm para incrementar la disponibilidad del tractor agrícola John Deere 5090 de la empresa plantaciones del Sol – Motupe 2023”

CONTENIDOS

Capítulo I	: Planteamiento de la Investigación
Capítulo II	: Diseño Teórico.
Capítulo III	: Diseño Metodológico.
Capítulo IV	: Resultados.
Capítulo V	: Discusión de resultados.
Capítulo VI	: Conclusiones
Capítulo VIII	: Referencias
Capítulo IX	: Anexos

Autor: Bach. Cristian William Tesen Inga

DR. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
PRESIDENTE

MSC. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA
MIEMBRO

MSC. JONY VILLALOBOS CABRERA
SECRETARIO

MSC. OSCAR MENDEZ CRUZ
ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ
2024

Dedicatoria

Quiero dedicar esta tesis a Dios por permitirme culminar con éxito mi tan anhelada carrera,
darme buena salud y fortaleza en todo momento.

A mi familia por ser un pilar importante y constante en este camino

Por último y no menos importante a mí, por dedicarme mucho tiempo a poder concretar este
pequeño gran paso.

Agradecimiento

El principal agradecimiento a Dios quien me ha dado fortaleza para seguir adelante
A mi familia por su comprensión y estímulo constante, además su apoyo incondicional a
lo largo de mis estudios
También a mi hija Antonella quien ha sido mi motivación para nunca rendirme en los
estudios y ser un ejemplo para ella
A mis maestros por sus enseñanzas para desarrollarme profesionalmente y haberme
brindado sus conocimientos en especial a los Ing. Mg. Oscar Méndez Cruz y al Ing. Mg. Jony
Villalobos Cabrera

ÍNDICE

I.	PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1.	Síntesis de la situación problemática	13
1.2.	Formulación del problema de investigación	15
1.2.1.	Problema general	15
1.2.2.	Problemas específicos	15
1.3.	Hipótesis.....	16
1.3.1.	Hipótesis general	16
1.3.2.	Hipótesis específicas.....	16
1.4.	Objetivos.....	17
1.4.1.	Objetivo general.....	17
1.4.2.	Objetivos Específicos	17
II.	DISEÑO TEÓRICO.....	18
2.1.	Antecedentes de estudio.....	18
2.2.	Bases teóricas.....	21
2.2.1.	Tractor Agrícola	21
2.2.2.	John Deere 5090	22
2.2.3.	Plan de mantenimiento.....	27
2.2.4.	Mantenimiento correctivo	28
2.2.5.	Mantenimiento preventivo	28
2.2.6.	Mantenimiento predictivo.....	29
2.3.	Bases conceptuales	30

2.3.1.	RCM.....	30
2.3.2.	Funciones de los equipos.....	31
2.3.3.	Modos de fallas.....	31
2.3.4.	Efectos de fallas	32
2.3.5.	Consecuencias de las fallas.....	32
2.3.6.	Tareas proactivas	32
2.3.7.	Tareas a condición	32
2.3.8.	Tareas de reconocimiento cíclico.....	33
2.3.9.	Tareas de sustitución cíclica	33
2.3.10.	MTBF	33
2.3.11.	MTTR	34
2.3.12.	Disponibilidad.....	35
2.3.13.	Operacionalización de variables	36
III.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	37
3.1.	Diseño de contrastación de hipótesis / Procedimiento a seguir en la investigación	37
3.1.1.	Tipo de investigación.....	37
3.1.2.	Diseño de investigación.....	37
3.1.3.	Enfoque.....	37
3.1.4.	Alcance	37
3.2.	Población y muestra.....	38
3.2.1.	Población	38

3.2.2. Muestra	39
3.3. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos	39
3.3.1. Técnicas de recopilación de datos	39
3.3.2. Instrumento de recopilación de datos	40
IV. RESULTADOS	42
4.1. Diagnóstico del estado actual respecto a disponibilidad y criticidad del tractor agrícola John Deere 5090 – 5	43
4.1.1. Tiempo medio entre fallos – MTBF	45
4.1.2. Tiempo medio entre reparaciones – MTTR	45
4.1.3. Disponibilidad del tractor	46
4.1.4. Análisis de criticidad	47
4.1.5. Análisis de causas raíz de modos de falla críticos	55
4.2. Definición de las tareas de mantenimiento general aplicables al tractor agrícola John Deere 5090 - 5	59
4.2.1. Categorización de modos de falla por sistemas	59
4.2.2. Definición de tareas de mantenimientos para los sistemas críticos	62
4.2.3. Establecimiento periódico de mantenimiento muy crítico	66
4.2.4. Diagrama de decisión RCM	69
4.2.5. Definición de tareas de mantenimiento para sistemas menos críticos	74
4.2.6. Establecimiento periódico de mantenimiento poco crítico	78
4.2.7. Plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM)	81
4.3. Proyección de los indicadores de disponibilidad tras la implementación del plan	

de mantenimiento RCM.....	84
4.3.1. Proyección en sistema motor	84
4.3.2. Proyección en sistema eléctrico y electrónico	87
4.3.3. Proyección en sistema de transmisión.....	90
4.3.4. Proyección en sistema de estructura	93
4.3.5. Proyección de indicadores de disponibilidad tras implementación del Plan de Mantenimiento RCM.....	95
4.4. Análisis de costos del mantenimiento general para el tractor agrícola John Deere 5090	97
4.4.1. Capacitación de operadores de los equipos y al personal técnico	99
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	104
VI. CONCLUSIONES.....	105
VIII. REFERENCIAS.....	107
IX. ANEXOS.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelo de tractor John Deere 5090	22
Figura 2 Modelo de tractor John Deere 5090 - 5	42
Figura 3 Modelo de tractor John Deere 5090 - 10	43
Figura 4 Diagrama de Ishikawa.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5 Diagrama de Pareto	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones clave del tractor	22
Tabla 2 Especificaciones del motor.....	23
Tabla 3 Rendimiento del motor	23
Tabla 4 Transmisión del motor	24
Tabla 5 Sistema Hidráulico del tractor	24
Tabla 6 Enganche trasero	25
Tabla 7 Toma de fuerza trasera (TDF).....	25
Tabla 8 Eje trasero.....	25
Tabla 9 Llantas posteriores y delanteras del tractor	26
Tabla 10 Sistema eléctrico del tractor	26
Tabla 11 Estación del operador.....	26
Tabla 12 Dimensiones	27
Tabla 13 Capacidad del tractor	27
Tabla 14 Ventajas y desventajas del RCM	31
Tabla 15 Matriz de operacionalización de variables independiente y dependiente	36
Tabla 16 Modelos de tractores agrícolas indicados en la población	38
Tabla 17 Registro de fallas del tractor 5090 – 5	44
Tabla 18 Escala de referencia de niveles de criticidad.....	49
Tabla 19 Escala de calificación y criterios	50
Tabla 20 Análisis de criticidad del tractor John Deere 5090 - 5	51
Tabla 21 Niveles de criticidad.....	52
Tabla 22 Modos de falla aplicables a escalas de criticidad	53
Tabla 23 Lista de causa raíz de modos de falla	55
Tabla 24 Categorización sistemático de modos de fallo	60
Tabla 25 Especificación de sistemas más críticos del tractor John Deere 5090 - 5.....	61

Tabla 26 Especificación d sistemas menos críticos del tractor John Deere 5090 - 5.....	62
Tabla 27 Tareas de mantenimiento para sistemas motor	62
Tabla 28 Tareas de mantenimiento para sistemas eléctricos y electrónicos	63
Tabla 29 Tareas de mantenimiento para sistemas de transmisión	64
Tabla 30 Tareas de mantenimiento para sistemas de estructura	65
Tabla 31 Periodicidad de mantenimiento del sistema motor	66
Tabla 32 Periodicidad de mantenimiento del sistema eléctrico.....	67
Tabla 33 Periodicidad de mantenimiento del sistema de transmisión	67
Tabla 34 Periodicidad de mantenimiento del sistema de estructura	68
Tabla 35 Hoja de Decisión del RCM del Sistema Motor.....	70
Tabla 36 Hoja de Decisión del RCM del Sistema de Eléctrico y Electrónico	71
Tabla 37 Hoja de Decisión del RCM del Sistema de Transmisión	72
Tabla 38 Hoja de Decisión del RCM del Sistema Estructura	73
Tabla 39 Tareas de mantenimiento para el sistema neumático.....	74
Tabla 40 Tareas de mantenimiento para el sistema eléctrico/electrónico	75
Tabla 41 Tareas de mantenimiento para el sistema de transmisión.....	75
Tabla 42 Tareas de mantenimiento para el sistema de dirección	76
Tabla 43 Tareas de mantenimiento para el sistema de hidráulico	76
Tabla 44 Tareas de mantenimiento para el sistema de motor	76
Tabla 45 Tareas de mantenimiento para el sistema de chasis y/o carrocería.....	77
Tabla 46 Tareas de mantenimiento para el sistema de combustible	77
Tabla 47 Tareas de mantenimiento para el sistema de estructura	78
Tabla 48 Periodicidad general de mantenimiento poco crítico	78
Tabla 49 Sistemas más críticos.....	84
Tabla 50 Proyecciones del sistema motor	86
Tabla 51 Proyecciones del sistema eléctrico y electrónico modo de falla 1	89

Tabla 52 Proyecciones del sistema eléctrico y electrónico modo de falla 2	90
Tabla 53 Proyecciones del sistema de transmisión.....	92
Tabla 54 Proyecciones del sistema de estructura	94
Tabla 55 Nuevo registro de fallas del tractor 5090 – 5	96
Tabla 56 Aumento de Disponibilidad.....	97
Tabla 57 Equipamiento requerido para el Mantenimiento de los Sistemas Críticos.....	98
Tabla 58 Cuadro de capacitación.....	99
Tabla 59 Costo del mantenimiento del sistema motor.....	100
Tabla 60 Costo del mantenimiento del sistema Transmisión	101
Tabla 61 Costo del mantenimiento del sistema Eléctrico	101
Tabla 62 Costo del mantenimiento del sistema de Estructuras	102
Tabla 63 Costo de la capacitación	102
Tabla 64 Costo Total	103
Tabla 65 Ahorro	103

Resumen

La investigación desarrolló un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para incrementar la disponibilidad del tractor agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol en Motupe, Lambayeque. Inicialmente, se diagnosticó una disponibilidad de 85.16% y se identificaron modos de falla críticos en sistemas clave como motor, eléctrico/electrónico, transmisión y estructura. El estudio utilizó un método aplicado, diseño no experimental y enfoque cuantitativo, buscando una solución práctica al problema.

Mediante la aplicación sistemática del RCM, se definieron tareas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, incluyendo la elaboración de diagramas de decisión para los sistemas críticos. Estas tareas se consolidaron en un plan de mantenimiento integral, alineado con las necesidades reales del equipo para abordar sus fallas más recurrentes.

Los resultados obtenidos mostraron un aumento significativo de la disponibilidad proyectada a 90.3%, lo que representa una mejora del 5.14% en comparación con la situación inicial. Además, se proyectó un ahorro de S/ 1,344.94 gracias a la efectiva implementación del plan de mantenimiento RCM.

Se concluye que la elaboración e implementación de este plan fue exitosa, incrementando sustancialmente la disponibilidad operativa del tractor agrícola John Deere 5090, lo que se traduce en mayor productividad, eficiencia y rentabilidad para la empresa.

Palabras clave: mantenimiento, RCM, disponibilidad, tractor, productividad.

Abstract

The research developed a maintenance plan based on the RCM methodology to increase the availability of the John Deere 5090 agricultural tractor of the Plantations del Sol company in Motupe, Lambayeque. Initially, an availability of 85.16% was diagnosed and critical failure modes were identified in key systems such as engine, electrical/electronic, transmission and structure. The study used an applied method, non-experimental design and quantitative approach, seeking a practical solution to the problem.

Through the systematic application of RCM, preventive, predictive and corrective maintenance tasks were defined, including the development of decision diagrams for critical systems. These tasks were consolidated into a comprehensive maintenance plan, aligned with the real needs of the equipment to address its most recurring failures.

The results obtained showed a significant increase in projected availability to 90.3%, which represents an improvement of 5.14% compared to the initial situation. In addition, a saving of S/ 1,344.94 was projected thanks to the effective implementation of the RCM maintenance plan.

It is concluded that the development and implementation of this plan was successful, substantially increasing the operational availability of the John Deere 5090 agricultural tractor, which translates into greater productivity, efficiency and profitability for the company.

Keywords: maintenance, RCM, availability, tractor, productivity.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Síntesis de la situación problemática

De manera global, los sectores dedicados al negocio de la agricultura han experimentado notables progresos. Esto resalta la importancia de que sus maquinarias y dispositivos cuenten con un nivel óptimo en su funcionalidad para una eficiente producción ya que es esencial que posean un alto nivel de confiabilidad en su funcionamiento. En este sentido, la ingeniería de mantenimiento ha evolucionado, implementando cambios significativos para salvaguardar la integridad de los equipos mediante una nueva perspectiva que asegura su operatividad constante. (Albujar & Jesusi, 2020)

Debido a esto, es esencial que las diversas empresas que existen actualmente cuenten con la capacidad de actualizar sus mecanismos y herramientas para incorporar esta perspectiva moderna del mantenimiento. Esto contribuirá a reducir los riesgos que podrían amenazar sus objetivos y potencialmente causar pérdidas significativas o incluso el cierre de sus operaciones. mejorando cada activo en la entidad. Teniendo como objetivo primario implementar tareas para mejorar los mantenimientos que se centralizan en parámetros de confiabilidad, esto asegura que las entidades puedan mantener sus operaciones sin problemas y evitar posibles contratiempos. (Soto, 2016)

En el Perú, las compañías industriales y agrícolas están continuamente persiguiendo una mayor eficiencia, destacando la importancia de asegurar el funcionamiento óptimo de su equipamiento. Sin embargo, mayormente existen limitaciones para realizar acción correctivas, preventivas y predictivas, lo cual en ocasiones no pueden cumplir con las expectativas ya que las fallas en ocasiones son aspectos no considerados en las planeaciones. Por tal motivo, considerar realizar un plan de mantenimiento que se base en parámetros de confiabilidad (RCM, que emerge como una alternativa destacada para prolongar la vida útil de las maquinarias y equipos,

evitando fallos imprevistos (Edgar & Cordero, 2020).

A nivel local, la empresa Plantaciones del Sol S.A.C ubicada en el kilómetro 850 de la Carretera Panamericana Carretera Panamericana en Motupe, Lambayeque, tiene como actividad principal el cultivo de aguacates, arándanos y uvas de mesa, así como variedades de cultivos de horticultura empleando las últimas innovaciones agrícolas. La problemática surge por la falta de organización para los requerimientos del Tractor Agrícola John Deere 5090 que no está disponible para las actividades que realiza la entidad. (Carranza, 2020)

Respecto a las causas de este inconveniente esta que los trabajadores operativos no conocen los requerimientos de la empresa en su totalidad. Es así como el pago por solucionar las fallas de algún activo puede ser muy elevados que perjudican la productividad. Asimismo, los colaboradores especializados poseen poco conocimiento para el mantenimiento correcto del tractor Agrícola John Deere 5090. (Carranza, 2020)

Es importante destacar que, en ciertos casos, el personal encargado de tareas mecánicas puede estar ausente y no ser reemplazado, lo cual conlleva a una mayor carga de trabajo en el mismo período de tiempo. Resultando así que las actividades a veces se realizan de manera incompleta o se acumulen y toman más tiempo para completarse. Esto ocurre frecuentemente en los mantenimientos preventivos, donde un mantenimiento de nivel 1 (PM1) podría llevar aproximadamente 2 horas con 30 minutos y un mantenimiento de nivel 4 (PM4) requiera de 8 horas para asegurar un trabajo de calidad en un período más corto. Esta situación conlleva a una mayor interrupción de las operaciones de los equipos, pérdidas en la producción, problemas con el personal, etc.

1.2. Formulación del problema de investigación

1.2.1. Problema general

¿Cómo un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM mejorará la disponibilidad del Tractor Agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol - Motupe, en el año 2023?

1.2.2. Problemas específicos

PE1. ¿Cuál es el estado actual de las prácticas de mantenimiento aplicadas al tractor agrícola John Deere modelo 5090 de la empresa Plantaciones del Sol – Motupe en el año 2023?

PE2. ¿Cómo deberían definirse las tareas de mantenimiento general para el tractor agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol – Motupe en el año 2023?

PE3. ¿Cuál es el incremento de los indicadores de confiabilidad después de haber aplicado la metodología RCM en el tractor agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol – Motupe en el año 2023?

PE4. ¿Qué variación se proyecta en los costos de mantenimiento general luego de haber aplicado la metodología RCM en el tractor Agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol - Motupe en el año 2023?

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

La elaboración del plan de mantenimiento RCM mejorará la disponibilidad del tractor agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol - Motupe, en el año 2023.

1.3.2. Hipótesis específicas

HE1. El diagnóstico de la situación actual indicará la disponibilidad del tractor agrícola JOHN DEERE 5090 de la empresa Plantaciones del Sol - Motupe, 2023.

HE2. El diagnóstico permitirá definir las tareas de mantenimiento general para del tractor Agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol - Motupe, en el año 2023.

HE3. La metodología RCM incrementará los valores de disponibilidad del tractor Agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol - Motupe, en el año 2023.

HE4: La metodología RCM reducirá los costos de mantenimiento del tractor Agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol - Motupe, 2023.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Elaborar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para incrementar la disponibilidad operativa del tractor Agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol – Motupe, 2023.

1.4.2. Objetivos Específicos

OE1. Diagnosticar el estado actual de las paradas y analizar los indicadores de disponibilidad y criticidad del tractor agrícola JOHN DEERE 5090 de la empresa Plantaciones del Sol - Motupe, 2023

OE2. Definir las tareas de mantenimiento general aplicables al tractor Agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol - Motupe, 2023

OE3. Proyectar los indicadores de disponibilidad esperados posterior a la implementación de la metodología RCM en el tractor agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol - Motupe, 2023

OE4. Realizar el análisis de costos del mantenimiento general para del tractor Agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol - Motupe, 2023

II. DISEÑO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Contexto Internacional

Cañaveral y Bustamante (2022) en su estudio titulado: “Diseño de un programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para una empresa manufacturera de látex” tiene por finalidad elaborar una estrategia documentada para realizar mantenimientos centrándose en la confiabilidad. Para esto se usa una investigación cuantitativa, con un diseño no experimental. Se obtiene como conclusión que las operaciones principales de los activos de la planta se analizan de optima forma considerando un diagrama de bloques.

Finaliza mencionando que los planes de mantenimiento son guías futuras para consultas de temas relacionados.

Silva, et al. (2019) en su estudio titulado: “Diseño de plan de mantenimiento preventivo para los talleres del centro CIES Sena Regional Norte de Santander utilizando metodología RCM” tuvieron por finalidad elaborar un programa para tareas de mantenimiento para prevenir que las maquinas usadas en los centros de capacitación como áreas industriales, áreas de mecánica, área de metalurgia, áreas de transmisión de Diesel, tareas preventivas para optimizar los motores de Diesel y parte electromecánica automotriz, utilizando la metodología RCM. Este estudio se basó en una metodología aplicada con limitaciones cuantitativas y con un diseño cuasi experimental. Se concluye que los planes de mantenimiento aseguran continuidad en la productividad de los equipos.

