



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

Plan de mantenimiento preventivo para aumentar disponibilidad de maquinaria en una empresa agrícola en la región Lambayeque

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Montalvan Damian Willy Javier (orcid.org/0000-0003-1557-9038)

ASESOR(ES):

Dr. Davila Hurtado Fredy (orcid.org/0000-0001-8604-8811)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Mi proyecto de tesis va dedicado a las personas que más admiro mi madre Rosa Mercedes Damián S. y a mi padre Luis Alberto Montalván C., por su ejemplo de vida y lucha, sin dejar de agradecer a mis hermanos por su apoyo constante y las personas que me guiaron para lograr una de mis metas.

AGRADECIMIENTO

Agradecer al altísimo Dios todo poderoso por su guía en los días de lucha, agradecer a la plana docente de la universidad por su constante empeño en poder inculcar la mejor enseñanza, a mi asesor el Dr. Dávila Hurtado Fredy, agradecimiento total a las personas que me motivaron a salir adelante.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	10
3.1. Tipo y diseño de investigación	10
3.2. Variables y operacionalización.....	10
3.3. Población, muestra y muestreo.....	10
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	11
3.5. Procedimientos	12
3.6. Método de análisis de datos	13
3.7. Aspectos éticos.....	14

IV.	RESULTADOS	15
4.1.	Evaluación de los valores de la disponibilidad de la maquinaria agrícola de la empresa, tomando en cuenta su situación actual.....	15
4.2.	Determinar los sistemas críticos de la maquinaria mediante el método de Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF).....	25
4.3.	Determinar las actividades propias del mantenimiento según la criticidad de los sistemas de las máquinas.....	30
4.4.	Determinar en forma teórica los nuevos indicadores de disponibilidad	43
4.5.	Elaborar el presupuesto del plan de mantenimiento	45
4.5.1.	Costo de capacitaciones	45
4.5.2.	Costo de implementos de seguridad.....	45
4.5.3.	Costo de equipos y herramientas.....	46
4.5.4.	Costo de requerimientos	46
4.5.5.	Costo de materiales	47
4.5.6.	Presupuesto total	48
V.	DISCUSIÓN	49
VI.	CONCLUSIONES.....	53
VII.	RECOMENDACIONES.....	55
	REFERENCIAS.....	56
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores MTTR, MTBF y disponibilidad por cada equipo	16
Tabla 2. Promedios mensuales de los indicadores MTBF y MTTR.....	21
Tabla 3. Promedios mensuales de la Disponibilidad	23
Tabla 4. Fallas encontradas en los tractores.....	25
Tabla 5. Criterio de evaluación de AMEF	26
Tabla 6. AMEF para tractores CASE IH Puma 230BR	28
Tabla 7. AMEF para tractores CASE IH Puma 170BR.....	29
Tabla 8. Acciones recomendadas para fallas en los tractores CASE IH Puma 230BR	30
Tabla 9. Acciones recomendadas para fallas en los tractores CASE IH Puma 170BR	31
Tabla 10. Programa de mantenimiento rutinario	37
Tabla 11. Plan de acciones de mantenimiento para tractores agrícolas CASE IH 230BR y 170BR.....	39
Tabla 12. Cronograma de mantenimiento	41
Tabla 13. Indicadores proyectados	44
Tabla 14. Costo de capacitaciones	45
Tabla 15. Costo de implementos de seguridad	45
Tabla 16. Costo de equipos y herramientas.....	46
Tabla 17. Costo de requerimientos	46
Tabla 18. Costo de materiales.....	47
Tabla 19. Presupuesto total.....	48

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de la investigación	13
Figura 2. Promedios <i>mensuales</i> del <i>índice</i> MTBF por equipos	22
Figura 3. Promedios mensuales de la disponibilidad por equipos	24

RESUMEN

El presente estudio se planteó con la finalidad de elaborar un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de la maquinaria en una empresa agrícola en la región Lambayeque. Para lo cual se determinaron los valores iniciales de la disponibilidad, se realizó el método de Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) para determinar los sistemas críticos, se determinaron las actividades propias del mantenimiento, posteriormente se determinaron de forma teórica los nuevos indicadores de disponibilidad para finalmente elaborar el presupuesto. La metodología empleada para su desarrollo fue una investigación del tipo aplicada, con un diseño no experimental en la que como resultados se obtuvo que el MTTR inicial fue de 13.67 horas y el proyectado fue de 7.87, el MTBF inicial fue de 160.10 y el proyectado fue de 165.89 y por último la disponibilidad inicial fue de 90.59% y la proyectada fue de 95.20%, obteniendo un aumento de 4.61% en la disponibilidad. Se concluyó que un plan de mantenimiento correctamente elaborado en base a las fallas encontradas, a un mantenimiento rutinario y a las horas de trabajo se logra mejorar los indicadores y por consiguiente incrementar los valores de disponibilidad.

Palabras clave: Mantenimiento, disponibilidad, AMEF

ABSTRACT

The purpose of this study was to develop a preventive maintenance plan to increase the availability of machinery in an agricultural company in the Lambayeque region. For which the initial values of availability were determined, the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method was used to determine the critical systems, the maintenance activities were determined, then the new availability indicators were determined theoretically and finally the budget was elaborated.

The methodology used for its development was an applied type of research, with a non-experimental design in which the results showed that the initial MTTR was 13.67 hours and the projected one was 7.87, the initial MTBF was 160.10 and the projected one was 165.89 and finally the initial availability was 90.59% and the projected one was 95.20%, obtaining an increase of 4.61% in the availability. It was concluded that a correctly elaborated maintenance plan based on the failures found, routine maintenance and working hours, improves the indicators and consequently increases the availability values.

Keywords: Maintenance, availability, AMEF

I. INTRODUCCIÓN

Es innegable que los procesos productivos y activos de la industria han ido evolucionando con el transcurrir del tiempo, esto exige que las industrias afronten una constante exigencia para estar al día con lo antes mencionado y poder ser lo suficientemente competitivas (Martins et al. 2020). El mantenimiento también ha afrontado esta situación actualizándose constantemente (Merkt 2019). Anteriormente, el mantenimiento era tratado como un aspecto relacionado con el costo, bajo un enfoque tradicional, a diferencia de los tiempos actuales, en donde se sabe que las tareas y actividades de mantenimiento tienen una gran influencia directa tanto en calidad como en producción, es por eso que es importante tratarlo como una inversión (Boero 2020) ; (Bengtsson y Lundström, 2018).

Tanto la maquinaria agrícola como la maquinaria pesada están cada vez más equipados y desarrollados, haciendo que la operación de esta maquinaria sea ejecutada por personal que esté totalmente calificado tanto en conocimiento y como en manejo de dichas máquinas (Sitompul y Wallmyr, 2019). Una adecuada gestión de estos equipos es vital en todas las etapas del proyecto, en la cual se incluye el mantenimiento (Shehadeh et al. 2022); (Errandonea, Beltrán y Arrizabalaga 2020) y (Dzulkifli et al., 2021).

En el Perú, el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2019) viene realizando donaciones de maquinarias y equipos que permitieron acelerar los trabajos y por tanto, que las tareas agrícolas sean cumplidas de manera oportuna, eficiente y lo más seguras posibles. Por otro lado, según MIDAGRI (2018) el mantenimiento de la maquinaria agrícola en el Perú recibe la importancia que merece puesto que, se ha buscado lograr un convenio con el Gobierno de Italia para la instalación de un Centro de Mecanización Agrícola que permitió transmitir los conocimientos de todo lo involucrado con la tecnología para beneficiarse de todas las potencialidades agrícolas como la mecanización agrícola impulsando una mayor producción agropecuaria.

Actualmente en la empresa agrícola se observa que la maquinaria agrícola presenta continuas fallas impidiendo que se encuentren operativas, lo que se conoce como paradas de máquinas. Esta problemática se agrava puesto que el único mantenimiento que se aplica es el correctivo, el cual es aplicado sólo cuando sucede una avería, siendo conocido que este tipo de mantenimiento por sí solo, no es suficiente para mantener a la maquinaria en un estado óptimo. Además, la no existencia de una política de mantenimiento, la cual consiste en planificar, programar e inspeccionar tareas de mantenimiento, conlleva a que no se pueda detectar futuras fallas ni tampoco incrementar la vida útil de los equipos, inclusive se pone en riesgo la integridad y salud de los operadores.

Por lo antes mencionado, se genera una baja disponibilidad de las máquinas reduciendo la probabilidad de que las mismas ejecuten las tareas para las cuales han sido adquiridas, además de originar pérdidas en la producción lo que se traduce como pérdidas económicas.

Es por ello que el mantenimiento preventivo es importante en toda industria, ya que permite tener no solo un conocimiento detallado sino también un control sobre el estado de la maquinaria e inventario, garantizando que las tareas sean ejecutadas dentro de los plazos establecidos de manera segura y fiable, es por eso que se planteó el siguiente problema: ¿En cuánto incrementará la disponibilidad de la maquinaria agrícola mediante un plan de mantenimiento preventivo? La hipótesis propuesta fue: El plan de mantenimiento preventivo incrementará de manera significativa la disponibilidad de la maquinaria agrícola. Para validar la hipótesis se plantea como objetivo general: Elaborar un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de la maquinaria, y como objetivos específicos: Evaluar los valores de la disponibilidad de la maquinaria agrícola de la empresa, tomando en cuenta su situación actual; Determinar los sistemas críticos de la maquinaria mediante el método de Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF); Determinar las actividades propias del mantenimiento según la criticidad de los sistemas de las máquinas; Determinar en

forma teórica los nuevos indicadores de disponibilidad y Elaborar el presupuesto del plan de mantenimiento.

Por todo lo expuesto, el presente estudio se centra en el plan de mantenimiento preventivo que se justifica puesto que se busca dar solución a la problemática de la disponibilidad de maquinaria agrícola, reduciendo costos y ayudando a generar más ingresos; brindando conocimientos sobre el mantenimiento preventivo, las ventajas que ofrece, qué aspectos considerar, como implementarlo y además va ayudar a garantizar mayor seguridad, mejorando el entorno de trabajo logrando un beneficio para los operadores, jefes de área, mecánicos y todo aquel que esté involucrado en el mantenimiento.

II. MARCO TEÓRICO

Dentro de los trabajos de investigación internacionales anteriores tenemos:

En la investigación propuesta por Moscoso et al. (2020) tuvo como objeto de estudio proponer un arquetipo integral de gestión de mantenimiento utilizando los principios de mantenimiento basado en la confiabilidad y mantenimiento productivo total, y de esta forma aumentar la disponibilidad de los equipos de la empresa de manufactura, para esto se hizo un diagnóstico inicial de la empresa, para saber en qué estado se encuentra el mantenimiento dentro de esta, posteriormente se realizó la implementación de ambas metodologías del mantenimiento, de esta forma se obtuvo un incremento de disponibilidad de horas en un 15%, esto se traduce en aproximadamente 30 horas de producción, además se redujo en número prioritario de riesgo en un 10%.

Palomino-Valles et al. (2020) tiene como principal objetivo brindar un estudio de mantenimiento centrado en la confiabilidad y mantenimiento productivo total. La metodología empleada fue una investigación del tipo aplicada, de diseño no experimental y de nivel explicativo, como resultados obtuvo que la disponibilidad incrementó a 81%, a su vez el tiempo entre fallas se redujo de 13 horas a 7, esto se traduce en una reducción de tiempo muerto del 15%. Concluyendo que la relación entre las metodologías TPM y RCM permite un incremento de operadores expertos rendimiento e interacción con las máquinas con el objetivo de llegar a cero defectos.

En el trabajo de investigación realizado por Jufri y Siswanto (2020) tuvieron como principal objetivo controlar las fallas producidas por las máquinas de molienda de crudo, considerando la disponibilidad y los días de operación. Para desarrollar este objetivo, se realizó un muestreo inicial del estado de la fábrica, así como del interés tomado al mantenimiento, posterior a esto se crea un nuevo plan de mantenimiento, en este caso se simuló 3 escenarios posibles posterior a su implementación, teniendo como resultado final que el tercer escenario es el óptimo, puesto que considerando la disponibilidad promedio de 72,83% en el día 239, no se alcanza la

disponibilidad esperada de 75%, en la simulación se alcanza una disponibilidad de 83,04% en el día 255.

Kolte y Dabade (2017) tuvieron como objetivo implementar un programa de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad operativa o el tiempo de actividad de las máquinas. El tipo de investigación es aplicada, con nivel explicativa y diseño pre experimental, en la que obtuvieron como resultados que en quince días existe un incremento del 5% de la disponibilidad, el MTBF aumenta en 40,6 minutos y el MTTR tiene una disminución de 3,5 minutos. Por tanto, como conclusión obtuvieron que después de implementar un mantenimiento preventivo adecuado es posible lograr una mejora significativa en la disponibilidad de la máquina.

En la investigación realizada por Flores et al. (2020) tiene como principal objetivo implementar una herramienta Excel considerando criterios de criticidad y disponibilidad para crear modelos de mantenimiento para cada equipo, para esto se consideraron los mantenimientos brindados por la empresa, a su vez el objetivo de disponibilidad que se desea alcanzar, por lo que se tuvo como resultado que al aplicar la herramienta creada utilizando Excel, se obtuvo una disponibilidad del 95,51% considerando todas las variables necesarias para el cálculo adecuado.

Dentro de los trabajos de investigación nacionales anteriores tenemos:

Talabera (2019) tuvo el objetivo de determinar en qué medida la implementación de mantenimiento preventivo logra un aumento de la disponibilidad de las máquinas críticas de la empresa Nuevo Mundo S.A. asimismo, el tipo de investigación fue aplicada, se consideró también el diseño cuasi experimental y un nivel de investigación explicativo y con un enfoque cuantitativo, obteniendo como resultados que la disponibilidad promedio de las máquinas críticas aumentó en un 15,63%, la confiabilidad promedio ha aumentado en 97,89 horas por falla, la mantenibilidad promedio ha disminuido en 3,20 horas por falla. Finalmente concluye indicando que fue posible aumentar la disponibilidad de las máquinas identificadas como las más

críticas de la empresa, todo ello gracias a la correcta implementación del mantenimiento preventivo, logrando de esa manera reducir las horas de paro por fallas.

En el trabajo de investigación realizado por Reynoso (2021) tuvo como objetivo principal implementar un plan de mantenimiento y ante ello evaluar la influencia sobre la disponibilidad mecánica de las líneas de la empresa. El tipo de investigación correspondiente al estudio es aplicado, con un diseño experimental y de nivel explicativo, en la que obtuvo como resultado un aumento de la disponibilidad del 8,44% para un volquete y del 7% para una excavadora, además de una disminución de horas de parada de 191,72 en un volquete y 1124,73 en una excavadora. Finalmente concluyeron que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo tiene un impacto positivo en la disponibilidad mecánica.

En la investigación realizada por Mosquera (2018) tiene como principal objetivo realizar una implementación de un plan de mantenimiento preventivo para así poder incrementar la disponibilidad del cargador frontal 962H. La investigación es de tipo tecnológica, diseño pre experimental, en la que tiene como resultado un aumento de la disponibilidad mecánica del 7% en el cargador frontal Caterpillar modelo 962H. Finalmente concluye que la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo permite incrementar la disponibilidad.

En el trabajo de investigación realizado por Castro (2021) el objetivo radica en mejorar la disponibilidad de las bombas mediante la correcta implementación de un plan de mantenimiento preventivo. La investigación es de tipo aplicada, de nivel explicativo, con un enfoque cuantitativo y con un diseño preexperimental, en la que tiene como resultado una mejora de la disponibilidad del 4%, además de un incremento de la confiabilidad de 96,95 horas y una disminución de la mantenibilidad de 5,05 horas. Finalmente concluyen que implementar un plan de mantenimiento tiene una influencia positiva y significativa en la disponibilidad de las bombas Gorman Rupp.

Ypanaqué et al. (2017) en su investigación tuvieron como objetivo principal mejorar tanto la confiabilidad como la disponibilidad de la grúa de 50 toneladas. El tipo de

investigación es aplicada, nivel explicativo y de diseño pre experimental en la que obtuvieron como resultados un aumento de la disponibilidad y confiabilidad inicial de 0,04% y 3,26%. Se concluyó que el MP mejoró la disponibilidad y confiabilidad y redujo las paradas inesperadas.