Edgar y Cordero (2020) en su artículo titulado: “Uso de la metodología FMECA - RCM, para la optimización de la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre” tiene por finalidad plantear un plan para reducir los costos de producción, esto conlleva necesariamente enfocar el trabajo en la poca disponibilidad, además del capital

a invertir en dar un mantenimiento adecuado, siendo este bastante algo. En consecuencia, analizando los indicadores de sensibilidad se puede mostrar los beneficios de crear una lista de tareas de mantenimiento y documentarlo, usando estrategias de FMECA. En ese estudio, el enfoque fue cuantitativo y el diseño a usar fue de tipo cuasi experimental. Este enfoque, respaldado por herramientas matemáticas y estadísticas, brinda información sobre el estado de los equipos y al mismo tiempo, se permite así la identificación de áreas de mejora en orden de prioridad.

Contexto Nacional

Martinez (2023) en su estudio titulado: “Sistema de gestión basado en la metodología del RCM para mejorar la disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción de barras de construcción N°1 de SIDERPERU, provincia del Santa, departamento de Ancash” tiene por objetivo incrementar los indicadores de disponibilidad de activos mecánicos pertenecientes a la empresa, por lo que se aplicó una orientación cuantitativa, con un diseño de tipo no experimental, además de descriptivo. Se obtuvo que de los 12 equipos que se seleccionaron debido a su nivel de criticidad, se diseñaron hoja de decisiones RCM. La parte de viabilidad económica muestra que las utilidades de manera anual son próximas a 510 mil dólares, lo que claramente muestra la viable de su ejecución.

Aliaga (2022) en su estudio titulado: “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo con la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de las máquinas en línea de envasado latas en una empresa cervecera – Lima” tiene por finalidad crear el plan de tareas de mantenimiento RCM. Los resultados logrados fueron que, dentro del sector industrial de envasado, la disponibilidad de los activos inicia con un valor de 80.16% y después de la implementación la disponibilidad es de 95.0%, se concluye entonces que la metodología RCM ayudo a la empresa a incrementar la disponibilidad de sus equipos.

Chapoñan y Fuertes (2020) en su estudio titulado: “Aplicación de la metodología RCM, para incrementar la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019” tiene por finalidad crear la ejecución de un plan RCM, para así aumentar los niveles que sus activos se hallen disponibles. Se uso una orientación cuantitativa debido a la cantidad de datos numéricos, el tipo de investigación es aplicado ya que se plantea solucionar un problema real. Para realizar el estudio se analizan tres activos, luego se procedió a observar cada uno de estos equipos, informando que el tiempo que existe entre cada falla aumento y el tiempo de reparaciones disminuye. Esto da a entender que el plan RCM cumple su propósito de mejorar la productividad de la compañía. Esta diferencia se confirmó a través de los niveles de significancia con $p\text{-valor} < 0.05$.

Contexto Local

Carranza (2020) en su estudio: “Gestión del mantenimiento preventivo para mejorar la productividad en el proceso productivo de sacos de una empresa de Lambayeque”, tiene la finalidad implementar estrategias de gestionar correctas tareas de mantenimiento, para si poder elevar la productividad de la compañía del sector textil. Para ello emplean métodos de plan centrados en confiabilidad. La investigación tiene un diseño no experimental y el tipo general de trabajo es aplicado. Se usaron fichas técnicas para indicar las incidencias. Una vez ejecutado el plan muestran un avance en la producción de la empresa, superando los 45 kilogramos clase A por cada sol invertido en el plan. Por lo tanto, esta solución es una mejora no solo técnica sino también económica.

Barsalio (2020) en “Gestión del mantenimiento utilizando la herramienta RCM para aumentar la eficiencia de los vehículos de la empresa Indoamérica Servicios Logísticos S. A – Lambayeque”, se enfoca en realizar una lista de tareas para realizar mantenimientos centrados en la confiabilidad, y de esta manera aumentar la eficiencia de los vehículos que pertenecen a la empresa. El trabajo dispone de un diseño no

experimenta, además de ser un estudio descriptivo. Los resultados revelaron un 80% de activados tienen un nivel de criticidad intermedio. Sin embargo, luego de implementar dicho plan, este número se reduce a valores cercanos a 60%, confirmando así la eficiencia de la ejecución del plan. Además, considerando el análisis económico, concluyendo que por cada sol invertida se gana un monto de 39 céntimos.

López Loayza (2019) en su investigación titulada “Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para el área de preparación de caña en la empresa Azucarera Agrolmos”. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. tiene por finalidad diseñar un plan para realizar el mantenimiento a diversos activos. Dicho plan se centra en la confiabilidad y evalúa indicadores respecto al tiempo de fallas y el tiempo de reparaciones de estas fallas, además de otros parámetros relacionados con la finalidad de aumentar la disponibilidad y a su vez la eficiencia de todos los activos analizados. Se emplearon herramientas como las de observación directa, fotografías y formularios de recopilación de datos. El autor señaló las deficiencias que suceden constantemente, lo que generan interrupciones en la productividad. Se crearon fichas técnicas para cada uno de los equipos y se asignaron códigos de identificación correspondientes. El costo total de implementación es cercano a los 32 mil soles.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tractor Agrícola

Los tractores agrícolas son actualmente muy importantes en los trabajos de campo, reemplazando el trabajo animal como principal fuerza motriz, se considera como una de las herramientas más utilizadas por los agricultores. El conocimiento experto sobre este tipo de maquinaria resulta clave para el aumento de productividad de cultivos. Respecto a su funcionalidad, es una máquina dotada de un motor para su constante desplazamiento, puede ser usada para tirar de otros equipos u objetos como arados o rastras, así como para accionar partes mecánicas de máquinas

estacionarias como molinos, bombas, elevadores de grados, o en contraparte equipos móviles como embaladoras de heno, segadoras, chapeadoras, etc. (Pablo, 2020)

2.2.2. John Deere 5090

Figura 1

Modelo de tractor John Deere 5090



Nota. Adaptado de John Deere como uno de sus modelos de tractores unitarios de 90HP

[fotografía], por Deere Latín América 2023.

2.2.2.1. Especificaciones técnicas

Tabla 1

Especificaciones clave del tractor

Diseño del motor	John Deere PowerTech 4045
Cilindrada del motor	4 cilindros: 4,5 L
Potencia nominal del motor	Motor T2 - 66.4 kW: 89 hp Motor T2 (PowerReverser) - 68.6 kW: 92 hp
Potencia nominal de la TDF HP SAE	Motor T2 - 64.3 KW: 86.3 hp Motor T2 (PowerReverser) - 64.3 kW: 86.3 hp
Tipo de transmisión	Sincronizada 9F/3R (12F/12R)
Categoría del enganche trasero	Categoría 1 y 2

Nota. Se muestra las especificaciones claves del tractor John Deere 5090.

2.2.2.2. Motor

Tabla 2

Especificaciones del motor

Descripción	John Deere PowerTech 4045
Familia de motor	T2
Régimen nominal	2400 rpm
Aspiración	Motor 2 turboalimentado
Camisas de cilindro	Camisas húmedas
Cilindrada	4 cilindros: 4.5L

Nota. La tabla muestra las especificaciones del motor John Deere PowerTech 4050.

2.2.2.3. Rendimiento

Tabla 3

Rendimiento del motor

Potencial Nominal	Motor T2 - 66.4 kW: 89 hp
	Motor T2 (PowerReverser) - 68.6 kW: 92 hp
Potencia Nominal de la TFH	Motor T2 - 64.3 kW: 86.3 hp
	Motor T2 (PowerReverser) - 64.3 kW: 86.3 hp

Nota. La tabla muestra las especificaciones del rendimiento del motor.

2.2.2.4. Transmisión

Tabla 4

Transmisión del motor

Tipo	Sincronizada	9F/3R
	Opción: PowerReverser 12F/12R	
Inversor	Opción: Electrohidráulico	
Embrague	Seco	
	Opción: Húmedo (PowerReverser)	

Nota. La tabla muestra las especificaciones de la transmisión del motor John. Deere

2.2.2.5. Sistema hidráulico

Tabla 5

Sistema Hidráulico del tractor

Tipo	De centro abierto	
Caudal disponible en una	60.2	L/min
única VCS trasera	15.9 gpm	
Control de la VCS con palanca	Opcional	

Nota. La tabla muestra las especificaciones del sistema hidráulico del tractor John Deere 5090.

2.2.2.6. Enganche trasero

Tabla 6

Enganche trasero

Tipo de detección de carga del control de tiro del enganche	Mecánico
Categoría del enganche (denominación SAE)	Categoría 1 y 2
Capacidad máxima de levante detrás de los puntos de levante	1972.3 kgf - 1398.3 kgf (a 610 mm)
Tipo de detección	Tensor central

Nota. La tabla muestra las especificaciones del enganche trasero del tractor.

2.2.2.7. Toma de fuerza trasera TDF

Tabla 7

Toma de fuerza trasera (TDF)

Tipo	Estándar: 540/540E Economy rpm
Accionamiento de la TDF	Mecánico / Opción: Electrohidráulico

Nota. La tabla muestra las especificaciones de la toma de fuerza TDF.

2.2.2.8. Eje trasero

Tabla 8

Eje trasero

Controles del diferencial	Mecánico (pedal)
Frenos, tipo y control	Multidisco en baño de aceite

Nota. Se muestra las especificaciones del eje trasero del tracto John Deere.

2.2.2.9. Llantas

Tabla 9

Llantas posteriores y delanteras del tractor

Parte delantera	Estándar:	12.5/80-18	(DT)
	Opción:	280/70R16 (DT)	
Parte trasera	Estándar:	16.9-24	
	Opción:	340/85R24	

Nota. La tabla muestra las especificaciones de las llantas del tractor John. Deere.

2.2.2.10. Sistema eléctrico

Tabla 10

Sistema eléctrico del tractor

Tamaño del alternador	70 amperios
-----------------------	-------------

Nota. La tabla muestra la especificación técnica del suministro eléctrico del tractor John Deere.

2.2.2.11. Estación del operador

Tabla 11

Estación del operador

	Rígida–plegable–telescópica
	Plegable
Estructura protectora	Plataforma–plana/tipo cabalgadura
antivuelco, OOS	Semiplana
	Ubicación del cambio de marchas– consola/suelo

Nota. La tabla muestra las especificaciones la estación del operador.

2.2.2.12. Dimensiones

Tabla 12

Dimensiones

Distancia entre ejes	2177 mm
Longitud total	3586 mm
Peso aproximado de embarque, estación abierta, cabina	DT - 2670 kg

Nota. La tabla muestra las especificaciones de las dimensiones del tractor John Deere.

2.2.2.13. Capacidades

Tabla 13

Capacidad del tractor

Capacidad del depósito de combustible	95 L
Sistema de enfriamiento	10.8 L
Sistema hidráulico y de la transmisión	41.8 L Opción (PowerReverser): 43.5 L

Nota. La tabla muestra las especificaciones de la capacidad del tractor John Deere.

2.2.3. Plan de mantenimiento

Es el grupo de actividades destinadas a conservar los equipos y maquinarias en óptimas condiciones de funcionamiento. Por ende, un plan de mantenimiento es un documento formal y técnico que detalla dichas actividades, como tareas necesarias para cada equipo o máquina que constituyen a una compañía. La implementación o ejecución correcta del plan reduce la ocurrencia de averías imprevistas en los distintos instrumentos y herramientas, ya que establece un procedimiento periódico de revisiones preventivas y correctivas apoyando la

productividad y competitividad de la organización. La conservación proactiva de estos activos físicos genera beneficios económicos debido a la disminución de costos de reparación y a la vez extiende la vida útil de los equipos. (Rios, 2019)

Hoy en día es prácticamente obligatorio contar con estos planes de mantenimiento, porque si bien los costos de adquisición de máquinas son bastante elevados, el que estos no funcionen o tenga problemas, repercute directamente en la economía, implicando incluso gastos mayores a la empresa.

2.2.4. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo fue el primer tipo de mantenimiento en implementarse, como su nombre indica, consiste en corregir o reparar fallas y averías que se han presentado, a diferencia de anticiparse a ellas. Incluye el conjunto de tareas necesarias para solucionar incidencias y restablecer el funcionamiento de equipos una vez que se ha producido un problema. Generalmente las actividades correctivas no son planificadas, sino que se ejecutan sobre la marcha después de detectada y analizada la situación. (Diaz, 2022)

2.2.5. Mantenimiento preventivo

Radica en monitorear continuamente los activos o aparatos siguiendo criterios preestablecidos. El objetivo es prevenir fallas generadas por el desgaste y deterioro normal debido al uso continuado o simple paso del tiempo. (Diaz, 2022)

Como su nombre lo indica, el enfoque preventivo busca adelantarse y evitar que ocurran averías, en contraste con esperar a que los equipos fallen para luego repararlos. Al anticiparse a los problemas, este tipo de mantenimiento conlleva una disminución de costos por reparaciones de emergencia, así como menos tiempo de inactividad de los equipos. En efecto, la detección temprana de condiciones anormales o componentes gastados permite programar reparaciones menores antes

de que se produzcan fallas mayores. (Diaz, 2022)

Se pueden analizar dos subtipos en este tipo de mantenimiento:

2.2.5.1. Mantenimiento programado

Se basa de acuerdo con el tiempo o intensidad de operación de los equipos, pueden ser los kilómetros recorridos, las horas efectivas de funcionamiento o los ciclos de trabajo cumplidos. Este enfoque planifica las tareas de mantenimiento en función de parámetros que miden directamente el desgaste real de las máquinas derivado de su utilización. (Diaz, 2022)

2.2.5.2. Mantenimiento de oportunidad

Es el aprovechamiento de los periodos en que los equipos se encuentran detenidos o fuera de operación para poder realizar las actividades de mantenimiento. De esta forma se evitan cortes adicionales en la producción, que puede darse cuando las maquinas se encuentren detenidas por descansos regulares, cambios de lote de fabricación u otros aspectos. (Diaz, 2022)

2.2.6. Mantenimiento predictivo

Se basa en proceder a revisar constantemente los activos físicos a través de indicadores establecidos, esto para poder manifestar el estado actual de cada equipo y así hacer una comparativa respecto a sus funciones. Básicamente consta de inspeccionar los equipos con el fin saber su nivel de operabilidad mediante distintas variables que ayudan a entender su condición, dichas inspecciones se realizan de manera constante para la prevención de algún tipo de falla. (Diaz, 2022)

2.3. Bases conceptuales

2.3.1. RCM

RCM (Reliability Centered Maintenance) tiene como propósito principal la identificación de acciones preventivas necesarias para poder asegurar el rendimiento de los activos físico en todas sus operaciones. De esta manera, se busca reducir los costos y enfocar las actividades de mantenimiento en las fallas más críticas. Este tipo de mantenimiento implica realizar un estudio a profundidad de cada falla, sus causas y las consecuencias de estas, para así saber escoger estrategias de mantenimiento adecuado respecto a cada situación. El éxito de este plan se basa en un control preciso de actividades, para lograr dicho control se usan formatos de registro de datos, los cuales son fundamentales para mejorar de forma continua las acciones preventivas que deben implementarse. (Palacios, 2016)

Para realizar el análisis se hacen las siguientes preguntas: (Jacob Ben & Mohamed, 2021)

- ¿Cuáles son las funciones y el rendimiento de la maquinaria?
- ¿Cómo puede producirse las posibles fallas?
- ¿Cuáles son las fallas más comunes?
- ¿Cuáles son las causas más comunes?
- ¿Cuáles son las repercusiones de un equipo malogrado?
- ¿Qué se tiene que hacer para prevenir las fallas de una maquinaria?
- ¿Qué procedimiento debe hacerse si la falla fue del mantenimiento?

2.3.1.1. Ventajas y desventajas del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad

Tabla 14

Ventajas y desventajas del RCM

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Realiza tareas para realizar mantenimiento en base a los requerimientos.• Reduce el presupuesto de mantenimiento.• Reduce las frecuencias de falla en los equipos.• Reduce la posibilidad de falla para los activos.• Incremento de fiabilidad de activos.• Elabora un análisis de las causas raíz en forma metódica.	<ul style="list-style-type: none">• Altos costos en capacitación del personal.• No gestiona el uso de técnicas acorde a la condición.• Los recursos implementados no están bien justificados.

Nota. La tabla muestra las posibles consecuencias que tiene la aplicación de un plan RCM.

2.3.2. Funciones de los equipos

Se refiere al propósito por lo cual se diseñó el proceso en análisis e incluye la identificación de cada una de las funciones de los subsistemas en caso de ser un sistema completo. (Cuatrecasas, 2020)

2.3.3. Modos de fallas

Son identificados cómo el producto o proceso suele experimentar este suceso. Estos se clasifican en: (Cuatrecasas, 2020).

- Avería completa
- Avería media

- Avería intermitente
- Avería prematura
- Avería por sobreesfuerzo

2.3.4. Efectos de fallas

Las averías perjudican a la compañía, ya que pueden impactar en la productividad de los entregables. Estas posibles desventajas pueden variar según sea el caso. (Cuatrecasas, 2020).

2.3.5. Consecuencias de las fallas

Cada una de estas fallas afecta a la organización de manera diferente, ya que pueden impactar en la operación, la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente. Las consecuencias varían según el caso (Cuatrecasas, 2020).

2.3.6. Tareas proactivas

Las tareas proactivas comienzan previos al suceso de una avería, teniendo por finalidad mitigar que exista el daño. Constantemente. resulta desafiante determinar la viabilidad técnica de estas tareas. La decisión de llevar a cabo estas tareas puede depender de las características de la falla, y determinar si su ejecución es justificable suele requerir un análisis más profundo. (Soto, 2016)

2.3.7. Tareas a condición

Se colocan en la parte inicial del proceso de selección de actividades, porque en general, se llevan a cabo sin necesidad de mover el activo físico de su posición mientras el activo sigue en funcionamiento. Además, permiten identificar las condiciones particulares que podrían llevar a una falla potencial, así como localizar el punto donde esa falla potencial podría ocurrir en el equipo. (Soto, 2016)

2.3.8. Tareas de reconocimiento cíclico

Para que tal opción sea viable, debe ser técnicamente factible, y las fallas observadas deben ubicarse dentro de un tiempo promedio. En tales casos, llevar a cabo un reacondicionamiento cíclico antes de que los componentes alcancen este tiempo promedio puede ayudar a minimizar la incidencia de fallas operativas. Algunas de las ventajas de estas tareas incluyen la necesidad de detener la operación del activo y enviarlo al taller. (Soto, 2016).

2.3.9. Tareas de sustitución cíclica

Por lo general, se considera como una alternativa inadecuada respecto al precio, comparándolo con las acciones previamente mencionadas. No obstante, si se logra que sea viable técnicamente, presentan muchas ventajas. En ocasiones, la sustitución de un componente puede prevenir algunas fallas que no se habían tenido en cuenta previamente (Soto, 2016).

2.3.10. MTBF

Se interpreta como el tiempo medio que existe entre las averías, para aspectos de mantenimiento so importantes considerarlos ya que de esta manera se tiene un mayor control de las acciones. Básicamente mide el tiempo que pasa entre la primer y segunda varia, así sucesivamente. Lógicamente si el valor del MTBF es mayor, significa que el tiempo que paso entre los fallos también es mayor, lo que quiere decir que la inactividad de algún equipo es menor. El objetivo de los planes de mantenimiento es tener este indicador lo más alto posible, porque muestra el rendimiento de un activo. (Eurfins, 2023)

Fórmula para calcular el MTBF: (Eurfins, 2023)

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{tiempo de inactividad}}{\textit{N}^{\circ} \textit{ de paradas}}$$

Donde:

- Tiempo total disponible: Número total de horas en las que la máquina

podría haber estado funcionando.