El mantenimiento puede describirse como la armonización efectiva de todos los procesos gerenciales, técnicos y administrativos que aseguran que el activo de una planta industrial permanezca o sea restaurado rápidamente a un estado de desempeño operativo satisfactorio (Yunusa-Kaltungo y Labib, 2021); (Silvestri et al. 2020) y (Bokrantz et al. 2020).

Según Boero (2020), Patel et al. (2018) el mantenimiento preventivo conlleva conocer el estado o situación actual de cada maquinaria o equipo, así como también de sus componentes, además de presentar las siguientes ventajas: Aprovechar la intervención para poder realizar varias reparaciones, disminuir la frecuencia de paradas, disponer de repuestos necesarios, intervenciones en momentos oportunos de mantenimiento y producción, evitar un aumento de las averías, disminuye los riesgos y lograr una correcta y óptima distribución del trabajo de mantenimiento. Así mismo Huang et al. (2020) afirma que el mantenimiento preventivo mantiene una máquina de manera proactiva, incluso si no falla, para mantener las máquinas en el nivel de confiabilidad deseado. Dui et al. (2021) menciona que el mantenimiento preventivo de otros componentes se puede realizar al mismo tiempo que se reparan los componentes defectuosos ahorrando tiempo de mantenimiento, y los componentes que pueden fallar pueden reemplazarse antes de la próxima falla del sistema para garantizar la confiabilidad del sistema a largo plazo y Yang et al. (2019) menciona que es una forma eficaz de reducir los costes de funcionamiento de los activos industriales, que se ha adoptado ampliamente en diversas áreas industriales.

Según Basri et al. (2017) y Zhu et al. (2019) los objetivos básicos de las políticas de mantenimiento preventivo son reducir las averías no planificadas del sistema y aumentar el tiempo operativo disponible. Por otra parte, Medaković y Marić (2018) afirma que el objetivo principal del mantenimiento preventivo es maximizar la

disponibilidad de los equipos y maquinarias minimizando su desgaste y deterioro del mismo modo que Tortora et al. (2021) y Prajapat et al. (2017) señalan que favorece a un alto rendimiento empresarial, garantizar la confiabilidad y disponibilidad del sistema, además de operaciones sostenibles y seguras.

Boero (2020) afirma que el mantenimiento preventivo tiene las siguientes desventajas: Costos elevados por capacitaciones o entrenamientos para el personal, el inicio del programa de mantenimiento preventivo conlleva un incremento de costos, así como también implica tiempo extra en el trabajo del personal de mantenimiento ya que se tiene que buscar fichas técnicas, manuales, inventarios, historial, además de actualizar la información encontrada y generar procedimientos y transferir información recolectada demanda de mucho tiempo además señala que en un plan de mantenimiento preventivo se debe precisar las técnicas que serán usadas para detectar las posibles fallas o anomalías de funcionamiento y la frecuencia con las que estas serán realizadas. Dentro de las técnicas más usuales utilizadas para la detección de anomalías están: las inspecciones visibles; en las que se verifican los posibles defectos de los componentes del equipo. Se dividen en externa, la cual es mucho más sencilla y puede ser realizada a simple vista o con un instrumento sencillo, y la interna, la cual accede a partes no tan fácil de llegar en el interior del equipo y que para realizarla se puede necesitar de instrumentos más sofisticados, medición de temperatura; en la que se tiene principal atención en temperaturas superiores a las que se presentan normalmente en el funcionamiento, ya que puede indicar ciertas anomalías originadas por falta de lubricación, rozamientos y/o pérdidas, control de lubricación; en la que un excesivo consumo de aceite indica posibles problemas que deben ser analizados además de analizar también el estado del lubricante, medición de vibraciones; la cual brinda información que sirve para la detección de los elementos que empiezan a deteriorarse, control de fisuras; que posibilita la toma de decisiones sobre sustituciones de la parte dañada. Estos controles son ejecutados mediante ultrasonido, corrientes inducidas, líquidos penetrantes y radiografías y el control de la corrosión; el cual es relacionado con ultrasonidos, radiografías y con testigos.

Según Kostrzewski et al. (2020) la disponibilidad es igual a la probabilidad de que una unidad/máquina/medio de transporte funcione correctamente y sin averías. Es decir, el tiempo en el que una máquina o equipo está disponible para operar.

$$D = \frac{\textit{Horas trabajadas}}{\textit{Horas trabajadas} + \textit{Horas en reparación}} \quad (1)$$

Según Ribeiro et al. (2019) la disponibilidad puede ser calculada también por el Tiempo Medio Para Reparar o Mean Time To Repair (MTTR) y el Tiempo Medio Entre Fallas o Mean Time Between Failures (MTBF).

$$D = \frac{\textit{MTBF}}{\textit{MTBF} + \textit{MTTR}} \quad (2)$$

Dónde:

El Tiempo Medio para Fallar o Mean Time Between Failures (MTBF) da a conocer el tiempo que transcurre, en promedio, entre dos faltas consecutivas. Para un MTBF se calcula por la relación entre las horas de funcionamiento y el número de fallas (Ribeiro et al. 2019); (Ben 2022).

$$\textit{MTBF} = \frac{\textit{Horas trabajadas}}{\textit{N}^\circ \textit{ de fallas}} \quad (3)$$

El Tiempo Medio Para Reparar o Mean Time To Repair (MTTR) es el tiempo medio necesario para reparar una avería. Para un período dado, el MTTR se calcula a través de la relación entre el tiempo utilizado para reparar las fallas (TF) y el número de fallas (Ribeiro et al. 2019); (Ben 2022).

$$\textit{MTTR} = \frac{\textit{Tiempo total de reparaciones}}{\textit{Número de fallas}} \quad (4)$$

Klathae y Ruangchoengchum (2019) señalan que mediante la evaluación del tiempo medio de reparación (MTTR) y el tiempo medio entre fallas (MTBF), el mantenimiento es un gran aliado en reducir el deterioro y la interferencia en maquinaria pesada.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Según Arias y Covinos (2021) la investigación aplicada usa y aplica los conocimientos de la investigación básica para poder dar respuesta a problemas de la realidad o prácticos con base en hallazgos, descubrimientos o soluciones. El presente estudio es del tipo aplicado ya que empleó la información y conocimientos relacionados con el mantenimiento preventivo con el objetivo de buscar solucionar problemas de forma práctica.

En una investigación no experimental las variables no se someten a condiciones experimentales y no se altera ninguna de las situaciones (Arias y Covinos, 2021). Por lo que en la presente investigación no se manipularon ninguna de las dos variables puesto que ha sido una propuesta de plan de mantenimiento.

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente: Mantenimiento preventivo, el cual conlleva conocer el estado o situación actual de cada maquinaria o equipo, así como también de sus componentes (Boero 2020).

Variable dependiente: Disponibilidad, tiempo en el que una unidad/máquina/medio de transporte funcione correctamente y sin averías (Kostrzewski et al. 2020).

3.3. Población, muestra y muestreo

Población: Arias y Covinos (2021) indica que la población son aquellos componentes o elementos que se quieren investigar en función del criterio del investigador. Para el presente estudio se tomó como población a los tractores de la región Lambayeque.

Muestra: Arias y Covinos (2021) afirma que la muestra es esa fracción o parte representativa de la población. Para el presente estudio la muestra la conforman los 17 tractores agrícolas de la marca CASEIH, divididas en dos modelos PUMA 170 BR

y PUMA 230 BR; los cuales pertenecen a una empresa agrícola en la región Lambayeque.

Muestreo: Arias y Covinos (2021) señalan que el muestreo no probabilístico elige a una población en base al juicio del investigador o por sus características en común, además de no usar algún método de muestreo estadístico. En la investigación el muestreo que se realiza es no probabilístico por conveniencia.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Ñaupas et al. (2018) afirma que las técnicas de investigación son aquellos métodos particulares o especiales que se van aplicando en las etapas de la investigación científica.

Observación directa: El investigador en base a su sentido de observación y sin terceros involucrados, recopila información (Arias y Covinos, 2021). Esta técnica fue utilizada para recoger y tomar datos que luego fueron registrados para un análisis posterior.

Encuesta: Herramienta direccionada a personas y que brinda información acerca de sus percepciones, comportamientos u opiniones, pudiendo tener resultados cuantitativos o cualitativos (Arias y Covinos, 2021). Está técnica fue empleada para realizar preguntas al personal laboral de la empresa acerca de los tractores.

Análisis documental: Proceso de revisión en el que, a través de documentos, fuentes primarias y principales, se obtienen datos que le permiten al investigador presentar resultados (Arias y Covinos, 2021). Técnica que fue utilizada para una revisión, análisis y registro de información de la maquinaria agrícola, la cual proviene de fuentes fiables.

Instrumentos

Ñaupas et al. (2018) afirma que los instrumentos son aquellas herramientas materiales o conceptuales que sirven a las técnicas de investigación.

Guía de observación: Permite realizar una observación y poder identificar las características, comportamiento y funcionamiento del objeto que está siendo estudiado (Arias y Covinos, 2021). Los instrumentos que fueron llenados y utilizados por el investigador fueron: el check list, en la que se registraron datos de la actual situación del mantenimiento de los tractores agrícolas, y la ficha de recolección de datos, que fue un formato que permitió tener una medición de la disponibilidad.

Cuestionario: Grupo de preguntas presentadas y enumeradas en la que no existen respuestas correctas o incorrectas (Arias y Covinos, 2021). Para la presente investigación se empleó el cuestionario para que, mediante diversas preguntas al personal, se pueda conocer el mantenimiento que se le da y el estado de tractores agrícolas de la empresa.

Guía de revisión documental: Permite recolectar datos e información de fuentes consultadas confiables (Arias y Covinos, 2021). Para la presente investigación se utilizó la ficha de registro, en el cual el investigador colocó la información necesaria acerca de la maquinaria agrícola provenientes de los fabricantes.

3.5. Procedimientos

Se inició buscando y analizando investigaciones previas las cuales sean similares al presente trabajo de estudio. Para desarrollar las teorías en las que se basa la presente investigación, se realizó también la búsqueda de libros, tesis y artículos de revistas, ya sea en español o inglés y en base de datos confiables.

Luego, se diagnosticó la situación actual del mantenimiento de la maquinaria agrícola mediante el instrumento llamado guía de observación el cual contó con la información necesaria y precisa. Con los tiempos operativos, tiempos inoperativos y el número de

fallas se pudo obtener un diagnóstico de los indicadores de la disponibilidad inicial de la maquinaria agrícola.

En base al análisis de los sistemas críticos se definió las actividades de mantenimiento, para luego determinar los nuevos indicadores de disponibilidad y realizar la respectiva comparación. Finalmente, se determinó el presupuesto.

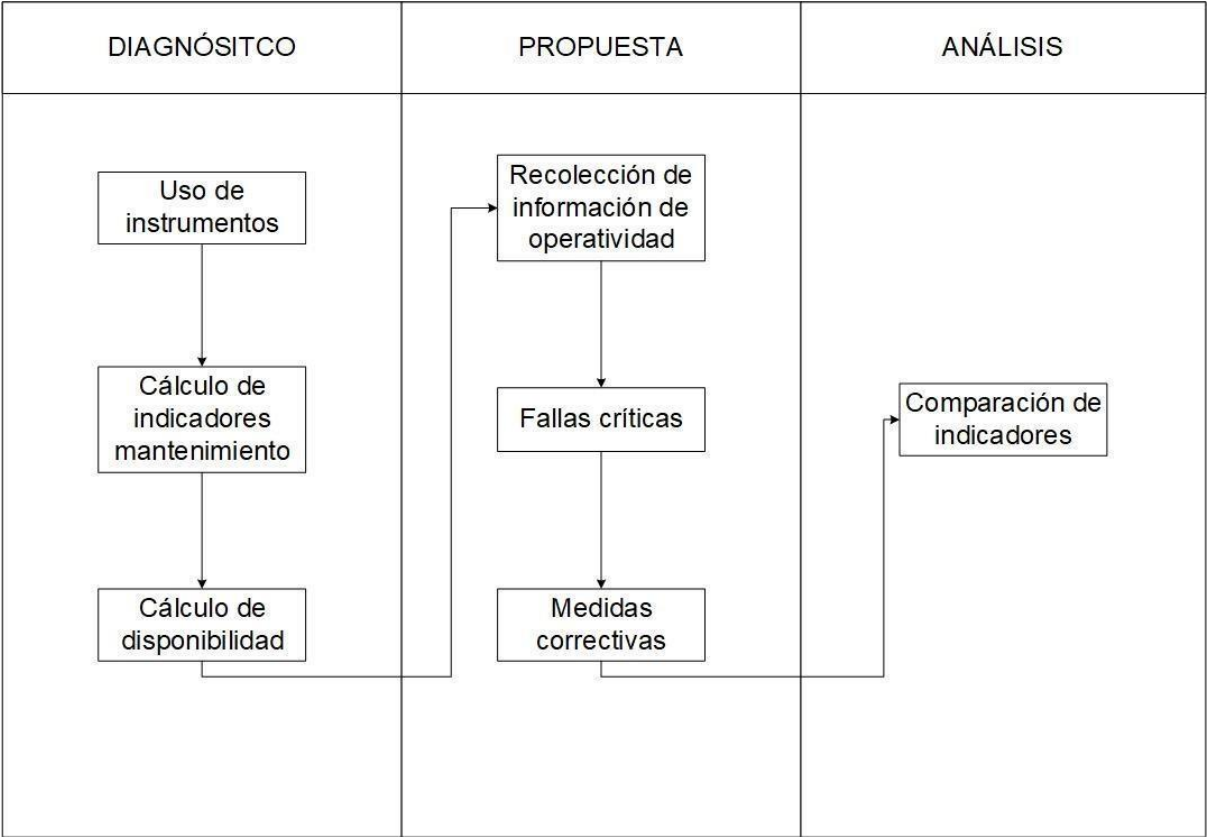


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de la investigación

3.6. Método de análisis de datos

En el análisis de datos cuantitativos, se utilizaron herramientas computacionales y se aplicaron técnicas de estadísticas descriptivas e inferenciales, siguiendo la metodología propuesta por (Ñaupas et al., 2018). En el contexto de este estudio, se llevó a cabo un análisis descriptivo que involucró la creación de gráficos de barras para

visualizar las tendencias en los datos. Además, se utilizó Microsoft Excel para realizar el análisis estadístico descriptivo.

3.7. Aspectos éticos

El presente trabajo se ha elaborado cumpliendo con la ética profesional, con solventes principios morales individuales y de la universidad a la que represento. Además, la información utilizada será exclusivamente para fines académicos por lo que el autor de la presente tesis se compromete a respetar la confidencialidad y darle un adecuado uso. Por último, se respeta los derechos del autor citando y referenciando toda información tomada de otros autores.

IV. RESULTADOS

4.1. Evaluación de los valores de la disponibilidad de la maquinaria agrícola de la empresa, tomando en cuenta su situación actual

El presente estudio realizó el diagnóstico de 17 tractores agrícolas de la marca CASE IH los cuales se dividen en dos modelos: tractores CASE IH Puma 230BR con 4 equipos con códigos internos del 259AO hasta 262AO, los cuales se emplean para la cosecha mecanizada de caña de azúcar, la fertilización de campo agrícola y el subsolado de suelo; y tractores CASE IH Puma 170BR con 13 equipos con códigos internos del 263AO hasta 275AO, los cuales se emplean para mover carreteras de tapado de huella de pivote con un máximo de 4 toneladas, el subsolado de suelo de menor tamaño de implemento acoplado, la fertilización de campo agrícola de menor capacidad de carga y para la aplicación de rayado de suelo para siembra de caña.

Indicadores MTTR, MTBF y disponibilidad por cada equipo

Para determinar los indicadores MTTR y MTBF, así como los valores de disponibilidad se aplican las ecuaciones (2), (3) y (4). Por ejemplo, para determinar el MTBF, MTTR y la disponibilidad del equipo con código 259AO en el mes de enero se calcula de la siguiente manera:

- Horas programadas: 744
- Horas trabajadas: 677.25
- Horas paradas: 66.75
- Número de fallas: 5

$$MTBF = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} \quad (3)$$

$$MTBF = \frac{677.25}{5}$$

$$MTBF = 135.45 \text{ horas}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones}}{\text{Número de fallas}} \quad (4)$$

$$MTTR = \frac{66.75}{5}$$

$$MTTR = 13.35 \text{ horas}$$

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2)$$

$$D = \frac{135.45}{135.45 + 13.35}$$

$$D = 91.03\%$$

El mismo procedimiento se aplica para cada tractor agrícola del mes de enero a setiembre del año 2022 y cuyos valores se muestran en la Tabla 1, en la que se puede observar que existen equipos con un elevado número de horas paradas, lo que afecta directamente los valores de disponibilidad.

Tabla 1. Indicadores MTTR, MTBF y disponibilidad por cada equipo

EQUIP	MES	HORAS PROGRAMADAS	HORAS TRABAJADAS	HORAS PARADAS	N° FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
259AO	Enero	744	677.25	66.75	5	135.45	13.35	91.03%
	Febrero	672	565.13	106.87	16	35.32	6.68	84.10%
	Marzo	744	657.66	86.34	7	93.95	12.33	88.40%
	Abril	720	640.8	79.2	5	128.16	15.84	89.00%

	Mayo	744	618.3	125.7	6	103.05	20.95	83.10%
	Junio	720	682.4	37.6	3	227.47	12.53	94.78%
	Julio	744	697.87	46.13	4	174.47	11.53	93.80%
	Agosto	744	628.3	115.7	18	34.91	6.43	84.45%
	Setiembre	720	682.66	37.34	5	136.53	7.47	94.81%
260AO	Enero	744	711.24	32.76	6	118.54	5.46	95.60%
	Febrero	672	651.4	20.6	5	130.28	4.12	96.93%
	Marzo	744	713.24	30.76	6	118.87	5.13	95.87%
	Abril	720	673.54	46.46	6	112.26	7.74	93.55%
	Mayo	744	660.85	83.15	10	66.09	8.32	88.82%
	Junio	720	680.57	39.43	6	113.43	6.57	94.52%
	Julio	744	716.32	27.68	4	179.08	6.92	96.28%
	Agosto	744	513.4	230.6	23	22.32	10.03	69.01%
	Setiembre	720	698.23	21.77	4	174.56	5.44	96.98%
261AO	Enero	744	735.5	8.5	8	91.94	1.06	98.86%
	Febrero	672	581.8	90.2	3	193.93	30.07	86.58%
	Marzo	744	712.73	31.27	8	89.09	3.91	95.80%
	Abril	720	690.86	29.14	4	172.72	7.29	95.95%
	Mayo	744	692.5	51.5	3	230.83	17.17	93.08%
	Junio	720	601.75	118.25	12	50.15	9.85	83.58%
	Julio	744	699	45	11	63.55	4.09	93.95%
	Agosto	744	704.24	39.76	23	30.62	1.73	94.66%
	Setiembre	720	476.73	243.27	14	34.05	17.38	66.21%
262AO	Enero	744	612.18	131.82	5	122.44	26.36	82.28%
	Febrero	672	647.32	24.68	11	58.85	2.24	96.33%
	Marzo	744	688.56	55.44	10	68.86	5.54	92.55%
	Abril	720	625.03	94.97	15	41.67	6.33	86.81%
	Mayo	744	661.23	82.77	15	44.08	5.52	88.88%
	Junio	720	696.08	23.92	9	77.34	2.66	96.68%
	Julio	744	671.63	72.37	8	83.95	9.05	90.27%
	Agosto	744	726.15	17.85	7	103.74	2.55	97.60%
	Setiembre	720	535.45	184.55	20	26.77	9.23	74.37%
263AO	Enero	744	661.26	82.74	5	132.25	16.55	88.88%
	Febrero	672	631.5	40.5	3	210.50	13.50	93.97%
	Marzo	744	629.3	114.7	7	89.90	16.39	84.58%
	Abril	720	709.93	10.07	3	236.64	3.36	98.60%
	Mayo	744	646.4	97.6	6	107.73	16.27	86.88%
	Junio	720	714.81	5.19	2	357.41	2.60	99.28%

	Julio	744	731.83	12.17	4	182.96	3.04	98.36%
	Agosto	744	597.65	146.35	10	59.77	14.64	80.33%
	Setiembre	720	681.47	38.53	3	227.16	12.84	94.65%
264AO	Enero	744	729.97	14.03	3	243.32	4.68	98.11%
	Febrero	672	667.37	4.63	5	133.47	0.93	99.31%
	Marzo	744	735.33	8.67	7	105.05	1.24	98.83%
	Abril	720	688.47	31.53	6	114.75	5.25	95.62%
	Mayo	744	715.9	28.1	5	143.18	5.62	96.22%
	Junio	720	673.22	46.78	7	96.17	6.68	93.50%
	Julio	744	741.48	2.52	4	185.37	0.63	99.66%
	Agosto	744	735.94	8.06	12	61.33	0.67	98.92%
	Setiembre	720	316.51	403.49	1	316.51	403.49	43.96%
265AO	Enero	744	687.58	56.42	5	137.52	11.28	92.42%
	Febrero	672	625.62	46.38	3	208.54	15.46	93.10%
	Marzo	744	597.37	146.63	8	74.67	18.33	80.29%
	Abril	720	677.29	42.71	3	225.76	14.24	94.07%
	Mayo	744	599.27	144.73	7	85.61	20.68	80.55%
	Junio	720	714.57	5.43	1	714.57	5.43	99.25%
	Julio	744	679.37	64.63	4	169.84	16.16	91.31%
	Agosto	744	719.3	24.7	2	359.65	12.35	96.68%
	Setiembre	720	688.57	31.43	2	344.29	15.72	95.63%
266AO	Enero	744	709.24	34.76	4	177.31	8.69	95.33%
	Febrero	672	653.41	18.59	1	653.41	18.59	97.23%
	Marzo	744	586.26	157.74	7	83.75	22.53	78.80%
	Abril	720	693.57	26.43	3	231.19	8.81	96.33%
	Mayo	744	706.74	37.26	3	235.58	12.42	94.99%
	Junio	720	700.4	19.6	4	175.10	4.90	97.28%
	Julio	744	706.77	37.23	4	176.69	9.31	95.00%
	Agosto	744	557.19	186.81	11	50.65	16.98	74.89%
267AO	Setiembre	720	702.91	17.09	2	351.46	8.55	97.63%
	Enero	744	731.59	12.41	5	146.32	2.48	98.33%
	Febrero	672	659.66	12.34	3	219.89	4.11	98.16%
	Marzo	744	579.63	164.37	10	57.96	16.44	77.91%
	Abril	720	684.32	35.68	4	171.08	8.92	95.04%
	Mayo	744	597.7	146.3	9	66.41	16.26	80.34%
	Junio	720	698.36	21.64	5	139.67	4.33	96.99%
	Julio	744	722.99	21.01	5	144.60	4.20	97.18%
Agosto	744	539.21	204.79	13	41.48	15.75	72.47%	

	Setiembre	720	716.76	3.24	1	716.76	3.24	99.55%
268AO	Enero	744	700.37	43.63	5	140.07	8.73	94.14%
	Febrero	672	633.66	38.34	4	158.42	9.59	94.29%
	Marzo	744	724.76	19.24	2	362.38	9.62	97.41%
	Abril	720	689.77	30.23	4	172.44	7.56	95.80%
	Mayo	744	562.15	181.85	13	43.24	13.99	75.56%
	Junio	720	705.2	14.8	3	235.07	4.93	97.94%
	Julio	744	728.37	15.63	4	182.09	3.91	97.90%
	Agosto	744	689.202	54.798	5	137.84	10.96	92.63%
	Setiembre	720	692.86	27.14	1	692.86	27.14	96.23%
269AO	Enero	744	691.26	52.74	5	138.25	10.55	92.91%
	Febrero	672	663.56	8.44	8	82.95	1.06	98.74%
	Marzo	744	637.48	106.52	10	63.75	10.65	85.68%
	Abril	720	623.26	96.74	7	89.04	13.82	86.56%
	Mayo	744	638.35	105.65	8	79.79	13.21	85.80%
	Junio	720	634.42	85.58	7	90.63	12.23	88.11%
	Julio	744	698.83	45.17	5	139.77	9.03	93.93%
	Agosto	744	597.53	146.47	13	45.96	11.27	80.31%
	Setiembre	720	701.86	18.14	5	140.37	3.63	97.48%
270AO	Enero	744	714.04	29.96	4	178.51	7.49	95.97%
	Febrero	672	666.37	5.63	1	666.37	5.63	99.16%
	Marzo	744	675.35	68.65	7	96.48	9.81	90.77%
	Abril	720	680.55	39.45	5	136.11	7.89	94.52%
	Mayo	744	641.5	102.5	9	71.28	11.39	86.22%
	Junio	720	707.09	12.91	1	707.09	12.91	98.21%
	Julio	744	669.5	74.5	7	95.64	10.64	89.99%
	Agosto	744	587.59	156.41	13	45.20	12.03	78.98%
	Setiembre	720	692.4	27.6	3	230.80	9.20	96.17%
271AO	Enero	744	684.88	59.12	6	114.15	9.85	92.05%
	Febrero	672	653.37	18.63	4	163.34	4.66	97.23%
	Marzo	744	717.44	26.56	5	143.49	5.31	96.43%
	Abril	720	646.3	73.7	6	107.72	12.28	89.76%
	Mayo	744	594.65	149.35	11	54.06	13.58	79.93%
	Junio	720	693.69	26.31	5	138.74	5.26	96.35%
	Julio	744	706.75	37.25	5	141.35	7.45	94.99%
	Agosto	744	606.88	137.12	12	50.57	11.43	81.57%
	Setiembre	720	714.25	5.75	1	714.25	5.75	99.20%
272AO	Enero	744	736.58	7.42	7	105.23	1.06	99.00%
	Febrero	672	664.12	7.88	7	94.87	1.13	98.83%

	Marzo	744	743.8	0.2	4	185.95	0.05	99.97%
	Abril	720	702.37	17.63	15	46.82	1.18	97.55%
	Mayo	744	729.57	14.43	10	72.96	1.44	98.06%
	Junio	720	704.01	15.99	5	140.80	3.20	97.78%
	Julio	744	237.33	506.67	4	59.33	126.67	31.90%
	Agosto	744	0	744	4	0.00	186.00	0.00%
	Setiembre	720	714.81	5.19	2	357.41	2.59	99.28%
273AO	Enero	744	708.84	35.16	5	141.77	7.03	95.27%
	Febrero	672	630.27	41.73	6	105.05	6.96	93.79%
	Marzo	744	667.59	76.41	6	111.27	12.74	89.73%
	Abril	720	676.81	43.19	5	135.36	8.64	94.00%
	Mayo	744	649.39	94.61	8	81.17	11.83	87.28%
	Junio	720	695.22	24.78	3	231.74	8.26	96.56%
	Julio	744	728.1	15.9	3	242.70	5.30	97.86%
	Agosto	744	598.87	145.13	14	42.78	10.37	80.49%
Setiembre	720	703.5	16.5	2	351.75	8.25	97.71%	
274AO	Enero	744	730.215	13.785	4	182.55	3.45	98.15%
	Febrero	672	652.88	19.12	4	163.22	4.78	97.15%
	Marzo	744	716.1	27.9	6	119.35	4.65	96.25%
	Abril	720	685.24	34.76	8	85.66	4.35	95.17%
	Mayo	744	449.83	294.17	5	89.97	58.83	60.46%
	Junio	720	680.83	39.17	7	97.26	5.60	94.56%
	Julio	744	738.22	5.78	2	369.11	2.89	99.22%
	Agosto	744	597.59	146.41	18	33.20	8.13	80.32%
	Setiembre	720	710.64	9.36	4	177.66	2.34	98.70%
275AO	Enero	744	658.46	85.54	6	109.74	14.26	88.50%
	Febrero	672	635.59	36.41	5	127.12	7.28	94.58%
	Marzo	744	721.7	22.3	6	120.28	3.72	97.00%
	Abril	720	671.24	48.76	7	95.89	6.97	93.23%
	Mayo	744	709.04	34.96	9	78.78	3.88	95.30%
	Junio	720	639.4	80.6	7	91.34	11.51	88.81%
	Julio	744	660.59	83.41	8	82.57	10.43	88.79%
	Agosto	744	528.54	215.46	19	27.82	11.34	71.04%
	Setiembre	720	702.05	17.95	3	234.02	5.98	97.51%

Interpretación de los resultados del Indicador MTBF y MTTR

En la

Tabla 2 se registraron los promedios mensuales del MTBF y MTTR obtenidos del mes de enero a setiembre del año 2022 de cada uno de los 17 equipos, además del promedio total.

Tabla 2. Promedios mensuales de los indicadores MTBF y MTTR

EQUIPO		MTBF	MTTR
230BR	259AO	118.81	11.90
	260AO	115.05	6.64
	261AO	106.32	10.28
	262AO	69.74	7.72
170BR	263AO	178.26	11.02
	264AO	155.46	47.69
	265AO	257.83	14.40
	266AO	237.24	12.31
	267AO	189.35	8.41
	268AO	236.05	10.71
	269AO	96.72	9.49
	270AO	247.50	9.67
	271AO	180.85	8.40
	272AO	118.15	35.92
	273AO	160.40	8.82
	274AO	146.44	10.56
	275AO	107.51	8.37
Promedio		160.10	13.67

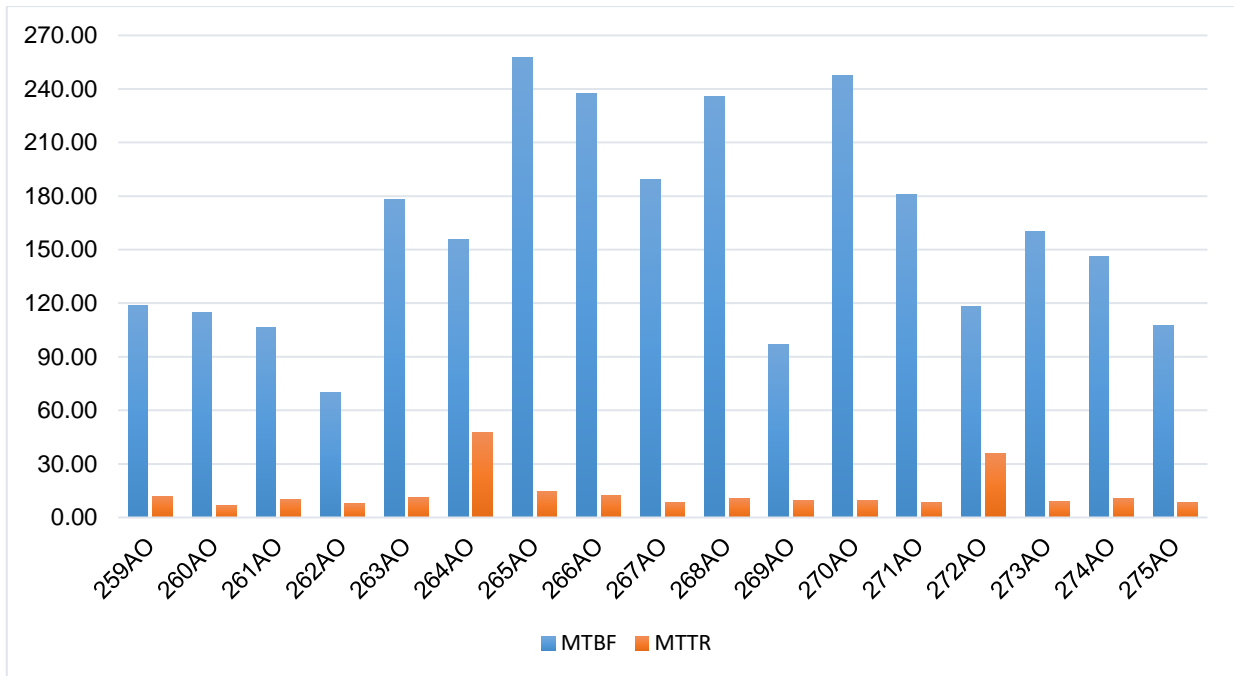


Figura 2. Promedios mensuales del indicador MTBF por equipos

En la **Tabla 2** y **Figura 2** se observa la situación inicial del MTBF, en el que se pudo observar que el máximo tiempo promedio que transcurre entre dos fallas consecutivas es de 257.83 horas perteneciente al tractor CASE IH Puma 170BR - 265AO y el mínimo es de 69.74 horas perteneciente al tractor CASE IH Puma 230BR - 262AO, además de la situación inicial del MTTR, en el que se pudo observar que el máximo tiempo medio necesario para reparar una avería es de 47.69 horas perteneciente al equipo tractor CASE IH Puma 170BR - 264AO y el mínimo es de 6.64 horas perteneciente al tractor CASE IH Puma 230BR - 260AO.