- Tiempo de inactividad: Número total de horas en las que la máquina estuvo en estado de parada a consecuencia de una avería.
- N° de paradas: Número total de paradas por avería.

2.3.11. MTTR

Mean Time To Repair (MTTR) por su traducción Tiempo Medio Entre Reparación, el cual se da entre el momento que el equipo entra en parada hasta que sea puesto en servicio nuevamente. (Rosales, 2023)

Este indicador busca que el tiempo de reparación sea el mínimo posible y que se ajuste al tiempo de duración estándar establecido por un plan de mantenimiento. Si el MTTR es elevado, se entiende que hay una baja eficiencia y eficacia en las reparaciones. (Rosales, 2023)

Fórmula para calcular el MTTR: (Rosales, 2023)

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}{\textit{N° de reparaciones}}$$

Donde:

- Periodo total para mantenimiento: Cantidad total de horas destinadas a efectuar reparaciones.
- Cantidad de reparaciones: Número total de intervenciones de reparación o rectificación de fallas en algún bien.

2.3.12. Disponibilidad

El indicador de disponibilidad muestra la capacidad de un equipo o máquina para llevar a cabo una actividad determinada de forma inmediata cuando sea requerido. Es decir, el indicador refleja el tiempo en el cual el equipo o sistema puede funcionar según lo necesario, sin retrasos o demoras. (Soto, 2016)

Fórmula para calcular la disponibilidad

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

Donde:

MTBF: Tiempo promedio entre fallas

MTTR: Tiempo promedio de reparación

2.3.13. Operacionalización de variables

Tabla 15

Matriz de operacionalización de variables independiente y dependiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
<p>X: VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Plan de mantenimiento basado en la metodología RCM</p>	<p>Un plan de mantenimiento es una gestión de mejora de procesos, proactiva, sistemática y de trabajo en equipo que permite rediseñar un proceso para evitar fallas o errores antes de que ocurran. (Cuatrecasas, 2020).</p>	<p>El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) indica que la consecuencia de una falla es mucho más importante que las causas técnicas de la falla, por tal motivo cualquier actividad de mantenimiento debe encargarse de minimizar o eliminar las consecuencias de las fallas. (Quispe, 2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo medio entre fallas de un activo físico. • Tiempo medio en reparación de un activo físico. • Análisis de criticidad 	<ul style="list-style-type: none"> • $MTBF = \frac{T.\text{total disponible}-T. \text{ de inactividad}}{N^{\circ} \text{ de paradas}}$ • $MTTR = \frac{\text{Tiempo restauracion de cada equipo}}{\text{Cantidad de fallas}}$ • Criticidad = Frecuencia * Consecuencias
<p>Y: VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Disponibilidad operativa del tractor agrícola John Deere 5090 de la empresa Plantaciones del Sol</p>	<p>Cuando un equipo o máquina tiene la función de ejecutar una tarea específica de forma inmediata. Siendo el motivo principal por la cual el activo fue adquirido. (Soto, 2016).</p>	<p>La obtención de este parámetro se da mediante el cálculo y la combinación de los indicadores de Confiabilidad y Mantenibilidad. (Soto, 2016).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Confiabilidad $C = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$ <ul style="list-style-type: none"> • Mantenibilidad $M = 1 - e^{-\left(\frac{t}{MTTR}\right)}$	<ul style="list-style-type: none"> • $D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100\%$ • Cronograma de actividades técnicas • Valoración económica

Nota. La tabla muestra las variables de la investigación de manera detallada y la forma de cómo serán analizadas.

III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de contrastación de hipótesis / Procedimiento a seguir en la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación será de tipo aplicada, puesto que busca encontrar una solución práctica para una problemática específica mediante la elaboración de un producto final útil. El entregable de esta investigación consistirá en un documento que presente una propuesta de planificación para las labores de mantenimiento en un determinado activo físico.

3.1.2. Diseño de investigación

Este estudio utilizará un diseño de investigación no experimental, ya que no se manipularán de forma intencional las variables tanto del plan de mantenimiento como de disponibilidad del activo. Se llevará a cabo un análisis observacional de los fenómenos y sucesos relevantes para determinar una solución viable al problema planteado.

3.1.3. Enfoque

La investigación tendrá un enfoque cuantitativo, ya que usa la recolección y análisis de datos para poder responder las preguntas de investigación y de esta manera poder comprobar las hipótesis planteadas. Empleando una medición numérica y análisis de parámetros cuantificables respecto a los activos físicos de la empresa Plantaciones del Sol.

3.1.4. Alcance

El alcance del estudio será de tipo descriptivo, ya que tiene como principal prioridad poder describir las cualidades y características de la muestra elegida para la investigación dado que su prioridad es caracterizar y describir adecuadamente las

cualidades de la muestra seleccionada, necesarias para desarrollar un plan de mantenimiento óptimo. El alcance descriptivo implica medir y evaluar diversos conceptos vinculados a las necesidades de mantenimiento, junto con registrar y correlacionar características importantes de los activos físicos de la empresa.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población es un conjunto de unidades que tienen similitudes, los cuales servirán para un estudio determinado. Para la presente investigación la población indicada consta de 2 tractores agrícolas modelos John Deere 5090 pertenecientes a la empresa Plantaciones del Sol.

Tabla 16

Modelos de tractores agrícolas indicados en la población

Tractores Agrícolas John Deere 5090 – Plantaciones del Sol – Año 2023			
TR01		TR02	
Código	5090 - 5	Código	5090 - 10
N° de fallas	41	N° de fallas	32

Nota. La tabla muestra la cantidad de fallas que tuvieron cada uno de los tractores durante el año 2023.

3.2.2. Muestra

La muestra está conformada por un subconjunto de la población, que también comparte características similares entre los elementos que los componen. Para la investigación la muestra será 1 tractor, la elección de esta se fundamenta en el criterio de fallos. Específicamente se seleccionó al activo físico que presentó la mayor cantidad de averías durante el período analizado.

Por lo tanto, la muestra de un solo tractor con alta tasa de fallos brindará insumos representativos para el objetivo de elaborar estrategias de gestión de mantenimiento mejor orientadas a asegurar la disponibilidad operacional de estos activos físicos.

3.3. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

3.3.1. Técnicas de recopilación de datos

La técnica que se empleará en esta investigación es de tipo observacional-correlacional. Se realizará una observación directa y sistemática de los activos físicos y su nivel de funcionalidad durante un periodo de tiempo, en función de los objetivos del estudio. Además, se llevará a cabo un análisis correlacional examinando la relación existente entre las variables asociadas a la planificación centrada en confiabilidad (RCM) y los cálculos de disponibilidad de las maquinarias. Mediante esta triangulación de técnicas observacionales y correlacionales será posible recolectar datos sobre el estado operativo real de los equipos, así como vincular estos hallazgos empíricos con los requerimientos de un modelo técnico de gestión de mantenimiento como el RCM. La integración de ambas técnicas potencia un mejor entendimiento de la problemática y una solución óptima en mantenimiento.

3.3.2. Instrumento de recopilación de datos

Los instrumentos son los recursos que el investigador puede utilizar para abordar problemas y poder extraer información de ellos. (Concepto, 2022)

Para la investigación los instrumentos a usar incluyen las fichas técnicas del modelo de tractor agrícola John Deere 5090, así como el historial de fallos registrado para de cada uno de los activos indicados en la población. También la instrumentación cuantitativa constará de modelamientos matemáticos relacionados a los planes de mantenimiento de activos que sirven para el cálculo de parámetros que servirán como indicadores clave para desarrollar el plan de mantenimiento RCM:

- **Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF):** Esta expresión matemática se utiliza para calcular el tiempo promedio que transcurre entre fallas consecutivas de un activo físico. Su fórmula es:

$$\text{MTBF} = \frac{(\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad})}{(\text{Número de paradas})}$$

El MTBF es un indicador clave que mide la confiabilidad y disponibilidad de un equipo o sistema. En el contexto de esta investigación, se utilizó para evaluar la frecuencia de fallas del tractor agrícola John Deere 5090 y establecer un punto de referencia para la mejora de su disponibilidad mediante el plan de mantenimiento RCM.

- **Tiempo Medio de Reparación (MTTR):** Esta fórmula matemática se emplea para calcular el tiempo promedio que se requiere para reparar una falla en un activo físico. Su expresión es:

$$\text{MTTR} = \frac{(\text{Tiempo de restauración de cada equipo})}{(\text{Cantidad de fallas})}$$

El MTTR es un indicador que mide la mantenibilidad de un equipo o sistema. En

la presente investigación, se utilizó para cuantificar el tiempo promedio necesario para reparar las fallas del tractor agrícola John Deere 5090, lo que permitió identificar oportunidades de mejora en los procedimientos de mantenimiento correctivo.

- **Análisis de Criticidad:** Esta ecuación se utiliza para determinar la criticidad de los modos de falla de un activo físico, considerando tanto su frecuencia como sus consecuencias.

La fórmula es:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencias}$$

El análisis de criticidad es fundamental en la metodología RCM, ya que permite priorizar los modos de falla más críticos y enfocar los esfuerzos de mantenimiento en mitigarlos. En esta investigación, se aplicó este análisis para identificar los sistemas y componentes más críticos del tractor agrícola John Deere 5090, lo que sirvió como base para la definición de las tareas de mantenimiento más adecuadas.

- **Disponibilidad:** Esta expresión matemática se emplea para calcular la disponibilidad operativa de un activo físico, considerando su MTBF y MTTR. La fórmula es:

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

La disponibilidad es un indicador clave que refleja el porcentaje de tiempo que un equipo o sistema está disponible para su operación. En el contexto de esta investigación, se utilizó para evaluar la disponibilidad inicial del tractor agrícola John Deere 5090 y proyectar la mejora esperada después de la implementación del plan de mantenimiento RCM.

- **Rango de valores y sumatorias de tablas económicas:** Adicionalmente, se mencionan el uso de rangos de valores y sumatorias de tablas económicas. Estos elementos matemáticos se utilizaron para el análisis de costos y la evaluación económica del plan de mantenimiento RCM.

IV. RESULTADOS

La empresa Plantaciones del Sol, con sede en Lambayeque, cuenta actualmente con dos tractores John Deere modelo 5090. Las especificaciones técnicas detalladas de estos activos pueden encontrarse en la sección 3.2 del presente documento. Asimismo, en el anexo adjunto se incluyen imágenes y datos técnicos de los mencionados tractores John Deere serie 5090, para facilitar la identificación visual y características de dichos equipos.

Figura 2

Modelo de tractor John Deere 5090 - 5



Nota. Plantaciones del sol – Tractor John Deere 5090 – 5 [fotografía]

Figura 3

Modelo de tractor John Deere 5090 - 10



Nota. Plantaciones del sol – Tractor John Deere 5090 – 10 [fotografía]

4.1. Diagnóstico del estado actual respecto a disponibilidad y criticidad del tractor agrícola John Deere 5090 – 5

Tal como fue expuesto en el apartado 4.2.2, la elección del tractor que será utilizada como muestra responde a un criterio previo de seleccionar el equipo con mayores registros históricos de averías, se determinó para el estudio el tractor con código de identificación 5090 - 5, por presentar la mayor cantidad de fallas actualmente en la empresa Plantaciones del Sol.

Tabla 17*Registro de fallas del tractor 5090 – 5*

Código	Observación	Cantidad de fallas	Tiempo de paros en horas
5090 - 5	Llanta baja delantera en lado izquierdo	2	6.9
	Cambio de manómetro	2	10.51
	Máquina no enciende	15	108.33
	Falla con el timón	2	4.79
	Llanta baja posterior en lado izquierdo	3	17.38
	Luz delantera y posterior no encienden	3	22.24
	Reten del cubo lado derecho presenta fuga de aceite	2	21.38
	Sin corriente en chapa de contacto	3	24.81
	Falla de sistema TDF	3	19.06
	Llanta baja delantera en lado derecho	2	1.36
	No enciende foco pirata	3	23.67
	Fuga de petróleo	3	18.22
	Parada por un sonido anormal	2	21.02
	Palanca inversora no acciona	2	1.36
	Rotura de pasador de palanca para cambios de marchas	1	1.65
	Rodaje del ventilador en mal estado	2	11.37
	No marca tablero	1	5.37
	Relleno de aceite hidráulico	2	7.94
	Falta aceite de refrigerante	1	8.8
	Llanta delantera reventada	2	12.52
Máquina acelerada	1	4.56	
Rotura de resorte de embrague	1	5.36	
Cremallera en mal estado	2	12	
TOTAL		60	370.6

Nota. La tabla muestra las especificaciones de fallas y horas de parada del tractor agrícola en

el periodo 2023, con 60 fallas y 370 horas con 36 minutos de paro.

Conversión por regla de 3:

$$370.6 \text{ horas} = 370 \text{ horas} + 0.6 \text{ horas}$$

$$1 \text{ hora} \rightarrow 60 \text{ minutos}$$

$$0,6 \text{ horas} \rightarrow x \text{ minutos}$$

$$1 \text{ hora} \cdot x \text{ minutos} = 0,6 \text{ horas} \cdot 60 \text{ minutos}$$

$$x \text{ minutos} = 36 \text{ minutos} \rightarrow 370 \text{ horas con } 36 \text{ minutos}$$

4.1.1. Tiempo medio entre fallos – MTBF

La empresa Plantaciones del Sol opera sus tractores con una jornada laboral de 8 horas diarias, 6 días por semana. Con base en esto, se extrapolaron distintos datos de utilización considerando el período a analizar. La presente investigación está enfocada en el año 2023, por lo que los cálculos y estimaciones se realizaron en términos anuales.

Considerando que existen 52 semanas al año, se indicó entonces que el tractor agrícola John Deere opera 2496 horas anuales.

Por lo tanto:

- Tiempo total disponible: 2496 horas
- Tiempo de inactividad: 370.6 horas
- N° de paradas: 60

El tiempo medio entre fallos es:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{tiempo de inactividad}}{\textit{N}^{\circ} \textit{ de paradas}}$$
$$MTBF = \frac{2496 - 370.6}{60} = 35,42 \textit{ horas}$$

4.1.2. Tiempo medio entre reparaciones – MTTR

Independientemente de la existencia de algún plan de mantenimiento previo, se analizó este parámetro para conocer el indicador de disponibilidad actual la empresa Plantaciones del Sol.

Por lo tanto:

- Tiempo total de mantenimiento: 370,6 horas
- N° de reparaciones: 60

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}{\textit{N}^{\circ} \textit{ de reparaciones}}$$

El tiempo medio entre reparaciones es:

$$MTTR = \frac{370.6}{60} = 6,17 \text{ horas}$$

4.1.3. Disponibilidad del tractor

Previo a la implementación del plan de mantenimiento RCM, es importante conocer los indicadores actuales de desempeño que tienen los activos físicos de la empresa. Entre estos, la disponibilidad resulta fundamental para el desarrollo de la presente investigación, determinar este valor inicial del tractor John Deere posibilita un óptimo plan de mantenimiento.

Por lo tanto:

- MTBF: 35,42
- MTTR: 6,17

La disponibilidad es:

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

$$\text{Disponibilidad} = \frac{35,42}{35,42 + 6,17} \times 100\% = 85.16 \%$$

El cálculo del valor actual de disponibilidad de 85.16% nos brinda un diagnóstico inicial sobre el estado operativo del tractor agrícola John Deere 5090. Este valor representa el porcentaje de tiempo que el equipo ha estado disponible para operar durante el período evaluado, con relación al tiempo total planificado.

Un valor de disponibilidad del 85.16% indica que, aunque el equipo ha estado operativo la mayor parte del tiempo, aún existen oportunidades de mejora. Este indicador sirve como línea base para comparar y medir el impacto de la implementación del plan de mantenimiento basado en la metodología RCM.

4.1.4. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una parte esencial de esta investigación para desarrollar un plan de mantenimiento RCM que optimice la disponibilidad de los tractores John Deere 5090 en Plantaciones del Sol. Este análisis implica:

- Identificar las fallas más frecuentes y sus tiempos de reparación mediante el registro histórico de fallas y tiempos de inactividad.
- Clasificar los sistemas y componentes según su nivel de criticidad, considerando factores como frecuencia de fallas, tiempo medio para reparar (MTTR), impacto operacional y consecuencias de las fallas.

El análisis de criticidad permitirá priorizar los esfuerzos del plan RCM en los sistemas más críticos, optimizando así la disponibilidad operativa de los tractores al minimizar paradas no programadas y maximizar la productividad. Además, sentará las bases para definir las tareas de mantenimiento más adecuadas y efectivas, enfocadas en activos físicos de este tipo.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad se fundamenta en los datos del historial de fallas y tiempos de reparación recopilados en la Tabla 17 “Registro de fallas del tractor 5090 – 5”. Esta información es clave para identificar los modos de falla más recurrentes y sus tiempos de inactividad asociados.

Sin embargo, para determinar la criticidad real de cada modo de falla, es necesario evaluar criterios adicionales que permitan ponderar adecuadamente el impacto que tienen estas fallas en diferentes aspectos operativos y de gestión de activos. Sabiendo ello, los criterios considerados para el análisis de criticidad son:

- **Frecuencia:** Este indicador cuantifica la recurrencia o tasa de ocurrencia de un modo de falla determinado en un período de tiempo definido, que en este caso es un año. Una alta frecuencia de falla implica que el componente o

sistema asociado es propenso a presentar averías de manera repetida, lo que puede comprometer significativamente la disponibilidad operativa del tractor. Por ejemplo, si el modo de falla "Máquina no enciende" tiene una frecuencia anual de 15 eventos, indica que esta falla ocurre en promedio 15 veces durante un año, lo cual representa un riesgo considerable para las operaciones agrícolas.

- **Tiempo de reparación:** Se refiere al tiempo promedio requerido para restablecer la condición operativa del tractor después de presentarse un modo de falla específico. Este indicador es crucial, ya que tiempos de reparación prolongados implican períodos extensos de inactividad del equipo, impactando directamente en la productividad y costos asociados. Por ejemplo, si la falla "Fuga de petróleo" tiene un tiempo de reparación promedio de 18 horas, significa que cada vez que ocurre este evento, el tractor estará fuera de servicio durante 18 horas en promedio, lo que puede ser inaceptable para ciertas operaciones agrícolas críticas.
- **Impacto en la producción:** Este criterio evalúa el grado en que un determinado modo de falla afecta la capacidad productiva y la disponibilidad operativa del tractor John Deere 5090. Las fallas que causan paradas totales de operaciones o que reducen significativamente la productividad tendrán un impacto en la producción elevado. Por ejemplo, el modo de falla "Máquina no enciende" tendrá un impacto máximo en la producción, ya que imposibilita por completo la operación del tractor hasta que se solucione el problema.
- **Impacto ambiental:** Dentro del contexto del plan de mantenimiento RCM, es fundamental considerar las potenciales consecuencias ambientales derivadas de los modos de falla, tales como derrames de aceites, fluidos o combustibles, emisiones contaminantes, generación de residuos peligrosos, entre otros.

Estos impactos ambientales pueden acarrear sanciones legales, multas y daños al entorno natural. Por ejemplo, la falla "Fuga de petróleo" tendrá un impacto ambiental significativo debido al potencial derrame de hidrocarburos y la contaminación asociada.

- **Impacto de seguridad:** Este criterio analiza los riesgos y consecuencias relacionados con la integridad física de los operadores, personal de mantenimiento y terceros, así como los daños potenciales al propio tractor o infraestructura circundante. Las fallas que puedan generar accidentes, lesiones personales, daños materiales o incluso pérdidas humanas, tendrán un alto impacto en seguridad. Por ejemplo, el modo de falla "Falla con el timón" podría tener un impacto de seguridad crítico al aumentar el riesgo de accidentes vehiculares.