Interpretación de los resultados del Indicador Disponibilidad

En la Tabla 3 se registraron los promedios mensuales y el promedio total de la disponibilidad por cada equipo.

Tabla 3. Promedios mensuales de la Disponibilidad

EQUIPO		DISPONIBILIDAD POR EQUIPO
230BR	259AO	89.27%
	260AO	91.95%
	261AO	89.85%
	262AO	89.53%
170BR	263AO	91.73%
	264AO	91.57%
	265AO	91.48%
	266AO	91.94%
	267AO	90.66%
	268AO	93.55%
	269AO	89.95%
	270AO	92.22%
	271AO	91.95%
	272AO	80.26%
	273AO	92.52%
	274AO	91.11%
275AO	90.53%	
Promedio		90.59%

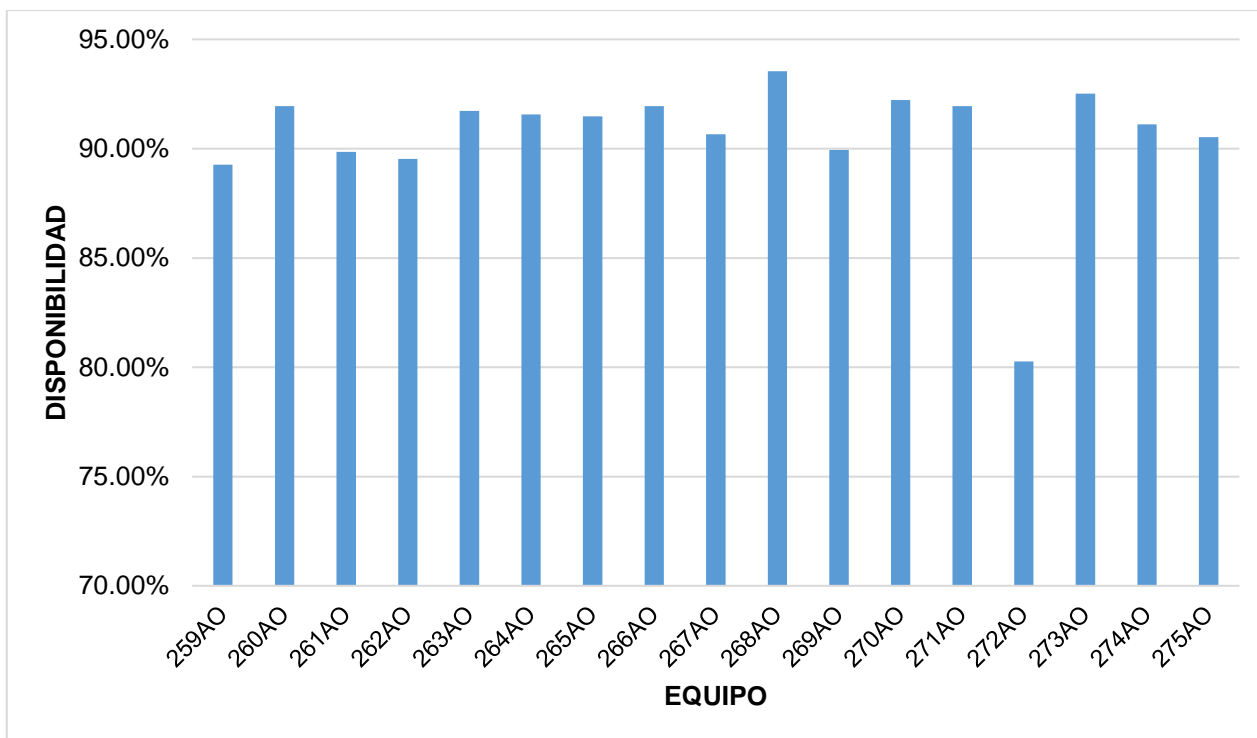


Figura 3. Promedios mensuales de la disponibilidad por equipos

En la Tabla 3 y Figura 3. Promedios mensuales de la disponibilidad por *equipos* se observan la situación inicial de la disponibilidad, en el que se pudo observar que el equipo con mayor disponibilidad es el tractor CASE IH Puma 170BR - 268AO con 93.55% y esto es debido a que no solo es uno de los equipos que presentan menor cantidad de fallas en relación a los 17 tractores, sino que estas fallas no originan muchas horas paradas a diferencia del tractor CASE IH Puma 170BR - 272AO quien presenta la menor disponibilidad con un 80.26%, puesto que sus fallas son consideradas más graves y por tanto originan un mayor tiempo de horas paradas. Finalmente se obtiene un promedio de disponibilidad de 90.59%, lo cual indica que no se logran niveles adecuados de disponibilidad.

4.2. Determinar los sistemas críticos de la maquinaria mediante el método de Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF)

El análisis AMEF permite conocer cuántas y cuáles son las fallas más críticas de los equipos, las cuales deben corregirse o evitarse tanto sea posible. Se ha procedido a hacer el análisis AMEF agrupando las fallas de los dos modelos de tractores CASE IH Puma 170BR y CASE IH Puma 230BR debido a que son equipos con características similares. Las fallas encontradas en los tractores se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Fallas encontradas en los tractores

EQUIPOS	FALLAS PRESENTADAS
CASE IH Puma 230BR	Fuga de aceite hidráulico / Bajo nivel de aceite hidráulico
	Avería en palanca de velocidad
	Luces averiadas / focos no prenden
	Falla en los filtros de combustible
	Llantas desgastadas
CASE IH Puma 170BR	Falla en las baterías
	Uniones o sellos en mal estado y/o con impurezas
	Defectos en el sistema de freno
	Cortocircuito en cabina
	Problemas en el sistema de ventilación
	Corte de llantas
	Humo negro en el escape

Para realizar el análisis de modo y efecto de fallas AMEF además de las fallas se tiene que conocer: el efecto potencial del fallo, la causa potencial del fallo y cómo se controla al momento de hacer el análisis. Posteriormente se calcula el número prioritario de riesgo (NPR) en el que se usa la ecuación (5).

$$NPR = O \times S \times D \quad (5)$$

Dónde:

O: Ocurrencia

S: Severidad

D: Detección

Para los índices de severidad, ocurrencia y detección se consideran los criterios de evaluación de la Tabla 5.

Tabla 5. *Criterio de evaluación de AMEF*

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE SEVERIDAD, OCURRENCIA Y DETECCIÓN			
Valor	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)
10	Peligro imprevisible	Muy alta	Casi imposible
9	Peligro previsible	Falla es casi inevitable	Muy remota
8	Muy alto	Alta	Remota
7	Alto	Fallado frecuentemente	Mínima
6	Moderado	Moderada	Muy baja
5	Bajo	Experimento fallas	Baja
4	Muy bajo	Ocasional	Altamente moderada
3	Pequeño	Baja	Moderado
2	Muy pequeño	Muy baja	Muy alta
1	Ninguno	Remota	Casi seguro

El número prioritario de riesgo (NPR) presenta el siguiente rango:

- 1-124: Riesgo de falla bajo
- 125-300: Riesgo de falla medio
- Mayor a 300: Riesgo de fallo alto

Para realizar el análisis AMEF se evalúa todas las fallas de manera individual considerando no sólo los criterios de evaluación (severidad, ocurrencia y detección), sino que también se identifica el efecto potencial del fallo, el cual es la principal consecuencia; la causa potencial del fallo, la cual es la principal causa que origina la falla; y los controles actuales, forma en cómo previenen y/o corrigen la falla analizada.

Se aplicó la metodología a los tractores CASE IH Puma 230BR para analizar las llantas desgastadas encontrada en estos equipos:

- **Efecto potencial del fallo:** Cuando se presenta desgaste de llantas, una de las principales consecuencias es que se presente un accidente laboral.
- **Severidad:** Un accidente laboral presenta el grado de severidad más alto puesto que se pone en peligro la vida del operador, lo cual es lo más importante en cualquier actividad laboral. Por ello se le asigna un valor de severidad de 10.
- **Causa potencial del fallo:** Dentro de las causas que pueden originar dicha falla, la más importante es la falta de inspección de rutina.
- **Ocurrencia:** En este criterio se evalúa qué tan frecuente se presenta la falla, se le asigna un valor de 6 puesto que ocurre moderadamente.
- **Controles actuales:** La forma en cómo se trata de corregir dicha falla es un mantenimiento correctivo, lo cual no es recomendable.
- **Detección:** Se evalúa qué tan factible es detectar dicha falla, se le asigna un valor de 5 puesto que la detección es baja.

Como se puede observar, para asignar valores adecuados y correctos a los criterios de evaluación es necesario conocer la situación de cada falla en los equipos. Del mismo modo serán evaluadas todas las fallas encontradas en los tractores.

En la Tabla 6 y la Tabla 7 se presenta el AMEF para los tractores CASE IH Puma 230BR y CASE IH Puma 170BR.

Tabla 6. AMEF para tractores CASE IH Puma 230BR

Modos de fallo	Efecto potencial del fallo	(S)	Causa potencial del fallo	(O)	Controles actuales	(D)	Número prioritario del riesgo (NPR) <i>NPR = O x S x D</i>	Riesgo de fallo
Fuga de aceite hidráulico / Bajo nivel de aceite hidráulico	Bajas presiones de operación	7	Desgaste/Rotura de válvulas - retenes	8	Inspección Visual	6	336	Riesgo de fallo alto
Avería en palanca de velocidad	Desgaste de piezas	7	Mala operación	5	Mantenimiento correctivo	4	140	Riesgo de falla medio
Luces averiadas / focos no prenden	Atentar con la seguridad del equipo / operador	5	No provee corriente eléctrica a los dispositivos eléctricos	4	Inspección visual	2	40	Riesgo de falla bajo
Falla en los filtros de combustible	Motor recalienta y baja potencia	8	Obstrucción de los filtros	6	Mantenimiento correctivo	7	336	Riesgo de fallo alto
Llantas desgastadas	Accidente laboral	10	Falta de inspección de rutina	6	Mantenimiento correctivo	5	300	Riesgo de fallo alto

Tabla 7. AMEF para tractores CASE IH Puma 170BR

Modos de fallo	Efecto potencial del fallo	(S)	Causa potencial del fallo	(O)	Controles actuales	(D)	Número prioritario del riesgo (NPR) <i>NPR = O x S x D</i>	Riesgo de fallo
Falla en las baterías	No poder generar potencia eléctrica al arranque del motor	6	Mal estado de placas de baterías	4	Mantenimiento correctivo	6	144	Riesgo de falla medio
Uniones o sellos en mal estado y/o con impurezas	Sobrecalentamiento del sistema	7	Fugas u obstrucción en la línea de refrigeración	6	Mantenimiento correctivo	8	336	Riesgo de fallo alto
Defectos en el sistema de freno	Accidente laboral	10	Bajo nivel de líquido de frenos Desgaste de piezas	7	Inspección visual	5	350	Riesgo de fallo alto
Cortocircuito en cabina	Paralización del vehículo	8	Cables rotos y/o deteriorados en los conectores	6	Mantenimiento correctivo	7	336	Riesgo de fallo alto
Problemas en el sistema de ventilación	Sobrecalentamientos, cortocircuitos o fundiciones	8	Problemas en el condensador	5	Mantenimiento correctivo	6	240	Riesgo de falla medio
Corte de llantas	Accidente laboral	10	Desgaste por excesiva acumulación de horas de trabajo	6	Inspección visual	5	300	Riesgo de fallo alto
Humo negro en el escape	Contaminación con gases tóxicos	4	Filtro de aire en mal estado o roto	4	Inspección visual	7	112	Riesgo de falla bajo

En base a los resultados obtenidos en el NPR, se puede determinar que los tractores CASE IH Puma 230BR presentan 5 fallas de las cuales 3 son de alto riesgo: Fuga de aceite hidráulico / Bajo nivel de aceite hidráulico, falla en los filtros de combustible y las llantas desgastadas; es decir, el 60%. Mientras que para los tractores CASE IH Puma 170BR presentan 7 fallas de las cuales 4 son de alto riesgo: Uniones o sellos en mal estado y/o con impurezas, defectos en el sistema de freno, cortocircuito en cabina y corte de llantas; es decir, el 57,14%. Dichos porcentajes van a ser de utilidad para proyectar los indicadores MTTR, MTBF y la disponibilidad.

4.3. Determinar las actividades propias del mantenimiento según la criticidad de los sistemas de las máquinas

Con respecto a las fallas encontradas en el análisis AMEF se proponen ciertas acciones recomendadas mostradas en las Tabla 8 y

Tabla 9.

Tabla 8. *Acciones recomendadas para fallas en los tractores CASE IH Puma 230BR*

EQUIPOS	FALLAS PRESENTADAS	ACCIONES RECOMENDADAS
CASE IH Puma 230BR	Fuga de aceite hidráulico / Bajo nivel de aceite hidráulico	Revisión del nivel de aceite
	Avería en palanca de velocidad	Revisar periódicamente los elementos de la transmisión del tractor
	Luces averiadas / focos no prenden	Revisión periódica del estado y la funcionalidad de los diferentes circuitos eléctricos Revisar estado de cables de conexión
	Falla en los filtros de combustible	Revisar el sistema de inyección de los tractores
	Llantas desgastadas	Inspección periódica del estado de las llantas y determinar los niveles de aire acorde al terreno en el que se va a desempeñar la labor

Tabla 9. *Acciones recomendadas para fallas en los tractores CASE IH Puma 170BR*

EQUIPOS	FALLAS PRESENTADAS	ACCIONES RECOMENDADAS
CASE IH Puma 170BR	Falla en las baterías	Medir niveles de voltaje y limpieza externa de batería
	Uniones o sellos en mal estado y/o con impurezas	Revisiones periódicas de la línea de refrigeración
	Defectos en el sistema de freno	Limpieza de frenos, cambio de bomba, disco y pastillas de frenos
	Cortocircuito en cabina	Revisión periódica del estado y la funcionalidad de los diferentes circuitos eléctricos Revisar estado de cables de conexión
	Problemas en el sistema de ventilación	Revisión periódica del condensador
	Corte de llantas	Inspección periódica del estado de las llantas y determinar los niveles de aire acorde al terreno en el que se va a desempeñar la labor
	Humo negro en el escape	Revisar inyector de combustible y filtro de aire

Tomando en cuenta los resultados del método AMEF y sus acciones recomendadas se procede a detallar cada una de estas actividades que harán posible el cumplimiento del mantenimiento preventivo.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

CASE IH Puma 230BR

1. OBJETIVO

Establecer una serie de actividades que permitan cumplir con el mantenimiento preventivo en los equipos, en base a las fallas encontradas en ellos.

2. ALCANCE

El alcance de dicho plan abarca a los tractores CASE IH Puma 230BR que abarcan 4 equipos con códigos internos del 259AO hasta 262AO.

3. RESPONSABLE

El responsable del cumplimiento correcto de las actividades es el jefe de mantenimiento.

4. ACTIVIDADES

4.1. Revisión del nivel de aceite

- Tener al tractor nivelado y removiendo el tapón nivel y relleno, revisar el nivel de aceite hidráulico, el cual debe quedar entre las marcas de mínimo y máximo de la varilla.
- En caso de ser necesario, completar el aceite mediante la boquilla con el aceite recomendado.
- Para cambio de aceite se desplaza al tractor a un lugar con temperatura normal y con una vasija de contención en cada tapón previo a removerlos.

4.2. Revisar periódicamente los elementos de la transmisión del tractor

Dentro de la revisión al sistema de transmisión se consideran adicionalmente las siguientes actividades:

- Engrasar los puntos de giro del varillaje del embrague.

- Embragar de manera suave y progresiva para evitar tirones bruscos, pero de manera rápida para evitar los rozamientos.
- Cuando el tractor está en marcha se retira el pie del pedal, no se trabaja a medio embrague.

4.3. Revisión periódica del estado y la funcionalidad de los diferentes circuitos eléctricos / Revisar estado de cables de conexión

- Comprobar las conexiones del circuito.
- Limpiar en caso existan restos de suciedad.
- Suplir los terminales que se encuentran en deterioro.