Respecto a los puntajes, estos irán de 1 a 5, teniendo en cuenta los siguientes niveles de criticidad:

Tabla 18

Escala de referencia de niveles de criticidad

Escala de referencia	
Criticidad Severa	5
Criticidad Mayor	4
Criticidad Moderada	3
Criticidad Menor	2
Criticidad Insignificante	1

Nota. La tabla muestra los 5 niveles de criticidad para cada uno de los modos de falla

Por lo tanto, para categorizar los modos de falla respecto a los puntajes indicados, se tiene la siguiente tabla:

Tabla 19

Escala de calificación y criterios

Calificación	5	4	3	2	1
Criterios					
Frecuencia	Muy frecuente	Frecuente	Media	Poco frecuente	Rara vez
Tiempo de reparación	Más de 24 horas	Entre 12 a 24 horas	Entre 6 a 12 horas	Entre 2 a 6 horas	Menor de 2 horas
Impacto en la producción	Parada total de operaciones	Alta afectación a la productividad	Moderada afectación a la productividad	Baja afectación a la productividad	Mínima o nula afectación
Impacto ambiental	Contaminación grave, multas altas	Contaminación moderada, riesgo de multas	Riesgo leve de contaminación	Mínimo riesgo ambiental	Sin impacto ambiental
Impacto de seguridad	Parada total, daños graves, alto riesgos de accidentes	Parada parcial, daños moderados, riesgo de accidentes	Potencial de daños menores, riesgos bajos	Consecuencias leves	Sin consecuencias relevantes

Nota. La tabla muestra las especificaciones de los criterios con sus calificaciones correspondientes

La criticidad se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencias}$$

Donde:

- Frecuencia: Puntaje asignado a la recurrencia de falla (1 al 5)
- Consecuencia: Sumatoria de impactos (Producción, ambiental y seguridad)

Sabiendo ello se realizó la tabla indicando los valores de criticidad para todos los

modos de falla:

Tabla 20

Análisis de criticidad del tractor John Deere 5090 - 5

Modo de Falla	Frecuencia	Impacto Producción	Impacto Ambiental	Impacto Seguridad	Consecuencia	Criticidad
Máquina no enciende	15	5	1	3	9	135
Luz delantera y posterior no encienden	3	4	1	4	9	27
Sin corriente en chapa de contacto	3	5	1	3	9	27
Falla de sistema TDF	3	4	2	3	9	27
Fuga de petróleo	3	3	4	2	9	27
No enciende foco pirata	3	2	1	4	7	21
Reten cubo derecho fuga aceite	2	3	3	2	8	16
Llanta baja posterior izquierda	3	4	1	3	8	24
Parada por sonido anormal	2	3	1	2	6	12
Rodaje ventilador mal estado	2	3	1	2	6	12
Llanta delantera reventada	2	4	1	3	8	16
Llanta baja delantera izquierda	2	3	1	2	6	12
Cambio de manómetro	2	2	1	2	5	10
Falla con el timón	2	4	1	4	9	18
Relleno aceite hidráulico	2	3	1	2	6	12
Falta aceite refrigerante	1	3	1	2	6	6
Máquina acelerada	1	3	1	3	7	7

Rotura resorte embrague	1	4	1	3	8	8
Cremallera en mal estado	2	4	1	2	7	14
Rotura pasador palanca cambios	1	3	1	2	6	6
Palanca inversora no acciona	2	4	1	2	7	14
No marca tablero	1	2	1	3	6	6
Llanta baja delantera derecha	2	3	1	2	6	12

Nota. La tabla muestra el análisis de criticidad del tractor muestra, esto es parte fundamental para un correcto desarrollo del plan de mantenimiento RCM

Se consideró para un mayor entendimiento, una tabla mostrando los niveles de criticidad una vez realizo el análisis:

Tabla 21

Niveles de criticidad

Puntaje de Criticidad	Nivel de Criticidad
90 - 140	Muy critico
50 - 90	Critico
20 - 50	Moderadamente critico
0 - 20	Poco critico

Nota. La tabla muestra los diferentes valores para tener una idea del nivel de criticidad de cada evento de falla.

Con efecto de conocer cuáles son las fallas más críticas y las menos críticas para la realización de un plan óptimo para el tractor John Deere 5090 – 5, se aplicó la escala mostrada en la tabla 21 a los modos de falla analizados, obteniendo:

Tabla 22*Modos de falla aplicables a escalas de criticidad*

Modo de Falla	Puntaje de Criticidad	Nivel de Criticidad
Máquina no enciende	45	Muy Crítico
Luz delantera y posterior no encienden	27	Moderadamente Crítico
Sin corriente en chapa de contacto	27	Moderadamente Crítico
Falla de sistema TDF	27	Moderadamente Crítico
Fuga de petróleo	27	Moderadamente Crítico
No enciende foco pirata	21	Moderadamente Crítico
Reten cubo derecho fuga aceite	16	Poco Crítico
Llanta baja posterior izquierda	24	Moderadamente Crítico
Parada por sonido anormal	12	Poco Crítico
Rodaje ventilador mal estado	12	Poco Crítico
Llanta delantera reventada	16	Poco Crítico
Llanta baja delantera izquierda	12	Poco Crítico
Cambio de manómetro	10	Poco Crítico
Falla con el timón	18	Poco Crítico
Relleno aceite hidráulico	12	Poco Crítico
Falta aceite refrigerante	6	Poco Crítico
Máquina acelerada	7	Poco Crítico
Rotura resorte embrague	8	Poco Crítico
Cremallera en mal estado	14	Poco Crítico
Rotura pasador palanca cambios	6	Poco Crítico
Palanca inversora no acciona	14	Poco Crítico
No marca tablero	6	Poco Crítico
Llanta baja delantera derecha	12	Poco Crítico

Nota. La tabla nos indica cuales son las fallas más críticas a considerar al momento de definir

el plan de mantenimiento.

De la tabla 22, se muestra el análisis de criticidad realizado para los modos de falla del tractor agrícola John Deere 5090 – 5, por lo que se destacó los siguientes aspectos relevantes.

Las fallas con mayor nivel de criticidad son:

- Máquina no enciende: con un puntaje de 135
- Luz delantera y posterior no encienden: con un puntaje de 27
- Sin corriente en chapa de contacto: con un puntaje de 27
- Falla de sistema TDF: con un puntaje de 27
- Fuga de petróleo: con un puntaje de 27

Estas fallas representan un riesgo significativo debido a su alta frecuencia de ocurrencia y las graves consecuencias que conllevan, tales como paradas totales de operaciones, impactos en la producción, riesgos de seguridad y potencial contaminación ambiental.

Las fallas con menor nivel de criticidad son:

- Rotura pasador palanca cambios: con un puntaje de 6
- Falta aceite refrigerante: con un puntaje de 6
- No marca tablero: con un puntaje de 6

Al ser poco frecuentes y con consecuencias menores de todas maneras no deben descuidarse ya que aún puede afectar la disponibilidad del equipo.

Finalmente:

Este análisis cuantitativo de criticidad permite jerarquizar y priorizar los esfuerzos del plan de mantenimiento RCM en aquellos modos de falla que representan un mayor riesgo para la operación, con el objetivo de mitigarlos y optimizar la disponibilidad del tractor agrícola.

4.1.5. Análisis de causas raíz de modos de falla críticos

Una vez indicada el valor actual de la disponibilidad y realizado el análisis de criticidad de los modos de falla, se deben conocer cuáles son las posibles causas de esos fenómenos que originan dicho inconveniente. Analizar estas causas brindara información valiosa para definir las tareas de mantenimiento de manera adecuada. También se puede identificar y controlar el origen de los problemas o fallos que se presenten en el tractor agrícola con el fin de resolver el problema de manera óptima y elevar la disponibilidad del equipo y del sistema.

De los modos de falla mostrados para el tractor John Deere 5090 – 5, las posibles causas raíz son estas:

Tabla 23

Lista de causa raíz de modos de falla

Causa raíz de eventos de falla	
Máquina no enciende	Batería descargada o defectuosa. Fallas en el motor de arranque, solenoide o cableado del sistema de arranque. Problemas en la bomba de inyección o inyectores de combustible. Fallas en el sistema de encendido (bujías, cables, módulos electrónicos).
Luz delantera y posterior no encienden	Fallas en el cableado o conexiones eléctricas de las luces. Cortocircuitos o daños en el circuito eléctrico de las luces. Bombillas o focos quemados o defectuosos.
Sin corriente en chapa de contacto	Fallas en el circuito eléctrico o cableado de la chapa de contacto.

	<p>Problemas en el interruptor de encendido o componentes electrónicos asociados.</p>
Falla de sistema TDF	<p>Desgaste o daños en los engranajes o componentes mecánicos del TDF.</p> <p>Fallas en el sistema de embrague o transmisión del TDF.</p> <p>Problemas en el circuito eléctrico o controles del TDF.</p>
Fuga de petróleo	<p>Desgaste excesivo de sellos y retenes.</p> <p>Daños en los componentes internos del motor (cojinetes, anillos, camisas).</p> <p>Fallas en el sistema de lubricación o refrigeración.</p>
No enciende foco pirata	<p>Fallas en el cableado o conexiones eléctricas del foco pirata.</p> <p>Bombilla o foco quemado o defectuoso.</p> <p>Problemas en el circuito eléctrico o interruptor del foco pirata.</p>
Reten cubo derecho fuga aceite	<p>Desgaste excesivo o daños en el retén del cubo de rueda derecho.</p> <p>Contaminación o nivel incorrecto de aceite en el cubo.</p>
Llanta baja posterior izquierda	<p>Presión de inflado incorrecta.</p> <p>Desgaste irregular o excesivo de la llanta.</p> <p>Daños por objetos punzantes o impactos en la llanta.</p>

Parada por sonido anormal	Desgaste o fallas en los rodamientos o cojinetes.
	Problemas en el sistema de transmisión o engranajes.
	Daños en componentes mecánicos o ejes.
Rodaje ventilador mal estado	Desgaste excesivo en los rodamientos del ventilador.
	Desalineación o desequilibrio del ventilador.
	Daños en las aspas o carcasa del ventilador.
Llanta delantera reventada	Presión de inflado incorrecta.
	Desgaste irregular o excesivo de la llanta.
	Daños por objetos punzantes o impactos en la llanta.
Llanta baja delantera izquierda	Presión de inflado incorrecta.
	Desgaste irregular o excesivo de la llanta.
	Daños por objetos punzantes o impactos en la llanta.
Cambio de manómetro	Manómetro defectuoso o dañado.
	Fallas en las conexiones o líneas de medición de presión.
Falla con el timón	Desgaste excesivo en los componentes mecánicos de la dirección (rótulas, terminales, cremalleras).
	Fugas o niveles bajos de fluido hidráulico en el sistema de dirección.
	Contaminación del fluido hidráulico.

Relleno aceite hidráulico	<p>Fugas en el sistema hidráulico.</p> <p>Desgaste o daños en los componentes hidráulicos.</p>
Falta aceite refrigerante	<p>Fugas en el sistema de refrigeración.</p> <p>Desgaste o daños en los componentes del sistema de refrigeración.</p>
Máquina acelerada	<p>Fallas en el sistema de aceleración o control de ralentí.</p> <p>Problemas en el sistema de inyección de combustible.</p> <p>Daños en los componentes electrónicos de control del motor.</p>
Rotura resorte embrague	<p>Desgaste excesivo o fatiga del resorte del embrague.</p> <p>Daños en los componentes del sistema de embrague.</p>
Cremallera en mal estado	<p>Desgaste excesivo o daños en la cremallera de dirección.</p> <p>Contaminación o lubricación deficiente de la cremallera.</p>
Rotura pasador palanca cambios	<p>Desgaste excesivo o fatiga del resorte del embrague.</p> <p>Daños en los componentes del sistema de embrague.</p>
Palanca inversora no acciona	<p>Desgaste o daños en los componentes mecánicos de la palanca inversora.</p> <p>Problemas en el sistema de transmisión o embrague asociado.</p>

No marca tablero	<p>Fallas en el cableado o conexiones eléctricas del tablero.</p> <p>Problemas en la fuente de alimentación eléctrica del tablero.</p> <p>Mal funcionamiento de los sensores o sistemas de monitoreo que envían señales al tablero.</p>
Llanta baja delantera en lado derecho	<p>Presión de inflado incorrecta de la llanta.</p> <p>Desgaste irregular o excesivo del dibujo de la llanta.</p> <p>Daños por objetos punzantes o impactos en la llanta.</p>

Nota. La tabla muestra las causas raíz de los eventos de falla, de esta manera se puede detallar más precisamente las tareas de mantenimiento considerando los eventos más críticos.

4.2. Definición de las tareas de mantenimiento general aplicables al tractor agrícola John Deere 5090 - 5

Para definir las tareas específicas de mantenimiento que serán aplicadas a cada modo de falla, se consideró adecuado primeramente realizar una agrupación o categorización de todos los eventos y modos de falla en sistemas que a su vez componen al activo físico (Tractor John Deere 5090 – 5).

4.2.1. Categorización de modos de falla por sistemas

La nueva configuración de eventos de falla se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 24

Categorización sistemático de modos de fallo

Sistema de Neumáticos:

- Llanta baja delantera en lado izquierdo
- Llanta baja posterior en lado izquierdo
- Llanta baja delantera en lado derecho
- Llanta delantera reventada

Sistema Eléctrico/Electrónico:

- Luz delantera y posterior no encienden
- Sin corriente en chapa de contacto
- No enciende foco pirata
- No marca tablero

Sistema de Transmisión:

- Cambio de manómetro
- Falla de sistema TDF
- Palanca inversora no acciona
- Rotura de pasador de palanca para cambios de marchas

Sistema de Dirección:

- Falla con el timón

Sistema Hidráulico:

- Relleno de aceite hidráulico

Sistema Motor:

- Máquina no enciende
- Máquina acelerada
- Rotura de resorte de embrague

Sistema de Chasis y/o Carrocería:

-
- Reten del cubo lado derecho presenta fuga de aceite
 - Rodaje del ventilador en mal estado
 - Cremallera en mal estado
-

Sistema de Combustible:

- Falta aceite de refrigerante
-

Sistema de Estructura:

- Fuga de petróleo
 - Parada por un sonido anormal
-

Nota. La tabla muestra los modos de fallo agrupados en sistemas mecánicos y eléctricos, esto con el fin de priorizar los eventos más críticos.

Se definió la categorización de los modos de falla en sistemas (Tabla 24) así mismo se conoce la escala de criticidad de estos modos de falla (Tabla 22), por lo tanto, pudo realizar la siguiente agrupación con relación a los sistemas más críticos del tractor John Deere 5090 – 5.

Tabla 25

Especificación de sistemas más críticos del tractor John Deere 5090 - 5

Sistemas más críticos	
Máquina no enciende	Sistema Motor
Luz delantera y posterior no encienden	Sistema Eléctrico/Electrónico
Sin corriente en chapa de contacto	Sistema Eléctrico/Electrónico
Falla de sistema TDF	Sistema de Transmisión
Fuga de petróleo	Sistema de Estructura

Nota. La tabla muestra los sistemas más críticos en función del análisis de criticidad desarrollado previamente.

Tabla 26

Especificación d sistemas menos críticos del tractor John Deere 5090 - 5

Sistemas menos críticos	
Rotura pasador palanca cambios	Sistema de Transmisión
Falta aceite refrigerante	Sistema de Combustible
No marca tablero	Sistema Eléctrico/Electrónico

Nota. La tabla muestra los sistemas menos críticos en función del análisis de criticidad desarrollado previamente.

4.2.2. Definición de tareas de mantenimientos para los sistemas críticos

En este punto, ya se conoció la clasificación exacta de los sistemas más críticos del tractor John Deere 5090. El valor de la disponibilidad tiende a mejorar cuando se realizan mantenimientos respectivos a cada modo de falla pertenecientes a los sistemas más críticos. Como se indicó en el apartado 3.2. Bases teóricas, existen 3 tipos de mantenimiento que son los predictivos, preventivos y correctivos. Por tal motivo se definieron las tareas para los sistemas indicados como más críticos considerando los diferentes tipos de mantenimiento, estos serán mostrados en las siguientes tablas:

Tabla 27

Tareas de mantenimiento para sistemas motor

SISTEMA MOTOR
Modo de Falla: Máquina no enciende
Mantenimiento Preventivo:
<ul style="list-style-type: none">• Inspección y limpieza de batería, terminales y cableado• Cambio de batería según vida útil• Mantenimiento del sistema de arranque (motor de arranque, solenoide)

- Mantenimiento del sistema de encendido (bujías, cables, módulos)
- Mantenimiento del sistema de inyección (bomba, inyector, filtros)

Mantenimiento Predictivo:

- Monitoreo del estado de carga de la batería
- Análisis de compresión del motor
- Pruebas de diagnóstico del sistema de encendido e inyección

Mantenimiento Correctivo:

- Reparación o reemplazo de componentes defectuosos del sistema de arranque
- Reparación o reemplazo de componentes defectuosos del sistema de encendido
- Reparación o reemplazo de componentes defectuosos del sistema de inyección

Nota. La tabla muestra las acciones de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para los modos de falla del sistema motor.

Tabla 28

Tareas de mantenimiento para sistemas eléctricos y electrónicos

SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO

Modos de Falla: Luz delantera y posterior no encienden

Modos de Falla: Sin corriente en chapa de contacto

Mantenimiento Preventivo:

- Inspección y limpieza de conexiones eléctricas
- Inspección y mantenimiento de luces, focos
- Mantenimiento de la chapa de contacto y su circuito

Mantenimiento Predictivo:

- Pruebas de continuidad de circuitos eléctricos
- Monitoreo de voltajes y corrientes en componentes clave

Mantenimiento Correctivo:

- Reparación o reemplazo de cableado dañado
- Reparación o reemplazo de luces, focos
- Reparación o reemplazo de componentes de la chapa de contacto

Nota. La tabla muestra las acciones de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para los modos de falla del sistema eléctrico y electrónico.

Tabla 29

Tareas de mantenimiento para sistemas de transmisión

SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Modo de Falla: Falla de sistema TDF

Mantenimiento Preventivo:

- Inspección y ajuste de mecanismos de la TDF
- Lubricación de componentes de la TDF y palanca de cambios

Mantenimiento Predictivo:

- Análisis de vibraciones en la TDF y transmisión
- Monitoreo de temperatura en componentes críticos
- Análisis de aceite de transmisión

Mantenimiento Correctivo:

- Reparación o reemplazo de componentes desgastados de la TDF

Nota. La tabla muestra las acciones de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para los modos de falla del sistema de transmisión.

Tabla 30

Tareas de mantenimiento para sistemas de estructura

SISTEMA DE ESTRUCTURA
Modo de Falla: Fuga de petróleo
Mantenimiento Preventivo:
<ul style="list-style-type: none">• Inspección de posibles fugas en el motor y componentes• Mantenimiento de sellos, retenes y juntas• Cambio de aceite según programa
Mantenimiento Predictivo:
<ul style="list-style-type: none">• Análisis de aceite para detectar contaminación y desgaste• Monitoreo de niveles de aceite y presiones
Mantenimiento Correctivo:
<ul style="list-style-type: none">• Reparación de fugas localizadas• Reemplazo de sellos, retenes y juntas defectuosas• Reparación de componentes dañados que causan fugas

Nota. La tabla muestra las acciones de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para los modos de falla del sistema de estructura.

Es importante conocer que, para mantenimiento correctivo, no es factible ni recomendable establecer frecuencias periódicas fijas para la ejecución de estas tareas. Esto se debe a que el mantenimiento correctivo se enfoca en atender fallas o averías imprevistas que ocurren de manera aleatoria en los equipos o sistemas, y cuya ocurrencia no puede predecirse con exactitud.

A diferencia del mantenimiento preventivo y predictivo, donde las actividades se planifican y programan con anticipación basadas en frecuencias definidas, el mantenimiento correctivo tiene un carácter reactivo y contingente. Su ejecución depende enteramente de la manifestación de una falla o evento no deseado que requiere una acción inmediata de reparación o sustitución de componentes afectados.

En consecuencia, en lugar de establecer frecuencias fijas, la gestión eficaz del mantenimiento correctivo se basa en la definición de tiempos máximos de respuesta permitidos para atender y solucionar las fallas, así como en la disposición de procedimientos detallados de reparación, recursos necesarios y una adecuada logística de soporte.

Estos tiempos de respuesta se determinan en función de la criticidad de la falla, su impacto en las operaciones, los riesgos asociados y la disponibilidad de recursos para abordarla. Las fallas más críticas, con mayor impacto en la producción o que representen riesgos significativos, deben contar con tiempos de respuesta más cortos y una mayor prioridad en la asignación de recursos.

4.2.3. Establecimiento periódico de mantenimiento muy crítico

Este apartado indica al conjunto de actividades a realizar en un determinado periodo, considerándose 1 año para el caso del tractor John Deere 590 – 5. Es importante detallar que para la aplicación esta periodicidad únicamente se usaran los mantenimientos de tipo preventivo y predictivo, ya que se aplican antes de la existencia de un posible fallo, caso contrario con el mantenimiento correctivo que se aplica cuando ya ha sucedido el fallo.

Por lo tanto, las frecuencias en base a un periodo anual son:

Tabla 31

Periodicidad de mantenimiento del sistema motor

Sistema Motor – Modo: Máquina no enciende
Mantenimiento Preventivo:
<ul style="list-style-type: none">• Inspección y limpieza de batería, terminales y cableado: Trimestral (4 veces al año)• Cambio de batería según vida útil: Anual• Mantenimiento del sistema de arranque: Semestral (2 veces al año)

- Mantenimiento del sistema de encendido: Anual
- Mantenimiento del sistema de inyección: Semestral (2 veces al año)

Mantenimiento Predictivo:

- Monitoreo del estado de carga de la batería: Mensual (12 veces al año)
- Análisis de compresión del motor: Anual
- Pruebas de diagnóstico del sistema de encendido e inyección: Semestral (2 veces al año)

Nota. La tabla muestra los periodos anuales donde se deben llevar a cabo las tareas de mantenimiento para el sistema motor.

Tabla 32

Periodicidad de mantenimiento del sistema eléctrico

Sistema Eléctrico – Modos: Luces no encienden, sin corriente chapa

Mantenimiento Preventivo:

- Inspección y limpieza de conexiones eléctricas: Trimestral (4 veces al año)
- Inspección y mantenimiento de luces, focos: Bimestral (6 veces al año)
- Mantenimiento de la chapa de contacto y su circuito: Anual

Mantenimiento Predictivo:

- Pruebas de continuidad de circuitos eléctricos: Anual
- Monitoreo de voltajes y corrientes en componentes clave: Trimestral (4 veces al año)

Nota. La tabla muestra los periodos anuales donde se deben llevar a cabo las tareas de mantenimiento para el sistema eléctrico.

Tabla 33

Periodicidad de mantenimiento del sistema de transmisión

Sistema de transmisión – Modos: Falla de sistema TDF

Mantenimiento Preventivo:

- Inspección y ajuste de mecanismos de la TDF: Trimestral (4 veces al año)
 - Lubricación de componentes de la TDF y palanca de cambios: Semestral (2 veces al año)
-

Mantenimiento Predictivo:

- Análisis de vibraciones en la TDF y transmisión: Semestral (2 veces al año)
- Monitoreo de temperatura en componentes críticos: Trimestral (4 veces al año)
- Análisis de aceite de transmisión: Anual

Nota. La tabla muestra los periodos anuales donde se deben llevar a cabo las tareas de mantenimiento para el sistema de transmisión.

Tabla 34

Periodicidad de mantenimiento del sistema de estructura

Sistema de estructura – Modos: Fuga de petróleo

Mantenimiento Preventivo:

- Inspección de posibles fugas en el motor y componentes: Bimestral (6 veces al año)
- Mantenimiento de sellos, retenes y juntas: Semestral (2 veces al año)
- Cambio de aceite según programa: Trimestral (4 veces al año)

Mantenimiento Predictivo:

- Análisis de aceite para detectar contaminación y desgaste: Trimestral (4 veces al año)
- Monitoreo de niveles de aceite y presiones: Mensual (12 veces al año)

Nota. La tabla muestra los periodos anuales donde se deben llevar a cabo las tareas de mantenimiento para el sistema de estructura.

4.2.4. Diagrama de decisión RCM

Los diagramas de decisión RCM son una herramienta fundamental en la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés). Estos diagramas representan un enfoque lógico y estructurado para seleccionar las tareas de mantenimiento más efectivas y eficientes para abordar cada modo de falla identificado en un sistema o equipo.

La aplicación de los diagramas de decisión RCM garantiza que las tareas de mantenimiento seleccionadas aborden de manera efectiva los modos de falla críticos, optimizando así la confiabilidad, disponibilidad y seguridad del equipo o sistema analizado.

Dentro de los diagramas RCM es importante identificar estos parámetros:

- S = Sí (respuesta afirmativa)
- N = No (respuesta negativa)
- F = Falla
- FF = Falla Funcional
- MF = Modo de Falla
- H = Consecuencias de la falla (H1, H2, H3, H4, H5 representan diferentes niveles de consecuencias de la falla)
- S1, S2, S3 = Tareas de mantenimiento condiciones posibles
- E1, E2, E3 = Tareas de mantenimiento de sustitución cíclica posibles
- O1, O2, O3 = Otras tareas de mantenimiento posibles
- A, B, C... = Representan orden de prioridad

Tabla 35

Hoja de Decisión del RCM del Sistema Motor

Hoja de Decisión del RCM del Sistema Motor																
Nombre del Sistema:				Sistema motor de John Deere 5090 - 5												
Evento de falla:				Máquina no enciende												
Responsable (área)				Mantenimiento												
Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias				Proceso de Selección			Acciones a Falta de			Tarea Propuesta	Frecuencia	A realizarse por:
S	F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1 E1 O1	H2 S2 E2 O2	H3 S3 E3 O3	H4	H5				
MOTOR	1	A	1	O	S	N	S							Inspección y limpieza de batería, terminales y cableado:	3 meses	Mecánico
	1	A	1	O	N	S	S							Cambio de batería según vida útil	12 meses	Mecánico
	1	A	2	O	S	N	S							Mantenimiento del sistema de arranque	6 meses	Mecánico
	1	A	3	O	S	N	S							Mantenimiento del sistema de encendido	12 meses	Mecánico
	1	A	4	O	S	N	S							Mantenimiento del sistema de inyección	6 meses	Mecánico
	1	A	1	O	S	N	S							Monitoreo del estado de carga de la batería	1 mes	Mecánico
	1	A	5	O	S	N	S							Análisis de compresión del motor	12 meses	Mecánico
	1	A	4	O	S	N	S							Pruebas de diagnóstico del sistema de encendido e inyección	6 meses	Mecánico

Modos de falla específicos:

- MF = 1: Batería descargada o con problemas eléctricos
- MF = 2: Falla en el sistema de arranque
- MF = 3: Falla en el sistema de encendido
- MF = 4: Falla en el sistema de inyección de combustible
- MF = 5: Desgaste o problemas en componentes internos del motor

Indicadores:

- H = Consecuencias, S = Seguridad, N = Ambiental, O = Operacional
- S = Mantenimiento a condición, S = SI, N = NO
- E = Mantenimiento cíclico o de remplazo, S = SI, N = NO
- O = Otro tipo de mantenimiento, S = SI, N= NO

Tabla 36

Hoja de Decisión del RCM del Sistema de Eléctrico y Electrónico

Hoja de Decisión del RCM del Sistema Eléctrico																
Nombre del Sistema:				Sistema eléctrico de John Deere 5090 - 5												
Evento de falla:				Luz delantera y posterior no encienden / Sin corriente en chapa de contacto												
Responsable (área)				Mantenimiento												
Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias				Proceso de Selección			Acciones a Falta de			Tarea Propuesta	Frecuencia	A realizarse por:
S	F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1 E1 O1	H2 S2 E2 O2	H3 S3 E3 O3	H4	H5				
	1	A	1	S	S	N	S							Inspección y limpieza de conexiones eléctricas	3 meses	Mecánico
ELÉCTRICO	1	A	2	S	S	N	S							Inspección y mantenimiento de luces, focos	2 meses	Mecánico
	2	B	3	O	S	N	S							Mantenimiento de la chapa de contacto y su circuito	12 meses	Mecánico
	2	B	4	S	S	N	S							Pruebas de continuidad de circuitos eléctricos	12 meses	Mecánico
	2	B	5	S	S	N	S							Monitoreo de voltajes y corrientes en componentes clave	3 meses	Mecánico

Modos de falla específicos:

MF = 1: Conexiones eléctricas defectuosas (sueltas, corroídas, dañadas)
 MF = 2: Luces o focos fundidos o dañados
 MF = 3: Falla en el circuito de la chapa de contacto
 MF = 4: Circuitos eléctricos abiertos o con falta de continuidad
 MF = 5: Voltajes o corrientes anormales en componentes eléctricos/electrónicos

Indicadores:

H = Consecuencias, S = Seguridad, N = Ambiental, O = Operacional
 S = Mantenimiento a condición, S = SI, N = NO
 E = Mantenimiento cíclico o de remplazo, S = SI, N = NO
 O = Otro tipo de mantenimiento, S = SI, N= NO

Tabla 37

Hoja de Decisión del RCM del Sistema de Transmisión

Hoja de Decisión del RCM del Sistema de Transmisión																
Nombre del Sistema:				Sistema de transmisión de John Deere 5090 - 5												
Evento de falla:				Falla del sistema TDF												
Responsable (área)				Mantenimiento												
Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias				Proceso de Selección			Acciones a Falta de		Tarea Propuesta	Frecuencia	A realizarse por:	
S	F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1 E1 O1	H2 S2 E2 O2	H3 S3 E3 O3	H4	H5				H6
TRANSMISIÓN	1	A	1	O	S	N	S							Inspección y ajuste de mecanismos de la TDF	3 meses	Mecánico
	1	A	2	O	N	N	S							Lubricación de componentes de la TDF y palanca de cambios	6 meses	Mecánico
	1	A	3	O	S	N	S							Análisis de vibraciones en la TDF y transmisión	6 meses	Mecánico
	1	A	4	O	S	N	S							Monitoreo de temperatura en componentes críticos	3 meses	Mecánico
	1	A	5	N	S	N	S							Análisis de aceite de transmisión	12 meses	Mecánico

Modos de falla específicos:

- MF = 1: Desajuste o desgaste en los mecanismos de la TDF
- MF = 2: Falta de lubricación en componentes de la TDF y palanca de cambios
- MF = 3: Desalineación o desbalanceo en la TDF y transmisión
- MF = 4: Sobrecalentamiento en componentes críticos de la transmisión
- MF = 5: Contaminación o desgaste del aceite de transmisión

Indicadores:

- H = Consecuencias, S = Seguridad, N = Ambiental, O = Operacional
- S = Mantenimiento a condición, S = SI, N = NO
- E = Mantenimiento cíclico o de replazo, S = SI, N = NO
- O = Otro tipo de mantenimiento, S = SI, N = NO

Tabla 38

Hoja de Decisión del RCM del Sistema Estructura

Hoja de Decisión del RCM del Sistema Estructura																
Nombre del Sistema:				Sistema de estructura del John Deere 5090 - 5												
Evento de falla:				Fuga de petróleo												
Responsable (área)				Mantenimiento												
Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias				Proceso de Selección			Acciones a Falta de			Tarea Propuesta	Frecuencia	A realizarse por:
S	F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	H6			
ESTRUCTURA	1	A	1	N	S	N	S							Inspección de posibles fugas en el motor y componentes	2 meses	Mecánico
	1	A	1	S	S	N	S							Mantenimiento de sellos, retenes y juntas	6 meses	Mecánico
	1	A	1	S	N	S	S							Cambio de aceite según programa	3 meses	Mecánico
	1	A	2	N	S	N	S							Análisis de aceite para detectar contaminación y desgaste	3 meses	Mecánico
	1	A	3	O	S	N	S							Monitoreo de niveles de aceite y presiones	1mes	Mecánico

Modos de falla específicos:

MF = 1: Fugas de aceite o fluidos en el motor y componentes
 MF = 2: Desgaste y contaminación del aceite o fluidos
 MF = 3: Niveles y presiones anormales de aceite o fluidos

Indicadores:

H = Consecuencias, S = Seguridad, N = Ambiental, O = Operacional
 S = Mantenimiento a condición, S = SI, N = NO
 E = Mantenimiento cíclico o de remplazo, S = SI, N = NO
 O = Otro tipo de mantenimiento, S = SI, N= NO

4.2.5. Definición de tareas de mantenimiento para sistemas menos críticos

Hasta la presente etapa, se han llevado a cabo los análisis pertinentes para los modos de falla catalogados como altamente críticos. No obstante, para contar con un programa integral de mantenimiento, es fundamental contemplar la totalidad de los sistemas que conforman el activo físico, incluyendo aquellos cuya criticidad se clasifica como baja o muy baja. Esta inclusión contribuye a mitigar los niveles acumulados de criticidad y, a su vez ayuda al incremento de la disponibilidad operativa del activo, preservándolo en condiciones óptimas de funcionamiento.

Por consiguiente, se procederá a examinar meticulosamente cada sistema y sus respectivos modos de falla, definiendo las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo correspondientes, con el objetivo de garantizar un desempeño eficiente y confiable del equipo, minimizando el riesgo de fallas imprevistas y maximizando su ciclo de vida útil.

Tabla 39

Tareas de mantenimiento para el sistema neumático

Sistema de Neumáticos
Modo de falla: Llanta baja delantera en lado izquierdo
<ul style="list-style-type: none">• Preventivo: Inspeccionar regularmente la presión de las llantas y el desgaste de la banda de rodamiento.• Predictivo: Monitorear la presión de las llantas con sensores y analizar los patrones de desgaste.• Correctivo: Reparar o reemplazar la llanta baja.
Modo de falla: Llanta baja posterior en lado izquierdo
<ul style="list-style-type: none">• Preventivo: Igual que el anterior.• Predictivo: Igual que el anterior.• Correctivo: Reparar o reemplazar la llanta baja.
Modo de falla: Llanta baja delantera en lado derecho
<ul style="list-style-type: none">• Preventivo: Igual que el anterior.

- Predictivo: Igual que el anterior.
- Correctivo: Reparar o reemplazar la llanta baja.

Modo de falla: Llanta delantera reventada

- Preventivo: Igual que el anterior.
 - Predictivo: Igual que el anterior.
 - Correctivo: Reemplazar la llanta reventada.
-

Tabla 40

Tareas de mantenimiento para el sistema eléctrico/electrónico

Sistema Eléctrico/Electrónico

Modo de falla: No enciende foco pirata

- Preventivo: Inspeccionar periódicamente los focos y conexiones eléctricas.
 - Predictivo: Pruebas de continuidad eléctrica y análisis de voltajes.
 - Correctivo: Reemplazar el foco fundido o reparar la conexión eléctrica.
-

Modo de falla: No marca tablero

- Preventivo: Inspeccionar visualmente el tablero y sus conexiones.
 - Predictivo: Pruebas de continuidad eléctrica y análisis de voltajes en el circuito del tablero.
 - Correctivo: Reparar o reemplazar componentes defectuosos del tablero.
-

Tabla 41

Tareas de mantenimiento para el sistema de transmisión

Sistema de Transmisión

Modo de falla: Cambio de manómetro

- Preventivo: Inspeccionar visualmente el manómetro y sus conexiones.
 - Predictivo: Monitorear presiones y temperaturas del sistema de transmisión.
 - Correctivo: Reemplazar el manómetro defectuoso.
-

Modo de falla: Palanca inversora no acciona

- Preventivo: Lubricar y ajustar la palanca inversora periódicamente.
 - Predictivo: Inspeccionar desgaste en los componentes de la palanca inversora.
 - Correctivo: Reparar o reemplazar componentes defectuosos de la palanca inversora.
-

Modo de falla: Rotura de pasador de palanca para cambios de marchas

- Preventivo: Inspeccionar visualmente los pasadores y ajustes de la palanca de cambios.
 - Predictivo: Monitorear vibraciones anormales en la palanca de cambios.
 - Correctivo: Reemplazar el pasador roto y reparar daños asociados.
-

Tabla 42

Tareas de mantenimiento para el sistema de dirección

Sistema de Dirección

Modo de falla: Falla con el timón

- Preventivo: Inspeccionar y lubricar los componentes del sistema de dirección.
 - Predictivo: Análisis de vibraciones y sonidos anormales en el timón.
 - Correctivo: Reparar o reemplazar componentes defectuosos del sistema de dirección.
-

Tabla 43

Tareas de mantenimiento para el sistema de hidráulico

Sistema Hidráulico

Modo de falla: Relleno de aceite hidráulico

- Preventivo: Revisar niveles de aceite hidráulico y programar cambios periódicos.
 - Predictivo: Análisis de condición del aceite hidráulico (contaminación, degradación, etc.).
 - Correctivo: Rellenar con aceite hidráulico nuevo y reparar fugas si las hay.
-

Tabla 44

Tareas de mantenimiento para el sistema de motor

Sistema Motor

Modo de falla: Máquina acelerada

- Preventivo: Ajustar y calibrar el sistema de aceleración periódicamente.
-

-
- Predictivo: Monitorear rpm y consumo de combustible para detectar desajustes.
 - Correctivo: Reparar o reemplazar componentes defectuosos del sistema de aceleración.
-

Modo de falla: Rotura de resorte de embrague

- Preventivo: Inspeccionar visualmente el embrague y sus componentes.
 - Predictivo: Monitorear desgaste y juego en los componentes del embrague.
 - Correctivo: Reemplazar el resorte roto y otros componentes desgastados del embrague.
-

Tabla 45

Tareas de mantenimiento para el sistema de chasis y/o carrocería

Sistema de Chasis y/o Carrocería

Modo de falla: Reten del cubo lado derecho presenta fuga de aceite

- Preventivo: Inspeccionar retenes y sellos periódicamente.
 - Predictivo: Análisis de vibraciones y monitoreo de fugas.
 - Correctivo: Reemplazar el retén defectuoso y rellenar aceite si es necesario.
-

Modo de falla: Rodaje del ventilador en mal estado

- Preventivo: Lubricar rodamientos del ventilador periódicamente.
 - Predictivo: Inspección de desgaste en rodamientos y monitoreo de vibraciones.
 - Correctivo: Reemplazar rodamientos desgastados del ventilador.
-

Modo de falla: Cremallera en mal estado

- Preventivo: Lubricar e inspeccionar periódicamente la cremallera.
 - Predictivo: Monitorear desgaste y ruidos anormales en la cremallera.
 - Correctivo: Reparar o reemplazar la cremallera defectuosa.
-

Tabla 46

Tareas de mantenimiento para el sistema de combustible

Sistema de Combustible

Modo de falla: Falta aceite de refrigerante

- Preventivo: Revisar niveles de refrigerante y programar cambios periódicos.
 - Predictivo: Monitorear temperaturas y analizar muestras de refrigerante.
 - Correctivo: Rellenar con refrigerante nuevo y reparar fugas si las hay.
-