4.4. Revisar el sistema de inyección de los tractores

- Llenar el tanque con cada carga y no permitir que esté por debajo de $\frac{1}{4}$ ya que esto evitará que los vapores produzcan humedad y que el combustible esté libre de corrosión y óxido.
- Mantener la parte inferior del tractor lubricada y limpia para evitar que la corrosión y el óxido afecten al equipo desde afuera.

4.5. Inspección periódica del estado de las llantas y determinar los niveles de aire acorde al terreno en el que se va a desempeñar la labor

- Establecer una calibración correcta es un factor clave en el desempeño de los neumáticos.
- Determinar la correcta presión de relleno de los neumáticos al pesarse el eje cargado, consultando la tabla de calibración y carga para los neumáticos.
- Controlar el óxido producido por el efecto del agua sobre la llanta.
- Controlar la entrada de tierra por el talón de los neumáticos.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

CASE IH Puma 170BR

1. OBJETIVO

Establecer una serie de actividades que permitan cumplir con el mantenimiento preventivo en los equipos, en base a las fallas encontradas en ellos.

2. ALCANCE

El alcance de dicho plan abarca a los tractores CASE IH Puma 170BR que abarcan 13 equipos con códigos internos del 263AO hasta 275AO.

3. RESPONSABLE

El responsable del cumplimiento correcto de las actividades es el jefe de mantenimiento.

4. ACTIVIDADES

4.1. Medir niveles de voltaje y limpieza externa de batería

- Revisar bornes y limpiarlos, lavar con agua caliente y engrasarlos.
- Mantener destapados los respiraderos de las tapas de la batería.
- Ajustar bornes de las baterías.
- Tener la batería cargada al máximo.
- Para evitar un arranque inesperado del motor o cortocircuito, desconectar el cable a tierra de la batería.

4.2. Revisiones periódicas de la línea de refrigeración

- Controlar de forma periódica el nivel de agua.
- Verificar la tensión de las correas del ventilador
- Emplear agua limpia (de lluvia o destilada).
- Conservar el radiador limpio
- Controlar el estado de las mangueras.

- Eliminar pérdidas de agua.
- Revisar bomba de agua

Así mismo se deben realizar diferentes pruebas que permitan verificar el sistema de refrigeración

- Prueba de presión del sistema. Consiste en instalar un probador de presión en la bomba de agua, bloques de cilindro y el radiador para verificar si hay fugas
- Prueba de la tapa del radiador. Utilizar un probador que sea fiable para verificar si la válvula abre a la presión correcta o si el radiador y la tapa presentan fugas.
- Prueba del termostato. Verificar el nivel de temperatura del termostato.

4.3. Limpieza de frenos, cambio de bomba, disco y pastillas de frenos

- Si los forros de los frenos no presentan mucho desgaste o están inmersos en aceite, se deben lavar con detergente y agua caliente, además de quitar el óxido con lija.
- Usar un limpiador de frenos para renovar las zapatas de freno que estén inmersas en aceite.
- Las bombas de frenos se cambian cuando no existe comunicación entre el equipo y el conductor.

4.4. Revisión periódica del estado y la funcionalidad de los diferentes circuitos eléctricos / Revisar estado de cables de conexión

- Comprobar las conexiones del circuito.
- Limpiar en caso existan restos de suciedad.
- Suplir los terminales que se encuentran en deterioro.

- Para regular los faros delanteros se inspeccionan de manera separada, es decir mientras inspecciona un faro, se tapa el otro. Además, tener el tractor en un piso nivelado y plano.

4.5. Revisión periódica del condensador

- No desconectar mangueras conductoras de fluido refrigerante del sistema de aire acondicionado, puesto que puede causar quemaduras en la piel.
- Si se comprueba polvo acumulado u otras suciedades se debe limpiar con aire comprimido.
- La presión de aire no debe ser mayor a 7 bar

4.6. Inspección periódica del estado de las llantas y determinar los niveles de aire acorde al terreno en el que se va a desempeñar la labor

- Establecer una calibración correcta es un factor clave en el desempeño de los neumáticos.
- Determinar la correcta presión de relleno de los neumáticos al pesarse el eje cargado, consultando la tabla de calibración y carga para los neumáticos.
- Controlar el óxido producido por el efecto del agua sobre la llanta.
- Controlar la entrada de tierra por el talón de los neumáticos.

4.7. Revisar inyector de combustible y filtro de aire

- Si el indicador señala que el filtro está sucio, se desmonta y se limpia con aire a presión.
- En caso de ser necesario cambiar la aguja inyectora.
- Quitar presión al muelle.
- Cambiar la tobera.

Para plantear las actividades de mantenimiento de los tractores se debe considerar actividades programadas de mantenimiento rutinario, las cuales, como su nombre lo mencionan, se vuelven parte del día a día y tienen que ser cumplidas en su totalidad de manera obligatoria. Las actividades programadas de mantenimiento rutinario se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Programa de mantenimiento rutinario

FICHA PARA MANTENIMIENTO RUTINARIO							
MARCA			CÓD. INTERNO				NRO DE FICHA
MODELO			FECHA				
	ESTADO		REQUIERE				Observaciones
	Bueno	Malo/Deficiente	Ajustar	Sustituir	Limpiar	Lubricar	
Hacer una revisión del estado del cinturón de seguridad							
Hacer una revisión del nivel del aceite de motor							
Inspeccionar la existencia de ruidos anormales en el motor							
Inspeccionar si existen fugas de agua o aire en el motor							
Revisar el estado del filtro de aire							
Hacer una revisión del nivel de combustible							
Inspeccionar el estado de las llantas							
Verificar si existen elementos extraños en las llantas							
Hacer una revisión de las conexiones y de los niveles de fluido de la batería							

Hacer una revisión de la lubricación de las articulaciones del tractor							
Inspeccionar el sistema de alumbrado							
Hacer una revisión del estado del radiador							
Hacer una revisión del tubo de escape							
Inspeccionar el estado de frenos							
Revisar el estado de los extintores							
Hacer una revisión del correcto funcionamiento de los tableros							
Revisar la estructura del tractor							
REVISIÓN REALIZADA POR:							
TIEMPO EMPLEADO EN LA REVISIÓN:							
HERRAMIENTAS/MATERIALES UTILIZADAS							
OBSERVACIONES GENERALES							

Adicionalmente a las actividades del mantenimiento rutinario, se ha elaborado un plan de mantenimiento con las actividades para los 17 tractores agrícolas CASE IH Puma 230BR y 170BR, dicho plan se debe ejecutar en base a una programación y considerando los horómetros, tal como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Plan de acciones de mantenimiento para tractores agrícolas CASE IH 230BR y 170BR

Actividad de mantenimiento	Frecuencia	Operación
Revisar el sistema de alimentación de aire	50 horas	Inspección
Verificar el estado y tensión de la correa del ventilador		Inspección
Revisar el ajuste de los tornillos de las ruedas y aros		Inspección
Ajustar pedales de freno		Ajuste
Verificar el estado y la tensión de la correa de transmisión		Inspección
Ajustar pedal de embrague		Ajuste
Inspeccionar la operación del sistema de aire acondicionado		Inspección
Verificar el estado y tensión de la correa del alternador		Inspección
Verificar la correcta operación y el arreglo de todas las luces		Inspección
Inspeccionar alarmas sonoras		Inspección
Limpiar el elemento del prefiltro de combustible		Limpieza
Inspeccionar el nivel del líquido de enfriamiento		Inspección
Verificar estado de la batería		Inspección
Verificar el estado de la bomba de agua		Inspección
Cambiar filtro de aceite de motor	250 horas	Sustitución
Cambiar aceite de motor		Sustitución
Cambiar filtro de combustible principal		Sustitución
Lavado de sedimentador de combustible		Limpieza
Cambiar filtro separador de agua		Sustitución
Lubricar todos los puntos con grasa		Lubricación
Limpiar bornes de la batería		Limpieza
Verificar la presión adecuada de los neumáticos		Inspección
Inspeccionar el aprieto de los cables de la batería		Inspección
Inspeccionar la fijación de la batería		Inspección
Cambiar filtro de retorno de la transmisión		Sustitución
Verificar el nivel del líquido de freno		Inspección
Cambiar filtro separador de combustible		Sustitución
Cambiar filtro principal de aceite hidráulico		500 horas
Cambiar filtro de retorno del sistema hidráulico	Sustitución	
Limpiar filtro de succión	Limpieza	
Revisar y ajustar el juego del sistema de dirección	Inspección y ajuste	
Revisar la tensión de la batería y cargarla de ser necesario	Inspección	
Limpiar filtro de tela de la bomba de combustible	Limpieza	
Cambiar aceite de la transmisión	Sustitución	
Cambiar filtro de aceite de la transmisión	Sustitución	
Limpiar manguera del respiradero del cárter	Limpieza	
Inspeccionar el ajuste de las abrazaderas	Inspección	
Cambiar filtro de bomba hidráulica	Sustitución	
Verificar el estado de las mangueras del sistema de enfriamiento	Inspección	
Cambiar filtro de bomba auxiliar	Sustitución	
Ajustar válvulas de admisión y escape	Ajuste	
Verificar el estado de mangueras de combustible	Inspección	
Cambiar filtro de aire primario	Sustitución	

Cambiar filtro de aire secundario	1000 horas	Sustitución	
Inspeccionar el estado general de operación del motor (presión, temperatura y desempeño)		Inspección	
Cambiar filtro de aire de cabina		Sustitución	
Limpia radiador		Limpieza	
Resuministrar al radiador con líquido de enfriamiento adecuado		Ajuste	
Cambiar fluido de freno		Sustitución	
Cambiar el elemento filtrante de aire de la cabina		Sustitución	
Limpia y llenar el sistema de enfriamiento		Limpieza	
Verificar estado y presión de inyectores		Inspección	
Limpia y llenar tanques de combustible		Limpieza	
Comprobar estado y funcionamiento del alternador		Inspección	
Revisar conexiones del cable tierra de la batería		Inspección	
Inspeccionar la operación del motor de arranque		Inspección	
Cambiar filtro de aire de recirculación de cabina		Sustitución	
Cambiar filtro secador de aire comprimido		Sustitución	
Cambiar faja de compresor (aire comprimido)		2000 horas	Sustitución
Inspeccionar correa del motor			Inspección
Inspeccionar turbocompresor	Inspección		
Inspeccionar estado de las uniones universales	Inspección		
Inspeccionar bomba de agua	Inspección		
Inspeccionar correa del alternador	Inspección		
Verificar bomba inyectora de combustible	Inspección		
Cambiar faja de alternador	Sustitución		
Cambiar faja de motor	Sustitución		

Para ejecutar dichas actividades se han elaborado cartillas de mantenimiento, en la que se registran los datos necesarios para desarrollar las actividades descritas en la Tabla 11 como: la fecha en el que se realizará el mantenimiento; el tiempo que estas actividades van a tomar; el horómetro; la marca, modelo y código interno para registrar a los tractores; el número de orden de trabajo, el personal a cargo el cual va a ejecutar las actividades; así mismo en la cartilla se podrá anotar las observaciones, los repuestos y materiales empleados y, en caso existan, trabajos que quedaron pendientes. Las cartillas de mantenimiento se muestran en Anexo 6. Cartilla de mantenimiento 50 horas tractores Case IH, Anexo 7. Cartilla de mantenimiento 250 horas tractores Case IH, Anexo 8. Cartilla de mantenimiento 500 horas tractores Case IH, Anexo 9. Cartilla de mantenimiento 1000 horas tractores Case IH y Anexo 10. Cartilla de mantenimiento 2000 horas tractores Case IH para cada 50, 250, 500, 1000 y 2000 horas.

Así mismo se presenta un cronograma de las actividades que se tienen que realizar como parte del plan de mantenimiento, en base a las horas de trabajo y que se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Cronograma de mantenimiento

Actividades de mantenimiento	Horas de trabajo del tractor				
	50	250	500	1000	2000
Revisar el sistema de alimentación de aire	x	x	x	x	x
Verificar el estado y tensión de la correa del ventilador	x	x	x	x	x
Revisar el ajuste de los tornillos de las ruedas y aros	x	x	x	x	x
Ajustar pedales de freno	x	x	x	x	x
Verificar el estado y la tensión de la correa de transmisión	x	x	x	x	x
Ajustar pedal de embrague	x	x	x	x	x
Inspeccionar la operación del sistema de aire acondicionado	x	x	x	x	x
Verificar el estado y tensión de la correa del alternador	x	x	x	x	x
Verificar la correcta operación y el arreglo de todas las luces	x	x	x	x	x
Inspeccionar alarmas sonoras	x	x	x	x	x
Limpiar el elemento del prefiltro de combustible	x	x	x	x	x
Inspeccionar el nivel del líquido de enfriamiento	x	x	x	x	x
Verificar estado de la batería	x	x	x	x	x
Verificar el estado de la bomba de agua	x	x	x	x	x
Cambiar filtro de aceite de motor		x	x	x	x
Cambiar aceite de motor		x	x	x	x
Cambiar filtro de combustible principal		x	x	x	x
Lavado de sedimentador de combustible		x	x	x	x
Cambiar filtro separador de agua		x	x	x	x
Lubricar todos los puntos con grasa		x	x	x	x
Limpiar bornes de la batería		x	x	x	x
Verificar la presión adecuada de los neumáticos		x	x	x	x
Inspeccionar el aprieto de los cables de la batería		x	x	x	x
Inspeccionar la fijación de la batería		x	x	x	x
Cambiar filtro de retorno de la transmisión		x	x	x	x
Verificar el nivel del líquido de freno		x	x	x	x
Cambiar filtro separador de combustible		x	x	x	x
Cambiar filtro principal de aceite hidráulico			x	x	x
Cambiar filtro de retorno del sistema hidráulico			x	x	x
Limpiar filtro de succión			x	x	x
Revisar y ajustar el juego del sistema de dirección			x	x	x
Revisar la tensión de la batería y cargarla de ser necesario			x	x	x
Limpiar filtro de tela de la bomba de combustible			x	x	x
Cambiar aceite de la transmisión			x	x	x
Cambiar filtro de aceite de la transmisión			x	x	x
Limpiar manguera del respiradero del cárter			x	x	x

Inspeccionar el ajuste de las abrazaderas			x	x	x
Cambiar filtro de bomba hidráulica			x	x	x
Verificar el estado de las mangueras del sistema de enfriamiento			x	x	x
Cambiar filtro de bomba auxiliar			x	x	x
Ajustar válvulas de admisión y escape			x	x	x
Verificar el estado de mangueras de combustible			x	x	x
Cambiar filtro de aire primario			x	x	x
Cambiar filtro de aire secundario				x	x
Inspeccionar el estado general de operación del motor (presión, temperatura y desempeño)				x	x
Cambiar filtro de aire de cabina				x	x
Limpiar radiador				x	x
Resuministrar al radiador con líquido de enfriamiento adecuado				x	x
Cambiar fluido de freno				x	x
Cambiar el elemento filtrante de aire de la cabina				x	x
Limpiar y llenar el sistema de enfriamiento				x	x
Verificar estado y presión de inyectores				x	x
Limpiar y llenar tanques de combustible				x	x
Comprobar estado y funcionamiento del alternador				x	x
Revisar conexiones del cable tierra de la batería				x	x
Inspeccionar la operación del motor de arranque				x	x
Cambiar filtro de aire de recirculación de cabina				x	x
Cambiar filtro secador de aire comprimido				x	x
Cambiar faja de compresor (aire comprimido)					x
Inspeccionar correa del motor					x
Inspeccionar turbocompresor					x
Inspeccionar estado de las uniones universales					x
Inspeccionar bomba de agua					x
Inspeccionar correa del alternador					x
Verificar bomba inyectora de combustible					x
Cambiar faja de alternador					x
Cambiar faja de motor					x

4.4. Determinar en forma teórica los nuevos indicadores de disponibilidad

Se aplicará la metodología empleada por Benites y Minaya (2021), la cual se basa en los resultados del NPR para determinar los nuevos indicadores proyectados de disponibilidad. Los resultados serán obtenidos de la siguiente forma:

$$MTTR_{\text{proyect}} = \% \text{fallas indeseables} \times MTTR_{\text{inicial}} \quad (6)$$

$$MTBF_{\text{proyec}} = (MTTR_{\text{inicial}} - MTTR_{\text{proyect}}) + MTBF_{\text{inicial}} \quad (7)$$

$$D_{\text{proyect}} = \frac{MTBF_{\text{proyec}}}{MTBF_{\text{proyec}} + MTTR_{\text{proyect}}} \quad (8)$$

A modo de ejemplo se va a determinar los indicadores proyectados para el tractor CASE IH Puma 230BR con código interno 259 AO, el cual como ya se registró anteriormente tiene como MTBF, MTTR y disponibilidad promedio a 118.81, 11.90 y 89.27% respectivamente. Adicionalmente, los tractores de ese modelo el 60% de sus fallas con consideradas de alto riesgo. Para la nueva disponibilidad de toma el porcentaje de fallas de alto riesgo una vez solucionado ya que su nivel de criticidad afectaría directamente el equipo. Teniendo en cuenta ello, los nuevos indicadores son:

$$MTTR_{\text{proyect}} = 60\% \times 11.90$$

$$MTTR_{\text{proyect}} = 7.14$$

$$MTBF_{\text{proyec}} = (11.90 - 7.14) + 118.81$$

$$MTBF_{\text{proyec}} = 123.57$$

$$D_{\text{proyect}} = \frac{123.57}{123.57 + 7.14}$$

$$D_{\text{proyect}} = 94.54\%$$

El mismo procedimiento se aplica para cada tractor agrícola con cada promedio de sus indicadores, obteniendo valores que son mostrados en la Tabla 13.