Tabla 47*Tareas de mantenimiento para el sistema de estructura*

Sistema de Estructura

Modo de falla: Parada por un sonido anormal

- Preventivo: Inspecciones visuales y audibles periódicas de la estructura.
 - Predictivo: Análisis de vibraciones y monitoreo de deformaciones estructurales.
 - Correctivo: Identificar y reparar el componente o área de la estructura que genera el sonido anormal.
-

4.2.6. Establecimiento periódico de mantenimiento poco crítico

Al igual que las tareas de mantenimiento de los modos de fallos más críticos, aquí también se consideran únicamente mantenimientos de tipo preventivo y predictivo, por lo que se indica lo siguiente:

Tabla 48*Periodicidad general de mantenimiento poco crítico*

Sistema de Neumáticos

- Inspección de presión y desgaste de llantas (Preventivo): Bimensual
 - Monitoreo de presión con sensores (Predictivo): Diario
-

Sistema Eléctrico/Electrónico

- Inspección visual de focos, conexiones y tablero (Preventivo): Trimestral
-

-
- Pruebas de continuidad y análisis de voltajes (Predictivo): Semestral
-

Sistema de Transmisión

- Inspección visual de manómetro y palancas (Preventivo): Trimestral
-

- Monitoreo de presiones, temperaturas y vibraciones (Predictivo): Semanal
-

Sistema de Dirección

- Inspección y lubricación de componentes (Preventivo): Semestral
-

- Análisis de vibraciones y sonidos anormales (Predictivo): Quincenal
-

Sistema Hidráulico

- Revisión de niveles e inspección visual (Preventivo): Mensual
-

- Análisis de condición del aceite hidráulico (Predictivo): Semestral
-

Sistema Motor

- Ajuste y calibración del sistema de aceleración (Preventivo): Trimestral
-

- Monitoreo de RPM y consumo de combustible (Predictivo): Diario
-

- Inspección visual del embrague (Preventivo): Semestral
-

- Monitoreo de desgaste y juego en el embrague (Predictivo): Mensual
-

Sistema de Chasis y Carrocería

- Inspección de retenes, sellos y cremallera (Preventivo): Trimestral
-

- Lubricación de rodamientos del ventilador (Preventivo): Semestral
-

- Análisis de vibraciones y fugas (Predictivo): Semanal
-

Sistema de Combustible

- Revisión de niveles de refrigerante (Preventivo): Mensual
-

- Monitoreo de temperaturas y análisis de muestras (Predictivo): Semestral
-

Sistema de Estructura

- Inspecciones visuales y audibles (Preventivo): Mensual
-

- Análisis de vibraciones y monitoreo de deformaciones (Predictivo): Semestral
-

Es importante puntualizar que, si bien el abordaje para los sistemas de alta y baja criticidad sigue una metodología parecida, es preciso destacar una distinción sustancial. Los sistemas catalogados como de menor criticidad no requieren la elaboración de diagramas de decisión de acuerdo con la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, dado que dichos diagramas u hojas de decisión están diseñados específicamente para analizar los modos de falla más críticos del activo físico en cuestión.

No obstante, para la implementación exitosa de un plan de mantenimiento basado en RCM, es imperativo la consideración en su totalidad de los sistemas que conforman el equipo, independientemente de su nivel de criticidad asignado.

En consecuencia, si bien los sistemas de baja criticidad no demandan la aplicación de diagramas de decisión RCM, su inclusión en el plan de mantenimiento general es indispensable para asegurar un enfoque correcto para así optimizar la disponibilidad del tractor agrícola John Deere 5090 – 5.

4.2.7. Plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM)

El presente documento establece el plan de mantenimiento basado en la metodología de “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad” (RCM, por sus siglas en inglés) para el Tractor Agrícola John Deere 5090-5. Este plan ha sido formulado a partir del diagnóstico actual del activo físico, análisis de criticidad, análisis de causa raíz de los modos de falla, análisis sistemático de modos de falla y consecuencias plasmados en las hojas de decisión RCM previamente elaboradas.

Dichas hojas de decisión permitieron identificar de manera exhaustiva los modos de falla críticos presentes en los sistemas del tractor, evaluar sus consecuencias operacionales y determinar las tareas de mantenimiento óptimas para mitigarlos. Los sistemas analizados comprenden el motor, el sistema eléctrico/electrónico, la transmisión y la estructura, seleccionados en virtud de representar las áreas con los modos de falla de mayor criticidad según el análisis de criticidad previamente realizado, complementándose con los otros sistemas de poco nivel de criticidad pero que en su conjunto constituyen el activo físico.

En consecuencia, el plan de mantenimiento RCM presentado a continuación tiene como objetivo primordial abordar de manera sistemática estos modos de falla críticos, a través de la implementación de estrategias integrales de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. Esto permitirá optimizar la confiabilidad operativa, disponibilidad y seguridad del Tractor Agrícola John Deere 5090-5, contribuyendo así a maximizar su ciclo de vida útil y minimizar los costos asociados a fallas imprevistas.

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL TRACTOR JOHN DEERE 509-5

Sistemas	Modos de falla	Mantenimiento Preventivo	Frecuencia Mensual												Mantenimiento Predictivo	Frecuencia Mensual												Mantenimiento Correctivo	
			E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Sistemas neumáticos	Llanta baja delantera en lado izquierdo	Inspeccionar regularmente la presión de las llantas y el desgaste de la banda de rodamiento.													Monitorear la presión de las llantas con sensores y analizar los patrones de desgaste.														Reparar o reemplazar la llanta baja.
	Llanta baja posterior en lado izquierdo	Inspeccionar regularmente la presión de las llantas y el desgaste de la banda de rodamiento													Monitorear la presión de las llantas con sensores y analizar los patrones de desgaste.													Reparar o reemplazar la llanta baja.	
	Llanta baja delantera en lado derecho	Inspeccionar regularmente la presión de las llantas y el desgaste de la banda de rodamiento													Monitorear la presión de las llantas con sensores y analizar los patrones de desgaste.													Reparar o reemplazar la llanta baja.	
	Llanta delantera reventada	Inspeccionar regularmente la presión de las llantas y el desgaste de la banda de rodamiento													Monitorear la presión de las llantas con sensores y analizar los patrones de desgaste.													Reemplazar la llanta reventada.	
Sistema eléctrico y electrónico	Luz delantera y posterior no encienden	Inspección y limpieza de conexiones eléctricas												Pruebas de continuidad de circuitos eléctricos														Reparación o reemplazo de cableado dañado	
		Inspección y mantenimiento de luces, focos																									Reparación o reemplazo de luces, focos		
	Sin corriente en chapa de contacto	Mantenimiento de la chapa de contacto y su circuito												Monitoreo de voltajes y corrientes en componentes clave													Reparación o reemplazo de componentes de la chapa de contacto		
	No enciende foco pirata	Inspeccionar periódicamente los focos y conexiones eléctricas.												Pruebas de continuidad eléctrica y análisis de voltajes.													Reemplazar el foco fundido o reparar la conexión eléctrica.		
	No marca tablero	Inspeccionar visualmente el tablero y sus conexiones.												Pruebas de continuidad eléctrica y análisis de voltajes en el circuito del tablero.													Reparar o reemplazar componentes defectuosos del tablero.		
Sistema de transmisión	Cambio de manómetro	Inspeccionar visualmente el manómetro y sus conexiones.												Monitorear presiones y temperaturas del sistema de transmisión													Reemplazar el manómetro defectuoso		
	Falla de sistema TDF	Inspección y ajuste de mecanismos de la TDF												Análisis de vibraciones en la TDF y transmisión													Reparación o reemplazo de componentes desgastados de la TDF		
		Lubricación de componentes de la TDF y palanca de cambios												Monitoreo de temperatura en componentes crítico															
	Palanca inversora no acciona	Lubricar y ajustar la palanca inversora periódicamente.												Inspeccionar desgaste en los componentes de la palanca inversora.													Reparar o reemplazar componentes defectuosos de la palanca inversora.		
Rotura de pasador de palanca para cambios de marchas	Inspeccionar visualmente los pasadores y ajustes de la palanca de cambios.												Monitorear vibraciones anormales en la palanca de cambios.													Reemplazar el pasador roto y reparar daños asociados.			
Sistema de dirección	Falla con el timón	Inspeccionar y lubricar los componentes del sistema de dirección.											Análisis de vibraciones y sonidos anormales en el timón.													Reparar o reemplazar componentes defectuosos del sistema de dirección.			
Sistema hidráulico	Relleno de aceite hidráulico	Revisar niveles de aceite hidráulico y programar cambios periódicos.											Análisis de condición del aceite hidráulico (contaminación, degradación, etc.)													Rellenar con aceite hidráulico nuevo y reparar fugas si las hay.			
Sistema motor	Máquina no enciende	Inspección y limpieza de batería, terminales y cableado											Monitoreo del estado de carga de la batería														Reparación o reemplazo de componentes defectuosos del sistema de arranque		
		Cambio de batería según vida útil																											
	Mantenimiento del sistema de arranque (motor de arranque, solenoide)												Análisis de compresión del motor													Reparación o reemplazo de componentes defectuosos del sistema de encendido			
	Mantenimiento del sistema de encendido (bujías, cables, módulos)																												
Mantenimiento del sistema de inyección												Pruebas de diagnóstico del													Reparación o reemplazo de				

4.3. Proyección de los indicadores de disponibilidad tras la implementación del plan de mantenimiento RCM

Para proyectar los indicadores de disponibilidad esperados tras implementar la metodología RCM, es necesario enfocarse principalmente en los modos de fallo y sistemas más críticos identificados. Según se detalla en el análisis de criticidad presentado en la Tabla 22, los modos de fallo y sistemas con mayor nivel de criticidad son los siguientes:

Tabla 49

Sistemas más críticos

Modo de Falla	Sistema	Puntaje de Criticidad	Nivel de Criticidad
Máquina no enciende	Sistema Motor	45	Muy Crítico
Luz delantera y posterior no encienden	Sistema Eléctrico/Electrónico	27	Moderadamente Crítico
Sin corriente en chapa de contacto	Sistema Eléctrico/Electrónico	27	Moderadamente Crítico
Falla de sistema TDF	Sistema de Transmisión	27	Moderadamente Crítico
Fuga de petróleo	Sistema de Estructura	27	Moderadamente Crítico

4.3.1. Proyección en sistema motor

En el sistema motor, el modo de fallo más crítico identificado es "Máquina no enciende". Para abordar este modo de fallo crítico, el plan de mantenimiento basado en la metodología RCM contempla la aplicación de tareas preventivas y predictivas específicas, las cuales se detallan a continuación:

Tareas preventivas:

- Inspección y limpieza de batería, terminales y cableado
- Cambio de batería según vida útil
- Mantenimiento del sistema de arranque (motor de arranque, solenoide)

- Mantenimiento del sistema de encendido (bujías, cables, módulos)
- Mantenimiento del sistema de inyección (bomba, inyector, filtros)

Tareas predictivas:

- Monitoreo del estado de carga de la batería
- Análisis de compresión del motor
- Pruebas de diagnóstico del sistema de encendido e inyección

Es importante identificar lo siguiente, en la tabla 17 del apartado Diagnostico del estado actual del tractor agrícola, se indican la cantidad de ocurrencias de una falla y el tiempo de parada en total que esta genera.

Para el caso del Sistema Motor/Maquina no enciende, se sabe que:

- Frecuencia de ocurrencia: Se registraron 15 eventos de esta falla durante el periodo de un año de operación analizado.
- Tiempo total de parada: Los 15 eventos de "Máquina no enciende" acumularon un total de 108.53 horas de tiempo de parada o indisponibilidad del equipo.

ANÁLISIS DEL SISTEMA MOTOR

Para estimar los porcentajes de reducción en frecuencias de fallas y tiempos de reparación después de implementar el plan de mantenimiento RCM en esta investigación no experimental, se aplica un enfoque basado en el análisis técnico de la efectividad de las tareas preventivas y predictivas propuestas. A mayor robustez de estas tareas para prevenir fallas y facilitar su detección temprana, se estiman mayores porcentajes de reducción en rangos típicos de 60-70% para frecuencias y 25-40% para tiempos de reparación, según el criterio ingenieril fundamentado en el impacto esperado de dichas tareas de mantenimiento.

Por tal motivo se analizó el impacto de las tareas preventivas y predictivas

propuestas en el sistema motor, indicando las siguientes estimaciones:

1. Reducción del 35% en la frecuencia de esta falla debido a las tareas preventivas.
2. Reducción adicional del 35% en la frecuencia gracias a las tareas predictivas.

Estimar la nueva frecuencia proyectada:

Frecuencia actual: 15 eventos/año

- Reducción por tareas preventivas: $15 * (1 - 0.35) = 9.75$ eventos/año
- Reducción adicional por tareas predictivas: $9.75 * (1 - 0.35) = 6.3$ eventos/año

Frecuencia proyectada = 6.3 eventos/año

También se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

1. Estimaré una reducción del 3% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

Tiempo de parada actual: 108.53 horas/año

- Tiempo promedio por reparación actual: $108.53 / 15 = 7.24$ horas/reparación
- Nuevo tiempo promedio con 15% de reducción: $7.24 * (1 - 0.03) = 7.02$ horas/reparación

Tiempo de parada proyectado = 6.3 eventos/año * 7.02 horas/reparación = 44.22 horas/año

Tabla 50

Proyecciones del sistema motor

Nuevas proyecciones para sistema motor	
Frecuencia proyectada	6.3 = 6 eventos por año
Tiempo de parada proyectado	44.22 horas por año

4.3.2. Proyección en sistema eléctrico y electrónico

En el sistema eléctrico y electrónico, se han identificado dos modos de fallo críticos: "Luz delantera y posterior no encienden" y "Sin corriente en chapa de contacto". Para mitigar estos modos de fallo, el plan RCM establece las siguientes tareas de mantenimiento:

Para la falla crítica "Luz delantera y posterior no encienden".

Tareas preventivas:

- Inspección y limpieza de conexiones eléctricas
- Inspección y mantenimiento de luces, focos

Tareas predictivas:

- Pruebas de continuidad de circuitos eléctricos

Para la falla crítica "Sin corriente en chapa de contacto".

Tareas preventivas:

- Mantenimiento de la chapa de contacto y su circuito

Tareas predictivas:

- Monitoreo de voltajes y corrientes en componentes clave

De la tabla 17 del apartado Diagnostico del estado actual del tractor agrícola, se mencionan estos indicadores.

Para el caso del Sistema eléctrico y electrónico/ Luz delantera y posterior no encienden, se sabe que:

- Frecuencia de ocurrencia: Se registraron 3 eventos de esta falla durante el periodo de un año de operación analizado.
- Tiempo total de parada: Los 3 eventos de " Luz delantera y posterior no encienden " acumularon un total de 22.24 horas de tiempo de parada o indisponibilidad del equipo.

Para el caso del Sistema eléctrico y electrónico/ Sin corriente en chapa de contacto, se sabe que:

- Frecuencia de ocurrencia: Se registraron 3 eventos de esta falla durante el periodo de un año de operación analizado.
- Tiempo total de parada: Los 3 eventos de "Sin corriente en chapa de contacto " acumularon un total de 24.81 horas de tiempo de parada o indisponibilidad del equipo.

ANALISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

a) Para la falla crítica "Luz delantera y posterior no encienden"

Se analizó el impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema eléctrico y electrónico, indicando las siguientes estimaciones:

- Reducción del 15% en la frecuencia de esta falla debido a las tareas preventivas.
- Reducción adicional del 10% en la frecuencia gracias a las tareas predictivas.

Estimar la nueva frecuencia proyectada:

Frecuencia actual: 3 eventos/año

- Reducción por tareas preventivas: $3 \cdot (1 - 0.15) = 1.5$ eventos/año
- Reducción adicional por tareas predictivas: $1.5 \cdot (1 - 0.1) = 1.35$ eventos/año

Frecuencia proyectada = 1.35 eventos/año

También se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

- Estimaré una reducción del 7% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

Tiempo de parada actual: 22.24 horas/año

- Tiempo promedio por reparación actual: $22.24 / 3 = 7.41$ horas/reparación
- Nuevo tiempo promedio con 5% de reducción: $7.41 * (1 - 0.07) = 7.04$ horas/reparación

Tiempo de parada proyectado = $1.35 \text{ eventos/año} * 7.04 \text{ horas/reparación} = 9.5 \text{ horas/año}$

Tabla 51

Proyecciones del sistema eléctrico y electrónico modo de falla 1

Nuevas proyecciones para sistema eléctrico y electrónico	
Frecuencia proyectada	$1.35 = 1$ evento por año
Tiempo de parada proyectado	9.5 horas por año

b). Para la falla crítica " Sin corriente en chapa de contacto "

Se analizó el impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema eléctrico y electrónico, indicando las siguientes estimaciones:

- Reducción del 20% en la frecuencia de esta falla debido a las tareas preventivas.
- Reducción adicional del 40% en la frecuencia gracias a las tareas predictivas.

Estimar la nueva frecuencia proyectada:

Frecuencia actual: 3 eventos/año

- Reducción por tareas preventivas: $3*(1-0.2) = 2.4$ eventos/año

- Reducción adicional por tareas predictivas: $2.4 \cdot (1 - 0.4) = 2.28$ eventos/año

Frecuencia proyectada = 2.28 eventos/año

También se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

- Estimaré una reducción del 5% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

Tiempo de parada actual: 24.81 horas/año

- Tiempo promedio por reparación actual: $24.81 / 3 = 8.27$ horas/reparación
- Nuevo tiempo promedio con 5% de reducción: $8.27 \cdot (1 - 0.05) = 7.85$ horas/reparación

Tiempo de parada proyectado = 2.28 eventos/año * 7.85 horas/reparación = 17.89 horas/año.

Tabla 52

Proyecciones del sistema eléctrico y electrónico modo de falla 2

Nuevas proyecciones para sistema eléctrico y electrónico	
Frecuencia proyectada	2.28 = 2 evento por año
Tiempo de parada proyectado	17.89 horas por año

4.3.3. Proyección en sistema de transmisión

En el sistema de transmisión, el modo de fallo crítico identificado es "Falla de sistema TDF" (Toma de Fuerza). Las tareas de mantenimiento establecidas en el plan RCM son:

Para la falla crítica "Falla de sistema TDF".

Tareas preventivas:

- Inspección y ajuste de mecanismos de la TDF
- Lubricación de componentes de la TDF y palanca de cambios

Tareas predictivas:

- Análisis de vibraciones en la TDF y transmisión
- Monitoreo de temperatura en componentes crítico

De la tabla 17 del apartado Diagnostico del estado actual del tractor agrícola, se mencionan estos indicadores.

Para el caso del Sistema de transmisión/ Falla de sistema TDF, se sabe que:

- Frecuencia de ocurrencia: Se registraron 3 eventos de esta falla durante el periodo de un año de operación analizado.
- Tiempo total de parada: Los 3 eventos de "Falla de sistema TDF " acumularon un total de 19.06 horas de tiempo de parada o indisponibilidad del equipo.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Se analizó el impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema de transmisión, indicando las siguientes estimaciones:

1. Reducción del 5% en la frecuencia de esta falla debido a las tareas preventivas.
2. Reducción adicional del 15% en la frecuencia gracias a las tareas predictivas.