Tabla 13. *Indicadores proyectados*

Tractores		Promedio MTTR		Promedio MTBF		Promedio Disponibilidad	
		Pre test	Proyectado	Pre test	Proyectado	Pre test	Proyectado
230BR	259AO	11.90	7.141018122	118.81	123.57	89.27%	94.54%
	260AO	6.64	3.981683575	115.05	117.70	91.95%	96.73%
	261AO	10.28	6.169318888	106.32	110.43	89.85%	94.71%
	262AO	7.72	4.632166498	69.74	72.83	89.53%	94.02%
170BR	263AO	11.02	6.29637602	178.26	182.98	91.73%	96.67%
	264AO	47.69	27.24884459	155.46	175.90	91.57%	86.59%
	265AO	14.40	8.230549147	257.83	264.00	91.48%	96.98%
	266AO	12.31	7.033268191	237.24	242.51	91.94%	97.18%
	267AO	8.41	4.808074874	189.35	192.96	90.66%	97.57%
	268AO	10.71	6.12143327	236.05	240.64	93.55%	97.52%
	269AO	9.49	5.42422956	96.72	100.79	89.95%	94.89%
	270AO	9.67	5.522925576	247.50	251.64	92.22%	97.85%
	271AO	8.40	4.797989045	180.85	184.45	91.95%	97.46%
	272AO	35.92	20.52688139	118.15	133.55	80.26%	86.68%
	273AO	8.82	5.038648282	160.40	164.18	92.52%	97.02%
	274AO	10.56	6.032387456	146.44	150.97	91.11%	96.16%
275AO	8.37	4.785116993	107.51	111.10	90.53%	95.87%	
Promedio		13.67	7.87	160.10	165.89	90.59%	95.20%

Como se observa el promedio del indicador MTTR inicial es de 13.67 horas y el proyectado es de 7.87 horas, el MTBF inicial es de 160.10 horas y el proyectado es de 165.89 horas y la disponibilidad inicial 90.59% y el proyectado es de 95.20%. Por lo que se obtiene de forma teórica que un plan de mantenimiento permite aumentar en

un 4.61% la disponibilidad de maquinaria en una empresa agrícola en la región Lambayeque, esto es debido a que se logró una disminución en el Tiempo Medio Para Reparar y un aumento en el Tiempo Medio Entre Fallas.

4.5. Elaborar el presupuesto del plan de mantenimiento

4.5.1. Costo de capacitaciones

Se van a considerar un total de 5 capacitaciones, las cuales serán brindadas al personal de mantenimiento, dichas capacitaciones contemplan al mantenimiento preventivo y correctivo en los diferentes sistemas del equipo como el sistema hidráulico, sistema eléctrico, sistema de transmisión.

Tabla 14. Costo de capacitaciones

Capacitaciones	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
Mantenimiento preventivo y correctivo	5	S/ 500.00	S/ 2,500.00
Total			S/ 2,500.00

4.5.2. Costo de implementos de seguridad

Se consideran los implementos más importantes e imprescindibles para preservar la seguridad del personal en la realización de cualquier actividad de mantenimiento.

Tabla 15. Costo de implementos de seguridad

Implementos de seguridad	Medida	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
Botas de seguridad	Par	10	S/ 359.00	S/ 3,590.00
Arneses	Unidad	5	S/ 135.70	S/ 678.50
Anteojos	Unidad	10	S/ 44.70	S/ 447.00
Cascos	Unidad	10	S/ 49.90	S/ 499.00
Orejeras adaptables a casco	Unidad	10	S/ 54.90	S/ 549.00
Guantes de protección	Par	10	S/ 44.08	S/ 440.80

Extintores	Unidad	8	S/ 44.90	S/ 359.20
Cono de seguridad	Unidad	10	S/ 39.90	S/ 399.00
Total				S/ 6,962.50

4.5.3. Costo de equipos y herramientas

Se consideran los equipos y herramientas que son empleados para poder ejecutar las actividades de mantenimiento.

Tabla 16. Costo de equipos y herramientas

Equipos y herramientas	Medida	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
Engrasadora	Unidad	4	S/ 57.50	S/ 230.00
Juego de dados	Caja	3	S/ 152.92	S/ 458.76
Multímetro	Unidad	3	S/ 120.31	S/ 360.93
Juego de llaves	Caja	2	S/ 179.90	S/ 359.80
Juego de alicates	Caja	3	S/ 49.90	S/ 149.70
Manómetro Llantas Neumáticos	Unidad	4	S/ 49.00	S/ 196.00
Alicate a presión	Unidad	3	S/ 29.90	S/ 89.70
Aceitera	Unidad	5	S/ 20.48	S/ 102.40
Juego de desarmadores	Caja	3	S/ 74.90	S/ 224.70
Total				S/ 2,171.99

4.5.4. Costo de requerimientos

Se consideran los requerimientos considerados en los planes de mantenimiento.

Tabla 17. Costo de requerimientos

Requerimientos	Medida	Precio Unitario	Subtotal
----------------	--------	-----------------	----------

Filtro de aceite de motor	Unidad	S/ 83.64	S/ 1,421.80
Filtro de combustible principal	Unidad	S/ 105.33	S/ 1,790.63
Filtro separador de combustible	Unidad	S/ 73.31	S/ 1,246.20
Filtro principal de aceite hidráulico	Unidad	S/ 651.07	S/ 11,068.22
Filtro de bomba hidráulica	Unidad	S/ 401.36	S/ 6,823.07
Filtro de bomba auxiliar	Unidad	S/ 201.25	S/ 3,421.32
Filtro de aire primario	Unidad	S/ 376.01	S/ 6,392.22
Filtro de aire secundario	Unidad	S/ 200.83	S/ 3,414.14
Filtro de aire de cabina	Unidad	S/ 246.37	S/ 4,188.36
Filtro de aire de recirculación de cabina	Unidad	S/ 117.66	S/ 2,000.18
Filtro secador de aire comprimido	Unidad	S/ 213.62	S/ 3,631.53
Faja de compresor	Unidad	S/ 66.32	S/ 1,127.39
Faja de motor	Caja	S/ 331.39	S/ 5,633.66
Filtro de aceite de la transmisión	Unidad	S/ 172.71	S/ 2,936.07
Filtro de succión de aceite de aceite	Unidad	S/ 98.04	S/ 1,666.68
Líquido de frenos	litro	S/ 59.61	S/ 119.22
Aceite para Motor SAE 15W40	litro	S/ 17.50	S/ 140.00
Aceite hidráulico Akcela Nexplora 10W-30	litro	S/ 19.38	S/ 155.04
Total			S/ 58,550.01

4.5.5. Costo de materiales

Adicionalmente se consideran aquellos materiales extras utilizados en las actividades de mantenimiento.

Tabla 18. Costo de materiales

Materiales	Medida	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
Detergente	kg	20	S/ 10.50	S/ 210.00
Trapos industriales	kg	20	S/ 5.00	S/ 100.00
Total				S/ 310.00

4.5.6. Presupuesto total

Por último, se considera un presupuesto total considerando todos los gastos anteriores y el cual se muestra en la

Tabla 19. *Presupuesto total*

Ítems	Subtotal
Capacitaciones	S/ 2,500.00
Implementos de seguridad	S/ 6,962.50
Equipos y herramientas	S/ 2,171.99
Requerimientos	S/ 58,550.01
Materiales	S/ 310.00
Total	S/ 70,494.50

Por tanto, se considera un presupuesto total de S/ 70,494.50 para el plan de mantenimiento en una empresa agrícola en la región Lambayeque.

V. DISCUSIÓN

Luego de la obtención de los resultados en el presente estudio se realiza la discusión del presente estudio.

En el primer objetivo específico se realizó el diagnóstico de la situación actual de la maquinaria agrícola recopilando información acerca de las horas programadas, horas trabajadas, horas paradas y el número de fallas con ello se pudo determinar, mediante ecuaciones descritas anteriormente, el Tiempo Medio para Fallar y el Tiempo Medio Para Reparar y la disponibilidad, aplicándolo se obtuvo un valor inicial de 90.59%, que indica que no se logran niveles adecuados; lo desarrollado coincide con Talabera (2019) quienes utilizaron una base de datos que contienen registro de las máquinas, las horas totales para operar, las horas reales de operación, el número de averías, las horas de mantenimiento programado para así obtener, mediante las mismas ecuaciones, los indicadores iniciales y la disponibilidad inicial lo que significa que no se encontraba en el rango del 95% al 99%; la misma metodología es aplicada por Ypanaqué et al. (2017) a diferencia de Reynoso (2021) y Castro (2021) quienes primero determinaron otros indicadores como la confiabilidad y la mantenibilidad para determinar finalmente la disponibilidad inicial, indicando que previo a la implementación del plan de mantenimiento preventivo fue de 77% en los volquetes y de 87% en las maquinarias pesadas. Por otro lado, Jufri y Siswanto (2020) analizaron la disponibilidad y el día calendario como criterios de desempeño.

En el segundo objetivo específico se determinaron cuántas y cuáles son las fallas más críticas de la maquinaria para lo cual se empleó el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) en que se analizó el efecto potencial del fallo, la causa potencial del fallo y cómo se controla, lo que permite obtener el número prioritario de riesgo (NPR) y determinar los riesgos de falla. Dentro de las principales fallas encontradas se tiene la fuga de aceite, la falla en los filtros de combustible, llantas desgastadas, defectos en el sistema de freno; lo mismo aplicó Castro (2021) en su estudio en el cual analizaron los componentes de bombas sumergibles en base a su falla funcional, modos de fallas y sus efectos. Moscoso et al. (2020) también implementó dicho análisis en las

máquinas en una empresa del sector manufacturero determinando también el número prioritario de riesgo.

Del mismo modo, Mosquera (2018) evaluó las fallas potenciales de un cargador frontal teniendo como principales fallas que el inyector no pulveriza, no hay corriente en la bobina, falso contacto en el cableado eléctrico, contaminación en el refrigerante, fuga en los conductos de aceite, y obstrucción en el filtro de aceite de motor; estas fallas demuestran que existen ciertas averías que suelen presentarse comúnmente en los equipos de maquinaria pesada.

Sin embargo, Kolte y Dabade (2017) inspeccionaron y analizaron las posibles causas que originan los problemas de avería de las máquinas en la línea de producción de bloques de cilindros de motor empleando el método del diagrama de espina de pescado, asimismo utilizaron el análisis de Pareto para identificar las máquinas críticas que principalmente conducen a los tiempos de inactividad de la línea de producción y el Análisis de los 5 por qué (5 Whys) para determinar las relaciones causa-efecto en un problema o evento de falla. Del mismo modo Talabera (2019) empleó el Diagrama de Ishikawa para determinar las causas de la baja disponibilidad y para determinar cuáles son los más importantes empleó una matriz de correlación en conjunto con el diagrama de Pareto.

En el cumplimiento del tercer objetivo se determinaron las actividades propias del mantenimiento para ello, en primer lugar, se tomó en cuenta lo obtenido en el análisis AMEF realizado previamente y se establecieron acciones recomendadas en base a las fallas, lo que coincide con lo realizado por Castro (2021) quien planteó tareas tomando en cuenta la opinión de técnicos y operarios quienes conocen a detalle las características y problemas del equipo. A diferencia de Mosquera (2018) quien a pesar de haber realizado el análisis AMEF, no plantea acciones que contrarresten dichas fallas, sino que propone un plan de mantenimiento en general. Sin embargo, en el presente estudio no solo se han determinado las acciones recomendadas, sino que se ha elaborado un plan de mantenimiento mostrando y detallando que tareas se tienen que realizar, de manera clara y ordenada, para dar cumplimiento a estas actividades

en particular, lo cual no se ha encontrado en ninguno de los trabajos de investigación citados anteriormente.

Asimismo, en este objetivo se planificó y elaboró un plan de mantenimiento rutinario en el que se detallaron las actividades que se realizan a los equipos todos los días, las cuales garantizan un correcto funcionamiento de la maquinaria, preservan su cuidado y lo más importante, velan por la seguridad del operario que va a manejar el equipo, a diferencia de los otros autores que en sus planes de mantenimiento consideran las actividades en base a las horas de operación. Los autores Ypanaqué et al. (2017) y Mosquera (2018) elaboraron planes de mantenimiento para una grúa de 50 toneladas y para un cargador frontal respectivamente en sus trabajos de investigación con una frecuencia que se basa en las horas de operación (50, 150, 250, 500, 1200, 2000 horas), lo cual coincide con el plan de mantenimiento propuesto por el presente trabajo de investigación puesto que se realizó en base a lo que marca el horómetro, es decir a las horas de operación. Sin embargo, esto difiere con la investigación realizada por Kolte y Dabade (2017), quienes implementaron las actividades de mantenimiento en base a las fallas encontradas con una frecuencia que va regida por los meses (dos meses, trimestral, de seis meses y anual); y de la investigación realizada por Castro (2021) quien elabora el plan de mantenimiento para bombas sumergibles con una frecuencia que va por semanas (cada una, dos y tres semanas).

En el desarrollo del cuarto objetivo de la presente investigación se determinó de forma teórica los nuevos indicadores de disponibilidad, para lo cual se empleó una metodología empleada por Benites y Minaya (2021), dicha metodología se basa en los resultados del NPR, en el que el MTTR inicial fue de 13.67 horas y el proyectado fue de 7.87, el MTBF inicial fue de 160.10 y el proyectado fue de 165.89 y la disponibilidad inicial fue de 90.59% y el proyectado fue de 95.20%, lo que implica que se logra aumentar la disponibilidad en un 4.61%. A comparación de la investigación realizada por Jufri y Siswanto (2020) quienes realizaron una simulación optimizando las actividades de mantenimiento de la planta que afectan a los valores de los equipos del sistema, optimizando la implementación de la revisión y una combinación de ambas

por lo que obtienen varios escenarios en el primero, la disponibilidad promedio del sistema es de 72,83%; en el segundo, la disponibilidad es del 75% y en el tercero proporciona los mejores valores de disponibilidad con un 83.04%.

Otros valores obtenidos en cuanto a la disponibilidad final posterior al plan de mantenimiento está la investigación realizada por Moscoso et al. (2020) quienes obtuvieron un aumento del 15% en la disponibilidad de las máquinas, arrojando una disponibilidad adicional de 30 h de producción; así mismo Kolte y Dabade (2017) incrementaron del 4 al 9 % en la disponibilidad, el MTBF promedio de las máquinas críticas aumentó de 73,6 min. a 114,2 min y el MTTR promedio de tres meses de las máquinas críticas se reduce de 22,6 min. a 19,1 min; Palomino-Valles et al. (2020) obtuvo que la disponibilidad incrementó a 81% y el tiempo entre fallas se redujo de 13 horas a 7 horas, reduciendo tiempo muerto del 15%. Reynoso (2021) obtuvo como resultado un aumento de la disponibilidad del 8,44% para un volquete y del 7% para una excavadora, además de una disminución de horas de parada de 191,72 en un volquete y 1124,73 en una excavadora. Por otro lado, Talabera (2019) obtuvo como resultados que la disponibilidad promedio de las máquinas críticas aumentó en un 15,63%, la confiabilidad promedio ha aumentado en 97,89 horas por falla, la mantenibilidad promedio ha disminuido en 3,20 horas por falla.