Estimar la nueva frecuencia proyectada:

Frecuencia actual: 3 eventos/año

- Reducción por tareas preventivas: $3 * (1 - 0.05) = 2.85$ eventos/año

- Reducción adicional por tareas predictivas: $2.85 * (1 - 0.15) = 2.4$ eventos/año

Frecuencia proyectada = 2.4 eventos/año

También se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

1. Estimaré una reducción del 15% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

Tiempo de parada actual: 19.06 horas/año

- Tiempo promedio por reparación actual: $19.06/3 = 6.35$ horas/reparación
- Nuevo tiempo promedio con 15% de reducción: $6.35 * (1 - 0.15) = 6.15$ horas/reparación

Tiempo de parada proyectado = 2.4 eventos/año * 6.15 horas/reparación = 12.95 horas/año

Tabla 53

Proyecciones del sistema de transmisión

Nuevas proyecciones para sistema de transmisión	
Frecuencia proyectada	2.4 = 2 eventos por año
Tiempo de parada proyectado	12.95 horas por año

4.3.4. Proyección en sistema de estructura

En el sistema de estructura, el modo de fallo crítico es "Fuga de petróleo". El plan de mantenimiento RCM contempla las siguientes tareas específicas:

Para la falla crítica "Fuga de petróleo".

Tareas preventivas:

- Inspección de posibles fugas en el motor y componentes
- Mantenimiento de sellos, retenes y juntas
- Cambio de aceite según programa

Tareas predictivas:

- Análisis de aceite para detectar contaminación y desgaste
- Monitoreo de niveles de aceite y presiones

De la tabla 17 del apartado Diagnostico del estado actual del tractor agrícola, se mencionan estos indicadores.

Para el caso del Sistema de estructura/ Fuga de petróleo, se sabe que:

- Frecuencia de ocurrencia: Se registraron 3 eventos de esta falla durante el periodo de un año de operación analizado.
- Tiempo total de parada: Los 3 eventos de " Fuga de petróleo " acumularon un total de 18.22 horas de tiempo de parada o indisponibilidad del equipo.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ESTRUCTURA

Se analizó el impacto de las tareas preventivas y predictivas propuestas en el sistema de estructura, indicando las siguientes estimaciones:

1. Reducción del 30% en la frecuencia de esta falla debido a las tareas preventivas.
2. Reducción adicional del 35% en la frecuencia gracias a las tareas predictivas.

Estimar la nueva frecuencia proyectada:

Frecuencia actual: 3 eventos/año

- Reducción por tareas preventivas: $3 * (1 - 0.3) = 2.1$ eventos/año
- Reducción adicional por tareas predictivas: $2.1 * (1 - 0.35) = 1.36$ eventos/año

Frecuencia proyectada = 1.36 eventos/año

También se analizó el impacto en los tiempos de reparación:

2. Estimaré una reducción del 15% en los tiempos de reparación.

Estimar el nuevo tiempo de parada proyectado:

Tiempo de parada actual: 18.22 horas/año

- Tiempo promedio por reparación actual: $18.22/3 = 6.07$ horas/reparación
- Nuevo tiempo promedio con 15% de reducción: $6.07 * (1 - 0.15) = 5.16$ horas/reparación

Tiempo de parada proyectado = 1.36 eventos/año * 5.16 horas/reparación = 7.02 horas/año

Tabla 54

Proyecciones del sistema de estructura

Nuevas proyecciones para sistema de transmisión	
Frecuencia proyectada	$1.36 = 1$ evento por año
Tiempo de parada proyectado	7.02 horas por año

4.3.5. Proyección de indicadores de disponibilidad tras implementación del Plan de Mantenimiento RCM

En el apartado 5.1 Diagnóstico del estado actual, se calculó la disponibilidad operativa del tractor modelo John Deere 5090 - 5, obteniendo un valor aproximado del 85,16%. Si bien este porcentaje de disponibilidad se considera relativamente alto para un activo que no cuenta con un plan de mantenimiento formal establecido, no se encuentra dentro del rango óptimo deseado para equipos agrícolas de esta categoría. El objetivo primordial al implementar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es incrementar este indicador de disponibilidad. Cualquier aumento, por mínimo que sea, en el valor porcentual de disponibilidad operativa, será un indicador de que el plan RCM está surtiendo los efectos esperados en cuanto a la mejora de la confiabilidad y mantenibilidad del activo.

La metodología RCM aborda los modos de fallo según su criticidad, pero también contempla una revisión exhaustiva de todos los modos de fallo identificados. Durante esta revisión, se definen tareas de mantenimiento preventivo y predictivo para mitigar o eliminar dichos modos de fallo, independientemente de su criticidad actual, en línea con el enfoque proactivo del RCM. Por lo tanto, aunque los modos de fallo con frecuencias de 2 o 3 eventos al año puedan parecer menos críticos, el plan RCM considera aplicar tareas preventivas y predictivas específicas para reducir su frecuencia a niveles mínimos aceptables. Así, está técnicamente justificado reducir las frecuencias restantes a un valor promedio de 1 evento anual, ejecutando adecuadamente las tareas correspondientes establecidas en el plan, lo que maximizará el incremento en la disponibilidad operativa proyectada del activo

Habiendo realizado las proyecciones correspondientes en base al plan de mantenimiento, podemos indicar una nueva lista de eventos con las variaciones correspondientes:

Tabla 55

Nuevo registro de fallas del tractor 5090 – 5

Código	Observación	Cantidad de fallas	Tiempo de paros en horas
5090 - 5	Llanta baja delantera en lado izquierdo	1	6.9
	Cambio de manómetro	1	10.51
	Máquina no enciende	6	44.22
	Falla con el timón	1	4.79
	Llanta baja posterior en lado izquierdo	1	17.38
	Luz delantera y posterior no encienden	1	9.5
	Reten del cubo lado derecho presenta fuga de aceite	1	21.38
	Sin corriente en chapa de contacto	2	17.89
	Falla de sistema TDF	1	12.95
	Llanta baja delantera en lado derecho	1	1.36
	No enciende foco pirata	1	23.67
	Fuga de petróleo	1	7.02
	Parada por un sonido anormal	1	21.02
	Palanca inversora no acciona	1	1.36
	Rotura de pasador de palanca para cambios de marchas	1	1.65
	Rodaje del ventilador en mal estado	1	11.37
	No marca tablero	1	5.37
	Relleno de aceite hidráulico	1	7.94
	Falta aceite de refrigerante	1	8.8
	Llanta delantera reventada	1	12.52
Máquina acelerada	1	4.56	
Rotura de resorte de embrague	1	5.36	
Cremallera en mal estado	1	12	
TOTAL		29	269.52

Tabla 56*Aumento de Disponibilidad*

Nuevo valor de disponibilidad del tractor John Deere 5090 - 5		
Total, de horas	2496	2496
Tiempo de inactividad	370.6	269.52
N. de paradas	60	29
MTBF	35.42	76.78
MTTR	6.17	9.29
DISPONIBILIDAD	85.16%	90.3%

Tras la implementación del plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, se constata objetivamente un aumento significativo en la disponibilidad operativa del activo del sector agrícola analizado, pasando de 85,16% a 90,3%. Este incremento cuantitativo en el indicador clave de disponibilidad demuestra que el plan RCM aplicado ha logrado exitosamente el objetivo propuesto de optimizar la disponibilidad del activo.

4.4. Análisis de costos del mantenimiento general para el tractor agrícola John Deere 5090

Para realizar el análisis económico de la investigación, centrada en el desarrollo del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) del tractor John Deere 5090-5, se tomarán en cuenta los datos correspondientes a un período anual. El enfoque principal se concentrará en los subsistemas críticos identificados mediante un análisis de criticidad previo. Con base en las tareas de mantenimiento establecidas en el plan RCM, se determinarán los recursos necesarios para llevar a cabo un exhaustivo análisis de costos.

Tabla 57*Equipamiento requerido para el Mantenimiento de los Sistemas Críticos*

Sistema	Repuesto/Insumo
Motor	Implementos Eléctricos
Motor	Implementos de Inyección y Combustible
Motor	Implementos Generales:
Eléctrico/Electrónico	Componentes Eléctricos:
Eléctrico/Electrónico	Equipos de Prueba
Eléctrico/Electrónico	Accesorios
Transmisión	Componentes de Transmisión
Transmisión	Lubricantes y Grasas:
Transmisión	Equipos de Análisis
Estructura	Componentes de Sellado
Estructura	Lubricantes y Filtros
Estructura	Equipos de Análisis

4.4.1. Capacitación de operadores de los equipos y al personal técnico

Para realizar un análisis de costos preciso del plan de mantenimiento RCM del tractor John Deere 5090-5, es esencial considerar los costos de capacitación para operadores y técnicos. Estos profesionales clave requieren entrenamiento especializado en temas como principios RCM, técnicas de inspección, procedimientos de mantenimiento específicos para el tractor, uso de herramientas y seguridad laboral. Por lo tanto, se debe asignar un presupuesto adecuado para cubrir los gastos de capacitación, materiales didácticos, instructores y costos indirectos relacionados con su ejecución.

Tabla 58

Cuadro de capacitación

Capacitación	Descripción	Período	Duración	Herramientas
Fundamentos RCM	Introducción a la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	Inicio del proyecto	8 horas	Materiales didácticos, presentaciones
Familiarización de tractor agrícola	Se realizará el conocimiento de las partes del equipo	3 meses	1 hora	Manual de servicio del equipo
Revisión de la línea del Sistema Motor	Mantenimiento del sistema de arranque, encendido, inyección y análisis de fallas	Trimestral	16 horas	Equipos de prueba y diagnóstico, herramientas especializadas
Revisión de la línea del Sistema Eléctrico/Electrónico	Inspección y mantenimiento de circuitos eléctricos, luces y componentes electrónicos	Semestral	8 horas	Multímetros, equipos de prueba de continuidad
Revisión de la línea del Sistema de Transmisión	Mantenimiento de la TDF, palanca de cambios y análisis de vibraciones y temperatura	Semestral	8 horas	Equipos de análisis de vibraciones, termómetros
Revisión de la línea del Sistema de Estructura	Inspección de fugas, mantenimiento de	Trimestral	8 horas	Equipos de análisis de aceite,

Lubricación y Consumibles	sellos y análisis de aceite Manejo adecuado de lubricantes, grasas, filtros y consumibles	Anual	4 horas	herramientas de sellado Muestras de lubricantes y consumibles
Seguridad y Protección Personal	Normas de seguridad en tareas de mantenimiento	Semestral	4 horas	Equipos de protección personal
Rellenado de Registros	Llenado correcto de check-lists y registros de mantenimiento	Trimestral	4 horas	Formatos de registros y check-lists

El presupuesto total estimado para esta investigación es de: S/. 12,228.00.

Por otra parte, con la finalidad de determinar la reducción de los costos se establece el detalle de los costos asumidos durante la inspección, monitoreo y reparación del mantenimiento del sistema de motor, transmisión, eléctrico e hidráulico.

Tabla 59

Costo del mantenimiento del sistema motor

	Sistema de Motor	Mantenimiento	Costos		Total, Anual
			Mano de obra	Repuestas	
Implementos Eléctricos	Batería, terminales de batería, cables de batería, motor de arranque, solenoide de arranque, bujías, cables de bujías, módulos de encendido.	Inspección	S/ 240		S/ 240
		Monitoreo	S/ 120		S/ 120
	Reparación	S/ 120	S/ 1,200	S/ 1,320	
Implementos de Inyección y Combustible	Bomba de inyección, inyectores, filtros de combustible.	Inspección	S/ 60		S/ 60
		Monitoreo	S/ 30		S/ 30
		Reparación	S/ 30	S/ 300	S/ 330
Implementos Generales	Cepillos, trapos, solventes,	Inspección	S/ 4		S/ 4
		Monitoreo	S/ 2		S/ 2

equipos de prueba y diagnóstico, grasas y lubricantes, juntas y sellos.	Reparación	S/ 2	S/ 20	S/ 22
---	------------	------	-------	-------

Tabla 60

Costo del mantenimiento del sistema Transmisión

	Sistema Transmisión	Mantenimiento	Costos		Total, Anual
			Mano de obra	Repuestas	
Componentes de Transmisión	Componentes de la TDF, palanca de cambios, aceite de transmisión.	Inspección	S/ 70		S/ 70
		Monitoreo	S/ 35		S/ 35
		Reparación	S/ 35	S/ 350	S/ 385
		Inspección	S/ 30		S/ 30
Lubricantes y Grasas	Grasas, lubricantes, equipos de engrase.	Monitoreo	S/ 15		S/ 15
		Reparación	S/ 15	S/ 150	S/ 165
		Inspección	S/ 190		S/ 190
Equipos de Análisis	Análisis de vibraciones, termómetros, sensores de temperatura, análisis de aceite.	Monitoreo	S/ 95		S/ 95
		Reparación	S/ 95	S/ 950	S/ 1,045

Tabla 61

Costo del mantenimiento del sistema Eléctrico

	Sistema Eléctrico/Electrónico:	Mantenimiento	Costos		Total, Anual
			Mano de obra	Repuestas	
Componentes Eléctricos	Cables, conexiones, focos, luces, chapa de contacto y circuito.	Inspección	S/ 50.00		S/ 50
		Monitoreo	S/ 25.00		S/ 25
		Reparación	S/ 25.00	S/ 250.00	S/ 275
Equipos de Prueba	Multímetro, equipos de prueba de continuidad, análisis de voltajes y corrientes.	Inspección	S/ 160.00		S/ 160
		Monitoreo	S/ 80.00		S/ 80

Accesorios	Cinta aislante, terminales, conectores, herramientas de limpieza y mantenimiento.	Reparación	S/ 80.00	S/ 800.00	S/ 880
		Inspección	S/ 52.00		S/ 52
		Monitoreo	S/ 26.00		S/ 26
		Reparación	S/ 26.00	S/ 260.00	S/ 286

Tabla 62

Costo del mantenimiento del sistema de Estructuras

	Sistema de Estructura	Mantenimiento	Costos Mano de obra	Repuestas	Total, Anual
Componentes de Sellado	Sellos, retenes, juntas, adhesivos y selladores.	Inspección	S/ 22.06		S/ 22
		Monitoreo	S/ 11.03		S/ 11
		Reparación	S/ 11.03	110	S/ 121
Lubricantes y Filtros	Aceite de motor, grasas, lubricantes, filtros de aceite.	Inspección	36.78176		S/ 37
		Monitoreo	18.39088		S/ 18
		Reparación	18.39088	184	S/ 202
Equipos de Análisis	Análisis de aceite, medidores de presión, varillas de nivel de aceite.	Inspección	S/ 29.60		S/ 30
		Monitoreo	S/ 14.80		S/ 15
		Reparación	S/ 14.80	S/ 148	S/ 163

Después de calcular los costos de mantenimiento se asume el costo por capacitación, el cual estará asumido por un ingeniero mecánico eléctrico. El total de costos en capacitaciones será de S/ 1,792.

Tabla 63

Costo de la capacitación

Partidas	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Cantidad de veces al año	Presupuesto Anual
Experto: Capacitación					
Capacitación y Talleres	días	1	S/ 850	2	S/ 1,700
Sub Total			S/ 850		S/ 1,700
Movilidad y Viáticos del experto					

Movilidad	unid	1	S/ 10	2	S/ 20
Alimentación	unid	1	S/ 10	2	S/ 20
Total			S/ 20		S/ 40
Equipos, Materiales para hacer posible la capacitación					
Pizarra acrílica de 2.0m x 1.2m	unid	2	S/ 4	1	S/ 8
Plumones de colores (azul, rojo, negro)	unid	1	S/ 12	1	S/ 12
Folder	Paq.	1	S/ 5	1	S/ 5
Papel Bond	Paq.	1	S/ 12	1	S/ 12
Lapiceros	Paq.	2	S/ 8	1	S/ 15
Sub - Total			S/ 41		S/ 52
Total					S/ 1,792

Además, con el objetivo de cubrir la totalidad de los costos de mantenimiento, se lleva a cabo una suma de los gastos asociados al mantenimiento del sistema de motor, transmisión, eléctrico e hidráulico, lo que resulta en un costo total de S/ 6,611. A esto se añade el costo de capacitación y otros gastos inherentes al mantenimiento que también son asumidos.

Tabla 64

Costo Total

Total, gastado por el mantenimiento de quipos críticos	S/ 6,611
Capacitación	S/1792
Otros gastos generales por mantenimiento	S/2480
Total, de gastos	S/ 10,883

Para determinar la reducción de costos, se calcula la diferencia entre el presupuesto asignado por la empresa para cubrir los costos y el total de gastos generados por mantenimiento y capacitación. Como resultado, se determinó un ahorro de S/ 1,344.94

Tabla 65

Ahorro

Presupuesto anual	S/ 12,228.00
Total, de gastos	S/ 10,883.00
Ahorro	S/ 1,344.94

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Los hallazgos de este estudio coinciden con investigaciones previas que resaltan la importancia de realizar un diagnóstico exhaustivo del estado actual de los equipos y un análisis de criticidad para identificar los sistemas y componentes más vulnerables. Tal como lo evidencian Cañaveral y Bustamante (2022), así como López (2019), esta etapa inicial es fundamental para enfocar los esfuerzos y recursos en los aspectos más críticos que impactan la disponibilidad y confiabilidad del activo. En este caso, se determinó que los sistemas motores, eléctrico/electrónico, transmisión y estructura son los más críticos en el tractor John Deere 5090, con una disponibilidad inicial de 85.16%, lo cual concuerda con los hallazgos de Aliaga (2022) y Chapoñan y Fuertes (2020), quienes también identificaron disponibilidades iniciales deficientes en sus objetos de estudio antes de la implementación del RCM.
- La metodología empleada para definir las tareas de mantenimiento y elaborar el plan RCM se alinea con los enfoques utilizados por autores como Silva et al. (2019), Edgar y Cordero (2020), y Martínez (2023). Estos investigadores también realizaron una categorización de modos de falla por sistemas, establecieron tareas de mantenimiento específicas, aplicaron diagramas de decisión RCM y desarrollaron planes de mantenimiento basados en la confiabilidad. Este enfoque sistemático y estructurado, respaldado por herramientas como el Análisis Modal de Efectos y Fallas (AMEF), permite identificar las actividades de mantenimiento más efectivas para mitigar los modos de falla críticos y optimizar la disponibilidad de los activos.
- Los resultados obtenidos en este estudio, que proyectan un aumento de la disponibilidad del tractor John Deere 5090 a 90.3% después de la implementación del plan RCM, son consistentes con los hallazgos de investigaciones previas.

Autores como Aliaga (2022), Chapoñan y Fuertes (2020), y Barsalio (2020) también reportaron incrementos significativos en la disponibilidad y eficiencia de los equipos tras la aplicación de la metodología RCM. Estos resultados respaldan la efectividad de esta metodología para mejorar los indicadores clave de mantenimiento, al enfocarse en las tareas más adecuadas para prevenir y mitigar los modos de falla críticos. Además, coinciden con los beneficios económicos y la viabilidad reportada por Carranza (2020) y López (2019) al implementar el RCM en sus respectivos estudios.

VI. CONCLUSIONES

- Se concluye que la elaboración e implementación del plan de mantenimiento basado en la metodología RCM fue exitosa, logrando incrementar de manera sustancial la disponibilidad operativa del tractor agrícola John Deere 5090 utilizado por la empresa Plantaciones del Sol - Motupe durante el año 2023. Los resultados obtenidos muestran un aumento significativo de la disponibilidad, pasando de 85.16% a 90.3%, lo cual representa una mejora del 5.14% en comparación con la situación inicial. Este incremento en la disponibilidad operativa del tractor se traduce en una mayor productividad, eficiencia y rentabilidad para la empresa, al minimizar los tiempos de parada y maximizar el aprovechamiento de este activo crítico.
- Se concluye que el diagnóstico exhaustivo del estado actual del tractor agrícola John Deere 5090 fue fundamental para identificar las áreas críticas que requerían una intervención prioritaria. Los indicadores iniciales revelaron una disponibilidad de 85.16%, lo cual denotaba la presencia de fallas y paradas no planificadas que afectaban la operatividad del equipo. Mediante un análisis de criticidad, se determinó que los sistemas motores, eléctrico/electrónico, transmisión y

estructura eran los más vulnerables y experimentaban fallas recurrentes. Esta evaluación exhaustiva sentó las bases para la posterior definición de tareas de mantenimiento enfocadas en mitigar los modos de falla críticos.