Para el desarrollo del quinto objetivo se elaboró el presupuesto del plan de mantenimiento el cual consta de S/ 70,494.50 en las que se consideran aspectos como los costos de capacitaciones, implementos de seguridad, equipos y herramientas, requerimientos y materiales, lo que coincide con la investigación realizada por Moscoso et al. (2020) quienes también consideraron la capacitación al personal realizando charlas y reuniones para explicar la metodología y lo que se espera lograr con la implementación. Asimismo, en el estudio realizado por Palomino-Valles et al. (2020) estimaron una inversión de S/18.275,00, que contiene todos los recursos necesarios como registros, dispositivos electrónicos para el control en tiempo real, y equipos y herramientas para los involucrados en el proceso.

VI. CONCLUSIONES

Luego de la resolución de los objetivos anteriormente planteados se concluye

- Se concluyó que un plan de mantenimiento correctamente elaborado en base a las fallas encontradas, a un mantenimiento rutinario y a las horas de trabajo se logra mejorar los indicadores y por consiguiente incrementar los valores de disponibilidad.
- Se determinó en cuanto a términos de valores de disponibilidad, la situación actual de la maquinaria agrícola. Y se encontró que dicha situación no es la más óptima, puesto que se obtuvo un valor promedio inicial de disponibilidad de 90.59%, lo cual indica que no se logran niveles adecuados. se evaluó la disponibilidad de las 17 máquinas agrícolas de la empresa considerando su situación actual de trabajo, encontrando una disponibilidad mínima de 80.26% y 93.55% máxima.
- El método de Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) permitió identificar los sistemas críticos de la maquinaria en una empresa agrícola mediante una evaluación de todas las fallas de manera individual considerando criterios de evaluación, identificando el efecto potencial del fallo, la causa potencial del fallo y los controles actuales, así como también poder clasificarlos en base a una ponderación en bajo, medio y alto riesgo. Obteniendo que en los tractores CASE IH Puma 230BR se presentan 5 fallas de las cuales 3 son de alto riesgo, es decir, el 60% y los tractores CASE IH Puma 170BR presentan 7 fallas de las cuales 4 son de alto riesgo, es decir, el 57,14%.
- Se determinaron las actividades que forman parte del plan de mantenimiento, en primer lugar, se establecieron ciertas actividades que se presentan como acciones recomendadas a las fallas que se presentaron en el análisis AMEF; posteriormente se elaboró un plan de mantenimiento rutinario en el que se detallan todas las actividades que tienen que realizar los operarios todos los días y, por último, se presentó la cartilla de mantenimiento en base a las horas de operación de los tractores.

- Se determinaron de forma teórica los nuevos indicadores de la disponibilidad para lo cual se trabajó en base a lo obtenido en el análisis AMEF con el número prioritario de riesgo (NPR) logrando obtener una proyección del MTTR el cual inicialmente fue de 13.67 horas y el proyectado fue de 7.87 horas, el MTBF inicial fue de 160.10 horas y el proyectado fue de 165.89 horas, mientras que la disponibilidad inicial fue de 90.59% y la proyectada fue de 95.20%, aumentando un 4.61%.
- El presupuesto económico necesario para implementar el plan de mantenimiento es de S/ 70,494.50 en el que se consideran los costos de capacitaciones, implementos de seguridad, equipos y herramientas, requerimientos y materiales.

VII. RECOMENDACIONES

- Es conveniente hacer una revisión periódica que verifique la adecuación y actualización del plan de mantenimiento, en especial si se actualiza los equipos en la empresa agrícola.
- Se recomienda inspeccionar la correcta ejecución de las actividades propuestas en el presente plan de mantenimiento, para garantizar la seguridad del personal y la adecuada operación de los tractores.
- Se podría complementar el análisis de las fallas con el análisis de criticidad a los tractores de la empresa agrícola para poder determinar a cuáles y cuántas máquinas se les tiene que implementar el plan de mantenimiento.
- Tener y mantener una adecuada comunicación entre el área administrativa y el área de mantenimiento para garantizar el correcto abastecimiento y evitar demoras.

REFERENCIAS

- ARIAS GONZÁLES, J.L. y COVINOS GALLARDO, M., 2021. *Diseño y Metodología de la Investigación*. Arequipa: Enfoques Consulting EIRL.
- BASRI, E.I., ABDUL RAZAK, I.H., AB-SAMAT, H. y KAMARUDDIN, S., 2017. Preventive maintenance (PM) planning: a review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* [en línea], vol. 23, no. 2, pp. 114-143. ISSN 1355-2511. DOI 10.1108/JQME-04-2016-0014. Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JQME-04-2016-0014/full/html>.
- BEN, J.S., 2022. Implementation of Autonomous Maintenance and its Effect on MTBF, MTTR, and Reliability of a Critical Machine in a Beer Processing Plant. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies* [en línea], vol. 31, no. 1, pp. 57-66. [Consulta: 22 septiembre 2022]. ISSN 2509-0119. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/359061752>.
- BENITES FARROMEQUE, L.A. y MINAYA MOLLO, V.M., 2021. *Sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad para aumentar la capacidad de producción en la red de oxígeno de una empresa industrial* [en línea]. S.l.: Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/86905>.
- BENGTSSON, M. y LUNDSTRÖM, G., 2018. On the importance of combining “the new” with “the old” - One important prerequisite for maintenance in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, vol. 25, pp. 118-125. ISSN 2351-9789. DOI 10.1016/J.PROMFG.2018.06.065.
- BOERO, C., 2020. *Mantenimiento industrial*. S.l.: Universitas.
- BOKRANTZ, J., SKOOGH, A., BERLIN, C., WUEST, T. y STAHRÉ, J., 2020. Smart Maintenance: a research agenda for industrial maintenance management.

International Journal of Production Economics, vol. 224. ISSN 0925-5273. DOI 10.1016/J.IJPE.2019.107547.

CASTRO CONDORI, P.C., 2021. *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de bombas sumergibles Empresa EICM Engineering Group, Arequipa-2021* [en línea]. S.l.: Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/75863>.

DUI, H., ZHENG, X., ZHAO, Q.Q. y FANG, Y., 2021. Preventive maintenance of multiple components for hydraulic tension systems. *Eksploracja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* [en línea], vol. 23, no. 3, pp. 489-497. ISSN 15072711. DOI 10.17531/ein.2021.3.9. Disponible en: <http://www.ein.org.pl/sites/default/files/2021-03-09.pdf>.

DZULKIFLI, N., SARBINI, N.N., IBRAHIM, I.S., ABIDIN, N.I., YAHAYA, F.M. y NIK AZIZAN, N.Z., 2021. Review on maintenance issues toward building maintenance management best practices. *Journal of Building Engineering*, vol. 44, pp. 102985. ISSN 23527102. DOI 10.1016/j.job.2021.102985.

ERRANDONEA, I., BELTRÁN, S. y ARRIZABALAGA, S., 2020. Digital Twin for maintenance: A literature review. *Computers in Industry* [en línea], vol. 123, pp. 103316. ISSN 01663615. DOI 10.1016/j.compind.2020.103316. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166361520305509>.

FLORES, M., MEDINA, D., VARGAS, D. y REMACHE, B., 2020. Asignación de modelos de mantenimiento basada en la criticidad y disponibilidad del equipo. *CienciAmérica* [en línea], vol. 9, no. 4, pp. 27-34. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7746457>.

FLORES VELASCO, F., 2021. *Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de los equipos en la Empresa Choco Museo-Cusco 2020* [en línea]. S.l.: Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4209>.

HUANG, J., CHANG, Q. y ARINEZ, J., 2020. Deep reinforcement learning based preventive maintenance policy for serial production lines. *Expert Systems with Applications* [en línea], vol. 160, pp. 113701. ISSN 09574174. DOI 10.1016/j.eswa.2020.113701. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113701>.

HURTADO TALAVERA, F.J., 2020. Fundamentos Metodológicos de la Investigación: El Génesis del Nuevo Conocimiento. *Revista Scientific*, vol. 5, no. 16, pp. 99-119. DOI <https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2020.5.16.5.99-119>.

JUFRI, N. y SISWANTO, N., 2020. Plant Maintenance Modelling Through Availability Analysis In Raw Mill of Cement Production You may also like Plant Maintenance Modelling Through Availability Analysis In Raw Mill of Cement Production. , vol. 1003. DOI 10.1088/1757-899X/1003/1/012117.

KLATHAE, V. y RUANGCHOENGCHUM, P., 2019. The Predictable Maintenance 4.0 by Applying Digital Technology: A case study of heavy construction machinery. *Review of Integrative Business and Economics Research* [en línea], vol. 8, no. 1, pp. 34-46. ISSN 24146722. Disponible en: <https://bit.ly/3LUiSLN>.

KOLTE, T.S. y DABADE, U.A., 2017. Machine Operational Availability Improvement by Implementing Effective Preventive Maintenance Strategies-A Review and Case Study. *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 700-708.

KOSTRZEWSKI, M., GNAP, J., VARJAN, P. y LIKOS, M., 2020. Application of Simulation Methods for Study on Availability of One-Aisle Machine Order Picking Process. *Communications - Scientific letters of the University of Zilina* [en línea], vol. 22, no. 2, pp. 107-114. ISSN 13354205. DOI 10.26552/com.C.2020.2.107-114. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978920301293>.

MARTINS, L., SILVA, F.J.G., PIMENTEL, C., CASAIS, R.B. y CAMPILHO, R.D.S.G.,

2020. Improving Preventive Maintenance Management in an Energy Solutions Company. *Procedia Manufacturing* [en línea], vol. 51, pp. 1551-1558. ISSN 23519789. DOI 10.1016/j.promfg.2020.10.216. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.216>.

MEDAKOVIĆ, V. y MARIĆ, B., 2018. A model of management information system for technical system maintenance. *Acta Technica Corvininensis - Bulletin of Engineering* [en línea], vol. 11, no. 3, pp. 85-90. Disponible en: <https://bit.ly/392d3hQ>.

MERKT, O., 2019. On the use of predictive models for improving the quality of industrial maintenance: An analytical literature review of maintenance strategies. *Proceedings of the 2019 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*. S.I.: Polish Information Processing Society -- as since 2011, pp. 693-704. ISBN 9788395541605. DOI 10.15439/2019F101.

MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO, 2018. MINAGRI instalará centro de mecanización agrícola. [en línea]. [Consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/22532-minagri-instalara-centro-de-mecanizacion-agricola>.

MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO, 2019. Agricultores de Olmos reciben importante donación de equipos y maquinarias. [en línea]. [Consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/28961-agricultores-de-olmos-reciben-importante-donacion-de-equipos-y-maquinarias>.

MOSCOSO, C., FERNANDEZ, A., VIACAVA, G. y RAYMUNDO, C., 2020. Integral model of maintenance management based on TPM and RCM principles to increase machine availability in a manufacturing company. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1018, pp. 878-884. ISSN 21945365. DOI 10.1007/978-3-030-25629-6_137.

MOSQUERA PEÑA, P.M., 2018. *Plan de mantenimiento preventivo para incrementar*

la disponibilidad del cargador frontal 962H en la Empresa Ecofermy-Yauli. S.l.: Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú.

ÑAUPAS PAITÁN, H., DUEÑAS VALDIVIA, M.R., PALACIOS VILELA, J.J. y ROMERO DELGADO, H.E., 2018. *Metodología de la investigación: Cuantitativa–Cualitativa y Redacción de la Tesis*. S.l.: Ediciones de la U.

PALOMINO-VALLES, A., TOKUMORI-WONG, M., CASTRO-RANGEL, P., RAYMUNDO-IBÁÑEZ, C. y DOMINGUEZ, F., 2020. TPM Maintenance Management Model Focused on Reliability that Enables the Increase of the Availability of Heavy Equipment in the Construction Sector. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [en línea], vol. 796, no. 1, pp. 012008. ISSN 1757-8981. DOI 10.1088/1757-899X/796/1/012008. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/796/1/012008>.

PATEL, R.K., DWIVEDI, R.K. y PATEL, V.K., 2018. Review of Preventive Maintenance Optimization of Deteriorating Systems Critical Component Failure in Thermal Power Station by using MCDM View project Biomaterials View project Review of Preventive Maintenance Optimization of Deteriorating Systems. *International Journal for Scientific Research & Development* [en línea], vol. 6, no. 1. [Consulta: 22 septiembre 2022]. Disponible en: <https://ijsrd.com/Article.php?manuscript=IJSRDV6I10053>.

PRAJAPAT, N., TIWARI, A., GAN, X.-P., INCE, N.Z. y HUTABARAT, W., 2017. Preventive Maintenance Scheduling Optimization: A Review of Applications for Power Plants. *Advances in Through-life Engineering Services*, pp. 397-415. DOI 10.1007/978-3-319-49938-3_24.

REYNOSO CALZADA, J.S., 2021. *Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo y su influencia en la disponibilidad mecánica en la línea blanca y amarilla de la Empresa Multiservicios San Francisco de Asís Yarusyacán - Pasco - 2019* [en línea]. S.l.: Tesis de pregrado, Universidad Continental. Disponible en:

<https://hdl.handle.net/20.500.12394/9748>.

RIBEIRO, I.M., GODINA, R., PIMENTEL, C., SILVA, F.J.G. y MATIAS, J.C.O., 2019. Implementing TPM supported by 5S to improve the availability of an automotive production line. *Procedia Manufacturing* [en línea], vol. 38, pp. 1574-1581. ISSN 23519789. DOI 10.1016/j.promfg.2020.01.128. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978920301293>.

SHEHADEH, A., ALSHBOUL, O., TATARI, O., ALZUBAIDI, M.A. y HAMED EL-SAYED SALAMA, A., 2022. Selection of heavy machinery for earthwork activities: A multi-objective optimization approach using a genetic algorithm. *Alexandria Engineering Journal* [en línea], vol. 61, no. 10, pp. 7555-7569. ISSN 11100168. DOI 10.1016/j.aej.2022.01.010. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1110016822000126>.

SILVESTRI, L., FORCINA, A., INTRONA, V., SANTOLAMAZZA, A. y CESAROTTI, V., 2020. Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: A systematic literature review. *Computers in Industry*, vol. 123. ISSN 0166-3615. DOI 10.1016/J.COMPIND.2020.103335.

SITOMPUL, T.A. y WALLMYR, M., 2019. Using Augmented Reality to Improve Productivity and Safety for Heavy Machinery Operators: State of the Art. *The 17th International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry* [en línea]. New York, NY, USA: ACM, pp. 1-9. ISBN 9781450370028. DOI 10.1145/3359997.3365689. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3359997.3365689>.

TALABERA OREZANO, T.N., 2019. *Implementación del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas críticas en Nuevo Mundo S.A., Cercado de Lima, 2019* [en línea]. S.l.: Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/45403>.

TORTORA, A.M.R., DI PASQUALE, V., FRANCIOSI, C., MIRANDA, S. y IANNONE,

R., 2021. The Role of Maintenance Operator in Industrial Manufacturing Systems: Research Topics and Trends. *Applied Sciences* [en línea], vol. 11, no. 7, pp. 3193. ISSN 2076-3417. DOI 10.3390/app11073193. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/7/3193>.

YANG, L., YE, Z., LEE, C.-G., YANG, S. y PENG, R., 2019. A two-phase preventive maintenance policy considering imperfect repair and postponed replacement. *European Journal of Operational Research*, vol. 274, no. 3, pp. 966-977. ISSN 0377-2217. DOI 10.1016/J.EJOR.2018.10.049.

YPANAQUÉ ARTEAGA, S.E., CHUCUYA HUALLPACHOQUE, R.C. y ESQUIVEL PAREDES, L., 2017. Mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad y confiabilidad de una grúa de 50 toneladas. *INGnosis*, vol. 3, no. 2, pp. 309-322. ISSN 2414-8199. DOI 10.18050/INGNOSIS.V3I2.1559.

YUNUSA-KALTUNGO, A. y LABIB, A., 2021. A hybrid of industrial maintenance decision making grids. *Production Planning & Control*, vol. 32, no. 5, pp. 397-414. ISSN 0953-7287. DOI 10.1080/09537287.2020.1741046.