- Se concluye que la aplicación sistemática de la metodología RCM permitió definir de manera precisa y efectiva las tareas de mantenimiento general aplicables al tractor John Deere 5090. Este enfoque estructurado incluyó una categorización detallada de los modos de falla por sistemas, el establecimiento de tareas específicas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, la elaboración de diagramas de decisión RCM para los sistemas críticos y, finalmente, la consolidación de todas estas acciones en un plan de mantenimiento integral. La rigurosidad de esta metodología aseguró que las actividades de mantenimiento estuvieran alineadas con las necesidades reales del equipo y enfocadas en prevenir y mitigar las fallas más críticas, maximizando así la disponibilidad del tractor.
- Se concluye que, gracias a la adecuada implementación del plan de mantenimiento RCM, se proyecta un aumento considerable en los indicadores de disponibilidad del tractor agrícola John Deere 5090, alcanzando un 90.3% de disponibilidad. Este incremento del 5.14% en comparación con la situación inicial de 85.16% representa un logro significativo y demuestra la efectividad de la metodología RCM para optimizar la gestión de mantenimiento de activos críticos.
- Se concluye que, que gracias a la adecuada implementación del plan de mantenimiento RCM se logró obtener como ahorro S/ 1,344.94. Asimismo, se determinó que el costo de mantenimiento por cada tractor asciende a S/ 6,611. Este presupuesto se destina específicamente al mantenimiento de los puntos críticos del vehículo, garantizando así su óptimo funcionamiento y prolongada vida útil.

VII. REFERENCIAS

- Alberti, A. (6 de Mayo de 2020). *ALS*. Obtenido de ¿Qué es la confiabilidad en el mantenimiento?: <https://www.alsglobal.com/es/News-and-publications/2022/06/qu-es-la-confiabilidad-en-el-mantenimiento>
- Albujar, B., & Jesusi, M. (2020). *Aplicación de la metodología AMFE para mejorar la disponibilidad de maquinaria pesada en una empresa de Lima Metropolitana 2020*. Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/66882>
- Aliaga, J. (2022). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo con la metodología rcm para incrementar la disponibilidad de las máquinas en línea de envasado latas en una empresa cervecera - Lima*. Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/95697>
- Barsalio, M. (2020). *Gestión del mantenimiento utilizando la herramienta RCM para aumentar la eficiencia de los vehículos de la empresa Induamerica Servicios Logísticos S.A – Lambayeque*. Lambayeque: Universidad Señor de Sipán. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12802/8251>
- Cañáveral, L., & Bustamante, D. (2022). *Diseño de un programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para una empresa manufacturera de látex*. Colombia: Universidad de Antioquia. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/29350>
- Carranza, E. (2020). *Gestión del mantenimiento preventivo para mejorar la productividad en el proceso productivo de sacos de una empresa de Lambayeque*. Lambayeque: Universidad César Vallejo.
- Caycho, C., Castillo, C., & Merino, V. (2019). *Manual de estadística no paramétrica aplicada a los negocios*. Lima: Alianza editorial.
- Chapoñan, J., & Fuertes, F. (2020). *Aplicación de la metodología RCM, para*

- incrementar la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019.* Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/47489>
- Concepto. (5 de Mayo de 2022). *Concepto*. Obtenido de Tecnicas de investigacion : <https://concepto.de/tecnicas-de-investigacion/#ixzz6vLAFhODB>
- Cuatrecasas, L. (2020). *Gestión integral de la calidad* . España: Profit Editorial inmobiliaria S.L.
- Deere., J. (2022). *John Deere*. Obtenido de *Tractores Agrícola*. Obtenido de <https://www.deere.com/latin-america/es/tractores/>
- Denzin, N., & Lincoln, Y. (2015). *Data collection and analysis methods: Qualitative research manual. Vol IV.* USA: Gedisa.
- Diaz, S. (2022). *Plan de mantenimiento preventivo/predictivo a equipos de linea de proceso planta Dialum* . Valparaiso : Universidad Tecnica Federico Santa Maria.
- Edgar, E., & Cordero, O. (2020). Uso de la metodología FMECA -RCM, para la optimización De la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre. *BISTUA*. doi:<https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2019.231>
- Eurfins. (10 de Setiembre de 2023). *Eurofins Environment Testing* . Obtenido de ¿Qué es el MTBF en mantenimiento?: <https://www.eurofins-environment.es/es/mtbf-mantenimiento/>
- Hernandez, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación*. México: MC Graw Hill.
- Jacob Ben, A., & Mohamed, K. (2021). Effect of Preventive Maintenance on Machine Reliability in a Beverage Packaging Plant. *IGI Global*. doi:<https://www.igi-global.com/gateway/article/277638>
- Juan, P. (s.f.). *Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de tractor Landini REX DT80GE de la empresa Agrícola San Juan*". Obtenido de

- Universidad Pedro Ruiz Gallo :
repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8245/BC-4645%20PEREYRA%20VILLALOBOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Juárez, A. (2019). *Aplicación del AMEF para incrementar la disponibilidad de los equipos críticos de la Empresa S. M. R. L minera JUPITHER*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15211>
- Kvale, S. (2012). *Interviews in qualitative research*. USA: Morata.
- Lopez Loayza, J. (2019). *Plan de Mantenimiento centrado en la Confiabilidad*. Repositorio de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Martinez, G. (2023). “*Sistema de gestión basado en la metodología del RCM para mejorar la disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción de barras de construcción N°1 de Siderperu, provincia del Santa, departamento de Ancash*”. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11445>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. España: RCM II.
- Niebel, B. (1996). *Ingeniería industrial estudio de tiempos y movimientos*. Omega.
- Pablo, P. V. (2020). *Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de tractor Landini REX DT80GE de la empresa Agrícola San Juan*. Obtenido de Universidad Pedro Ruiz Gallo :
repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8245/BC-4645%20PEREYRA%20VILLALOBOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Palacios, L. (2016). *Ingeniería de métodos movimientos y tiempos*. Colombia: ECOE ediciones.
- Pereyra, J. (s.f.).
- Pereyra, J. (2020). *Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de*

- tractor Landini REX DT80GE de la empresa Agrícola San Juan. Obtenido de Universidad Pedro Ruiz Gallo :*
repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8245/BC-4645%20PEREYRA%20VILLALOBOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Perez, J. (2019). *Análisis y desarrollo de un sistema de mantenimiento basado en la metodología del análisis modal de fallos y efectos (AMFE) en el proceso de producción de aceite de oliva virgen*. España: Universidad de Jaen. Obtenido de <https://tauja.ujaen.es/handle/10953.1/13992>
- Pineda, H. (2021). *Modelo de plan de mantenimiento basado en la metodología de análisis de modo falla y efecto (fmea) para el sistema hidráulico de la flota de grúas del grupo empresarial la OCTAVA LTDA, GLOBAL GENESIS S.A.S*. Colombia: Universidad Santo Tomas. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/37772>
- Quispe, K. M. (2019). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. Obtenido de Universidad Continental :
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5908/4/MP_MC_Mantenimiento_centrado_en_confiabilidad_Docente_Kenny_Melendres.pdf
- Rios, J. P. (2019). *Desarrollo de plan de mantenimiento en motores electricos* . Arequipa : Universidad Continental. Obtenido de Universidad Continental:
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8682/4/IV_FIN_111_TI_Pinto_Rios_2019.pdf
- Robledo, S., Alarcón, E., & Rocha, M. (2014). *Estudio del trabajo :una nueva vision*. México: Callejas.
- Rosales, J. (26 de Julio de 2023). *Fractal* . Obtenido de MTTR ¿Cómo medir el tiempo de reparación?: <https://www.fractal.com/es/mantenipedia/que-es-el-mttr-formula-y-calculadora-online-del-mttr>

- Silva, I., Rodriguez, M., Acosta, R., & Gómez, P. (2019). Diseño de plan de mantenimiento preventivo para los talleres del centro CIES Sena Regional Norte de Santander utilizando metodología AMEF. *MUNDO FESC*. Obtenido de <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/446>
- Soto, J. (2016). *Mantenimiento Basado En La Confiabilidad Para El Mejoramiento De La Disponibilidad Mecánica De Los Volquetes Faw En Gym S.A.* Huancayo: Universidad Nacional Del Centro Del Peru. Facultad De Ingeniería Mecánica.
- Valderrama, S. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Vásquez, B. (2021). *Influencia de la metodología FMEA en la disponibilidad operativa de grúas telescópicas modelo R9130-2 de la Empresa Cosmos S. A.* Lima: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29876>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica del tractor agrícola John Deere 5090

Potencia	5090E Sync	5090E PR
Potencia del motor a régimen nominal	66 kW (89 hp)	69 kW (92 hp)
Potencia a la TDP a régimen nominal	57 kW (77 hp)	59 kW (75 hp)

Motor		
Marca	John Deere	
Modelo	4045T PowerTech™	
Tipo	Diésel, 4 cilindros, Tier 0	Diésel, 4 cilindros, Tier 2
Cilindrada	4,5 L	4,5 L
Tanque de combustible	95 L	95 L
Lubricación	A presión con filtro de flujo total	
Filtro de aire	Tipo seco con elemento de seguridad	
Inyección	Bomba inyección rotativa	Directa con bomba de línea
Sistema de escape	Caño de escape vertical con silenciador bajo el capó	
Anticongelante	Sí	Sí
Ventilador	De mando directo	

Transmisión		
Tipo	Sincronizada	PowerReverser™, parcialmente sincronizada con reversor electrohidráulico
Marchas	9 de avance y 3 de reversa	12 de avance y 12 de retroceso
Traba de diferencial	Accionada por pedal	
Embrague - Tipo	De disco ceramético de 11" de diámetro	Húmedo

Tracción delantera		
(Solo modelo doble tracción)		
Tipo	Mecánica	Mecánica
Accionamiento	Mecánico	Mecánico

Toma de potencia		
Tipo	Independiente	Independiente y económica
Accionamiento	Mecánico	Electrohidráulico
Régimen estándar	540	540/540E

Sistema hidráulico		
Tipo	Centro abierto	Centro abierto
Bomba	De engranajes	De engranajes
Caudal máximo	60,2 L/min	60,2 L/min
Presión máxima	200 kg/cm ²	200 kg/cm ²
Cantidad de válvulas de control remoto	2	2

Levante de 3 puntos	5090E Sync	5090E PR
Categoría	I, II	I, II
Capacidad máxima de levante (a 610 mm del extremo de los brazos)	1530 kgf	1530 kgf

Dirección		
Tipo	Hidrostática, con bomba exclusiva	
Caudal de la bomba	24,9 L/min	24,9 L/min

Frenos		
Tipo	De discos en baño de aceite	
Accionamiento	Hidráulico, autoajustables	

CARACTERÍSTICAS DE VALOR

- Opción de transmisión PowerReverser™ con inversor electrohidráulico
- Opción de embrague húmedo que proporciona una óptima modulación de los discos para una mayor vida útil del mismo
- Opción de toma de fuerza económica que permite ahorro de combustible
- Motor PowerTech™ con mayor potencia
- Compatibilidad con cargadores frontales John Deere

Rodados	5090E Sync	5090E PR
Delanteros	12.4 - 24 (R1)	12.4 - 24 (R1)
Traseros	15.5 - 38 (R1)	18.4 - 30 (R1)

Sistema eléctrico		
Tensión	12 V	12 V
Batería	550 CCA	550 CCA

Puesto de comando		
Plataforma	Abierta con techo	
Asiento	Suspensión mecánica	
Protector contra vuelcos	Abatible de 2 postes	
Cinturón de seguridad	Sí	Sí
Joystick monocomando para control de cargador frontal	-	Sí
Luz de trabajo trasera	Sí	Sí
Dos luces alógenas delanteras	Sí	Sí
Dos luces de advertencia	Sí	Sí
Techo estándar	Sí	Sí

Misceláneas		
Soporte para contrapesos delanteros	Sí	Sí
Columna de la dirección abatible	Sí	Sí
Accelerador de pie	Sí	Sí
Conector 7 puntas	Sí	Sí
Traba del diferencial de accionamiento mecánico	Sí	Sí
Separador de agua	Sí	Sí



Las especificaciones y el diseño están sujetos a cambios sin previo aviso y el producto que Ud. adquiere puede no coincidir exactamente con el expuesto y/o descrito en este folleto.

Para más información sobre este producto contáctenos en: JohnDeere.com.ar

Anexo 3. Ordenes de trabajo para los sistemas del activo

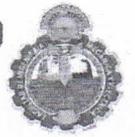
ORDEN DE TRABAJO			N°
PRIORIDAD:		CUENTA N°	
REQUERIDO POR:	APROBADO POR:	FECHA:	
EQUIPO:			
DESCRIPCION DEL PROBLEMA:			
SUPERVISOR:		SECCION:	FECHA:
MATERIAL Y HERRAMIENTAS ESPECIALES NECESARIAS:			
COORDINADO POR:		DEPARTAMENTO:	
N° DE ORDEN DE IMPEDIMENTO DE LA OPERACION:		TIEMPO:	FECHA:
REGRESO A OPERACION: FECHA		HORA:	SUPERVISOR:
SERVICIO VERIFICADO: <input type="checkbox"/>		RESPONSABLE	
SUMARIO DEL SERVICIO EJECUTADO:			
FECHA DE TERMINACION DEL SERVICIO:			HORA:
COMENTARIOS SOBRE EL PROBLEMA:			
Horas-hombre estimadas	Horas-hombre reales	Nombres	Comentarios relativos al consumo de Horas-hombre

Anexo 4. Tractor John Deere



Anexo 5. Glosario de términos

GLOSARIO	
Análisis de criticidad:	Proceso sistemático para determinar la importancia relativa de los modos de falla de un activo físico según su impacto en la seguridad, el medio ambiente, las operaciones y los costos.
Disponibilidad:	Proporción de tiempo durante el cual un sistema o componente está en condiciones operativas.
Falla funcional:	Incapacidad de un activo o componente para cumplir con una función específica según los parámetros de desempeño deseados.
Mantenimiento correctivo:	Actividades de mantenimiento realizadas después de la falla para restaurar un activo a su estado operativo.
Mantenimiento preventivo:	Actividades de mantenimiento programadas con anticipación para prevenir fallas o degradación del rendimiento.
Modo de falla:	Evento que causa la falla funcional de un activo físico.
Parada:	Período de tiempo durante el cual un activo no está disponible para operar debido a una falla u otro evento.
RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad):	Proceso sistemático utilizado para determinar los requisitos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operativo actual.
Tarea a condición:	Actividad de mantenimiento preventivo realizada en respuesta a la condición revelada por monitoreo o inspección.
Tiempo medio entre fallas (MTBF):	Medida de la confiabilidad de un activo, representada por el tiempo promedio entre fallas sucesivas.
Tiempo medio para reparación (MTTR):	Medida de la mantenibilidad de un activo, representada por el tiempo promedio requerido para reparar una falla.
Parada:	Período en que un activo no está disponible por falla u otro evento.
Falla funcional:	Incapacidad de cumplir una función según parámetros deseados.



ACTA DE SUSTENTACION N°045-2024-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 10:00 a.m. del día Lunes 15 de abril de 2024. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°085-2024-D-VIRTUAL-FIME, de fecha 10 de abril 2024, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación del Tesis ordinaria, conformado por los siguientes catedráticos:

Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA
M.Sc. Ing. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA
M.Sc. Ing. OSCAR MÉNDEZ CRUZ

PRESIDENTE
SECRETARIO
MIEMBRO
ASESOR

Se recibió la Tesis ordinaria titulada:

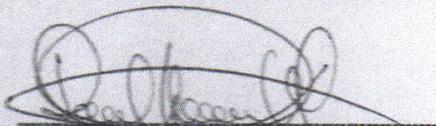
"ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DEL TRACTOR AGRÍCOLA JOHN DEERE 5090 DE LA EMPRESA PLANTACIONES DEL SOL- MOTUPE 2023"

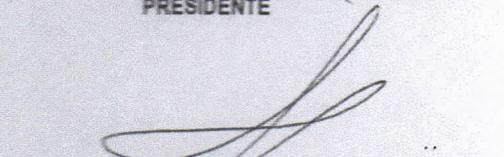
Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **TESEN INGA CRISTIAN WILLIAM.**

Finalizada la sustentación de la Tesis ordinaria, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (*18*) en la escala vigesimal, mención *Muy BUENA*.

Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

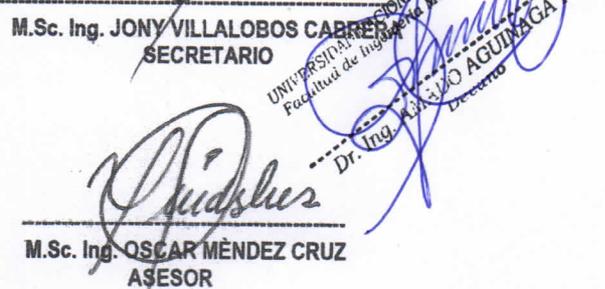
Siendo las *11:00 am* del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:


Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
PRESIDENTE


M.Sc. Ing. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA
MIEMBRO


M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA
SECRETARIO


M.Sc. Ing. OSCAR MÉNDEZ CRUZ
ASESOR



ANEXO 01

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, **MSC. OSCAR MENDEZ CRUZ**, usuario revisor del documento titulado: **“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DEL TRACTOR AGRÍCOLA JOHN DEERE 5090 DE LA EMPRESA PLANTACIONES DEL SOL- MOTUPE 2023”**

Cuyo autor es, **TESEN INGA CRISTIAN WILLIAM**, identificado con documento de identidad **N° 76507775**, declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **17%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque 18 de abril del 2024



MSC. OSCAR MENDEZ CRUZ

DNI:17900167

ASESOR

Se adjunta:

*Resumen del Reporte automático de similitudes

*Recibo Digital

ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DEL TRACTOR AGRÍCOLA JOHN DEERE 5090 DE LA EMPRESA PLANTACIONES DEL SOL – MOTUPE 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	17%	3%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet		3%
2	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet		1%
3	www.deere.com Fuente de Internet	Msc. Oscar Mendez Cruz ASESOR	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet		1%
5	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante		1%
6	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet		1%
7	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante		<1%



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Cristian William Tesen Inga
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO E...
Nombre del archivo: PROYECTOFINAL_CRISTIAN_18_03_2024.docx
Tamaño del archivo: 5.05M
Total páginas: 113
Total de palabras: 21,256
Total de caracteres: 118,650
Fecha de entrega: 19-mar.-2024 06:09p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2325196929



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

PROYECTO DE TESIS

Para optar el título profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO
EN LA METODOLOGÍA RCM PARA INCREMENTAR LA
DISPONIBILIDAD DEL TRACTOR AGRÍCOLA JOHN DEERE 5090
DE LA EMPRESA PLANTACIONES DEL SOL – MOTUPE 2023

Autor

Bach. Cristian William Tesen Inga

LAMBAYEQUE – PERÚ

Abril, 2023

Msc. Oscar Mendez Cruz
ASESOR