ZHU, Z., XIANG, Y., LI, M., ZHU, W. y SCHNEIDER, K., 2019. Preventive Maintenance Subject to Equipment Unavailability. *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 68, no. 3, pp. 1009-1020. ISSN 0018-9529. DOI 10.1109/TR.2019.2913331.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA
Variable Independiente Mantenimiento Preventivo	Conlleva conocer el estado o situación actual de cada maquinaria o equipo, así como también de sus componentes (Boero, 2020).	El mantenimiento preventivo son un conjunto de acciones que se realizan siguiendo una secuencia a partir de planificar, programar, ejecutar y controlar las diferentes actividades de mantenimiento	Planificar	- Cantidad de fallas - Número Prioritario de riesgo $NPR=S \times O \times D$	Razón
			Programar	- Número de actividades programadas de mantenimiento preventivo	Razón
			Ejecutar	- Número de actividades ejecutadas de mantenimiento preventivo	Razón
			Controlar	- % nivel cumplimiento actividades de mantenimiento preventivo $= \frac{\text{Número de actividades ejecutadas}}{\text{Número de actividades programada}}$	Razón
Variable Dependiente Disponibilidad	Tiempo en el que una unidad/máquina/medio de transporte funcione correctamente y sin averías (Kostrzewski et al., 2020).	La disponibilidad mecánica se obtiene mediante la relación del tiempo promedio entre fallas (MTBF) y la suma del tiempo promedio entre fallas (MTBF) y el tiempo promedio para reparar (MTTR)	Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	$MTBF = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Número de fallas}}$	Razón
			Tiempo promedio para reparar (MTTR)	$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones}}{\text{Número de fallas}}$	Razón

Anexo 2. Instrumento - Check list

CHECKLIST – DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO			
ÁREA:			
NOMBRE DEL INVESTIGADOR:			
FECHA:			
ÍTEMS	SI	NO	OBSERVACIONES
El ambiente de trabajo reúne las condiciones mínimas aceptables para laborar			
Las tareas de trabajo están asignadas de manera específica.			
Todos los equipos se encuentran operativos y funcionando correctamente			
Se realiza una inspección de los equipos antes de que inicie la operación			
La empresa cuenta con un cronograma de capacitaciones			
La empresa tiene un cronograma de actividades relacionadas al mantenimiento de los equipos			
La empresa cuenta con registros de mantenimiento			
la empresa cuenta con un manual de procedimientos relacionados al mantenimiento			
La empresa cuenta con un supervisor de mantenimiento			
La empresa cuenta con repuestos en stock			
La empresa cuenta con un stock de herramientas			
La empresa cuenta con un presupuesto específico destinado al mantenimiento			
OBSERVACIONES ADICIONALES:			

Anexo 3. Instrumento – Cuestionario

Instrucciones: Lea cuidadosamente cada pregunta antes de responder.

- 1. ¿Cuál es el nombre y modelo de la máquina?**
- 2. ¿Al adquirir la máquina fue nueva o de segunda?**
- 3. ¿Cuál es la edad de la máquina?**
- 4. ¿Qué funciones realiza la máquina?**
- 5. ¿Se realiza algún tipo de mantenimiento a la máquina?**
Sí _____ No _____
- 6. ¿Qué tipo de mantenimiento y cada cuánto tiempo se le da a la máquina?**
- 7. ¿Se cumplen las actividades programadas en el plan de mantenimiento de la máquina?**
Sí _____ No _____
- 8. ¿Cuáles son las fallas más comunes de la máquina?**
- 9. ¿El mantenimiento de la máquina lo realiza el personal interno de la empresa o se contrata personal externo?**

Anexo 4. Instrumento – Ficha de recolección de datos

EQUIPO ○	OPERACIÓN		DISPONIBILIDAD POR EQUIPO
	MTBF	MTTR	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100\%$

Anexo 5. Formato de registro - Ficha técnica

FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA			
AÑO DE ADQUISICIÓN DE LA MÁQUINA – EQUIPO:			
ELABORADO POR		FECHA	
MÁQUINA- EQUIPO		UBICACIÓN	
FABRICANTE		FECHA DEL ÚLTIMO MANTENIMIENTO	
MODELO			
MARCA			
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
PESO		ALTURA	
LARGO		ANCHO	
FOTO DE LA MÁQUINA - EQUIPO			
PROPIEDADES TÉCNICAS			
FUNCIÓN			

Nota. Tomado de Flores (2021)

Anexo 6. Cartilla de mantenimiento 50 horas tractores Case IH

MANTENIMIENTO PREVENTIVO
CARTILLA DE MANTENIMIENTO 50 HORAS
TRACTORES CASE IH

FECHA:		MARCA:	
HORA INICIO:		MODELO:	
HORA FINAL:		COD. INTERNO:	
HOROMETRO:		N° OT:	

PERSONAL A CARGO:	
--------------------------	--

SE HIZO (v)

NO SE HIZO (x)

IT	PROCEDIMIENTO	√ o x	OBSERVACIONES
1	Usar los EPP's respectivos		
2	Colocar letrero de equipo en mantenimiento		
3	Aplicar el bloqueo y etiquetado del equipo		
4	Verificar estado del cinturón de seguridad		
5	Verificar estado del extintor		
6	Revisar el sistema de alimentación de aire		
7	Verificar el estado y tensión de la correa del ventilador		
8	Revisar el ajuste de los tornillos de las ruedas y aros		
9	Ajustar pedales de freno		
10	Verificar el estado y la tensión de la correa de transmisión		
11	Ajustar pedal de embrague		
12	Inspeccionar la operación del sistema de aire acondicionado		
13	Verificar el estado y tensión de la correa del alternador		
14	Verificar la correcta operación y el arreglo de todas las luces		
15	Inspeccionar alarmas sonoras		
16	Limpiar el elemento del prefiltro de combustible		
17	Inspeccionar el nivel del líquido de enfriamiento		
18	Verificar estado de la batería		
19	Verificar el estado de la bomba de agua		
20	Verificar la presión de aire de los neumáticos		
21	Verificar el estado y la limpieza del cableado		
22	Verificar el correcto funcionamiento del claxon		

REPUESTOS Y MATERIALES

ÍTEM	N° PARTE	DESCRIPCIÓN	CANT.	OBSERVACIONES

TRABAJOS PENDIENTES				

V°B° TECNICO MANTTO.

V°B° SUPERVISOR MANTTO.

V°B° JEFE MANTENIMIENTO

Anexo 7. Cartilla de mantenimiento 250 horas tractores Case IH

MANTENIMIENTO PREVENTIVO
CARTILLA DE MANTENIMIENTO 250 HORAS
TRACTORES CASE IH

FECHA:		MARCA:	
HORA INICIO:		MODELO:	
HORA FINAL:		COD. INTERNO:	
HOROMETRO:		N° OT:	

PERSONAL A CARGO:	

SE HIZO (v)

NO SE HIZO (x)

IT	PROCEDIMIENTO	√ o x	OBSERVACIONES
1	Usar los EPP's respectivos		
2	Colocar letrero de equipo en mantenimiento		
3	Aplicar el bloqueo y etiquetado del equipo		
4	Verificar estado del cinturón de seguridad		
5	Verificar estado del extintor		
6	Revisar el sistema de alimentación de aire		
7	Verificar el estado y tensión de la correa del ventilador		
8	Revisar el ajuste de los tornillos de las ruedas y aros		
9	Ajustar pedales de freno		
10	Verificar el estado y la tensión de la correa de transmisión		
11	Ajustar pedal de embrague		
12	Inspeccionar la operación del sistema de aire acondicionado		
13	Verificar el estado y tensión de la correa del alternador		
14	Verificar la correcta operación y el arreglo de todas las luces		
15	Inspeccionar alarmas sonoras		
16	Limpiar el elemento del prefiltro de combustible		
17	Inspeccionar el nivel del líquido de enfriamiento		
18	Verificar estado de la batería		
19	Verificar el estado de la bomba de agua		
20	Verificar la presión de aire de los neumáticos		
21	Verificar el estado y la limpieza del cableado		
22	Verificar el correcto funcionamiento del claxon		
23	Cambiar filtro de aceite de motor		
24	Cambiar aceite de motor		
25	Cambiar filtro de combustible principal		
26	Lavado de sedimentador de combustible		
27	Cambiar filtro separador de agua		

28	Lubricar todos los puntos con grasa		
29	Limpiar bornes de la batería		
30	Verificar la presión adecuada de los neumáticos		
31	Inspeccionar el aprieto de los cables de la batería		
32	Inspeccionar la fijación de la batería		
33	Cambiar filtro de retorno de la transmisión		
34	Verificar el nivel del líquido de freno		
35	Cambiar filtro separador de combustible		

REPUESTOS Y MATERIALES

ÍTEM	N° PARTE	DESCRIPCIÓN	CANT.	OBSERVACIONES

TRABAJOS PENDIENTES

V°B° TECNICO MANTTO.

V°B° SUPERVISOR MANTTO.

V°B° JEFE MANTENIMIENTO

Anexo 8. Cartilla de mantenimiento 500 horas tractores Case IH

MANTENIMIENTO PREVENTIVO
CARTILLA DE MANTENIMIENTO 500 HORAS
TRACTORES CASE IH

FECHA:		MARCA:	
HORA INICIO:		MODELO:	
HORA FINAL:		COD. INTERNO:	
HOROMETRO:		N° OT:	

PERSONAL A CARGO:	

SE HIZO (v)

NO SE HIZO (x)

IT	PROCEDIMIENTO	√ o x	OBSERVACIONES
1	Usar los EPP's respectivos		
2	Colocar letrero de equipo en mantenimiento		
3	Aplicar el bloqueo y etiquetado del equipo		
4	Verificar estado del cinturón de seguridad		
5	Verificar estado del extintor		
6	Revisar el sistema de alimentación de aire		
7	Verificar el estado y tensión de la correa del ventilador		
8	Revisar el ajuste de los tornillos de las ruedas y aros		
9	Ajustar pedales de freno		
10	Verificar el estado y la tensión de la correa de transmisión		
11	Ajustar pedal de embrague		
12	Inspeccionar la operación del sistema de aire acondicionado		
13	Verificar el estado y tensión de la correa del alternador		
14	Verificar la correcta operación y el arreglo de todas las luces		
15	Inspeccionar alarmas sonoras		
16	Limpiar el elemento del prefiltro de combustible		
17	Inspeccionar el nivel del líquido de enfriamiento		
18	Verificar estado de la batería		
19	Verificar el estado de la bomba de agua		
20	Verificar la presión de aire de los neumáticos		
21	Verificar el estado y la limpieza del cableado		
22	Verificar el correcto funcionamiento del claxon		
23	Cambiar filtro de aceite de motor		
24	Cambiar aceite de motor		
25	Cambiar filtro de combustible principal		
26	Lavado de sedimentador de combustible		
27	Cambiar filtro separador de agua		

28	Lubricar todos los puntos con grasa		
29	Limpiar bornes de la batería		
30	Verificar la presión adecuada de los neumáticos		
31	Inspeccionar el aprieto de los cables de la batería		
32	Inspeccionar la fijación de la batería		
33	Cambiar filtro de retorno de la transmisión		
34	Verificar el nivel del líquido de freno		
35	Cambiar filtro separador de combustible		
36	Cambiar filtro principal de aceite hidráulico		
37	Cambiar filtro de retorno del sistema hidráulico		
38	Limpiar filtro de succión		
39	Revisar y ajustar el juego del sistema de dirección		
40	Revisar la tensión de la batería y cargarla de ser necesario		
41	Limpiar filtro de tela de la bomba de combustible		
42	Cambiar aceite de la transmisión		
43	Cambiar filtro de aceite de la transmisión		
44	Limpiar manguera del respiradero del cárter		
45	Inspeccionar el ajuste de las abrazaderas		
46	Cambiar filtro de bomba hidráulica		
47	Verificar el estado de las mangueras del sistema de enfriamiento		
48	Cambiar filtro de bomba auxiliar		
49	Ajustar válvulas de admisión y escape		
50	Verificar el estado de mangueras de combustible		
51	Cambiar filtro de aire primario		

REPUESTOS Y MATERIALES

ÍTEM	N° PARTE	DESCRIPCIÓN	CANT.	OBSERVACIONES

TRABAJOS PENDIENTES

V°B° TECNICO MANTTO.

V°B° SUPERVISOR MANTTO.

V°B° JEFE MANTENIMIENTO

Anexo 9. Cartilla de mantenimiento 1000 horas tractores Case IH

MANTENIMIENTO PREVENTIVO
CARTILLA DE MANTENIMIENTO 1000 HORAS
TRACTORES CASE IH

FECHA:		MARCA:	
HORA INICIO:		MODELO:	
HORA FINAL:		COD. INTERNO:	
HOROMETRO:		N° OT:	

PERSONAL A CARGO: _____

SE HIZO (v)

NO SE HIZO (x)

IT	PROCEDIMIENTO	√ o x	OBSERVACIONES
1	Usar los EPP's respectivos		
2	Colocar letrero de equipo en mantenimiento		
3	Aplicar el bloqueo y etiquetado del equipo		
4	Verificar estado del cinturón de seguridad		
5	Verificar estado del extintor		
6	Revisar el sistema de alimentación de aire		
7	Verificar el estado y tensión de la correa del ventilador		
8	Revisar el ajuste de los tornillos de las ruedas y aros		
9	Ajustar pedales de freno		
10	Verificar el estado y la tensión de la correa de transmisión		
11	Ajustar pedal de embrague		
12	Inspeccionar la operación del sistema de aire acondicionado		
13	Verificar el estado y tensión de la correa del alternador		
14	Verificar la correcta operación y el arreglo de todas las luces		
15	Inspeccionar alarmas sonoras		
16	Limpiar el elemento del prefiltro de combustible		
17	Inspeccionar el nivel del líquido de enfriamiento		
18	Verificar estado de la batería		
19	Verificar el estado de la bomba de agua		
20	Verificar la presión de aire de los neumáticos		
21	Verificar el estado y la limpieza del cableado		
22	Verificar el correcto funcionamiento del claxon		
23	Cambiar filtro de aceite de motor		
24	Cambiar aceite de motor		
25	Cambiar filtro de combustible principal		
26	Lavado de sedimentador de combustible		
27	Cambiar filtro separador de agua		

28	Lubricar todos los puntos con grasa		
29	Limpiar bornes de la batería		
30	Verificar la presión adecuada de los neumáticos		
31	Inspeccionar el aprieto de los cables de la batería		
32	Inspeccionar la fijación de la batería		
33	Cambiar filtro de retorno de la transmisión		
34	Verificar el nivel del líquido de freno		
35	Cambiar filtro separador de combustible		
36	Cambiar filtro principal de aceite hidráulico		
37	Cambiar filtro de retorno del sistema hidráulico		
38	Limpiar filtro de succión		
39	Revisar y ajustar el juego del sistema de dirección		
40	Revisar la tensión de la batería y cargarla de ser necesario		
41	Limpiar filtro de tela de la bomba de combustible		
42	Cambiar aceite de la transmisión		
43	Cambiar filtro de aceite de la transmisión		
44	Limpiar manguera del respiradero del cárter		
45	Inspeccionar el ajuste de las abrazaderas		
46	Cambiar filtro de bomba hidráulica		
47	Verificar el estado de las mangueras del sistema de enfriamiento		
48	Cambiar filtro de bomba auxiliar		
49	Ajustar válvulas de admisión y escape		
50	Verificar el estado de mangueras de combustible		
51	Cambiar filtro de aire primario		
52	Cambiar filtro de aire secundario		
53	Inspeccionar el estado general de operación del motor (presión, temperatura y desempeño)		
54	Cambiar filtro de aire de cabina		
55	Limpiar radiador		
56	Resuministrar al radiador con líquido de enfriamiento adecuado		
57	Cambiar fluido de freno		
58	Cambiar el elemento filtrante de aire de la cabina		
59	Limpiar y llenar el sistema de enfriamiento		
60	Verificar estado y presión de inyectores		
61	Limpiar y llenar tanques de combustible		
62	Comprobar estado y funcionamiento del alternador		
63	Revisar conexiones del cable tierra de la batería		
64	Inspeccionar la operación del motor de arranque		
65	Cambiar filtro de aire de recirculación de cabina		
66	Cambiar filtro secador de aire comprimido		

REPUESTOS Y MATERIALES

ÍTEM	N° PARTE	DESCRIPCIÓN	CANT.	OBSERVACIONES

TRABAJOS PENDIENTES

V°B° TECNICO MANTTO.

V°B° SUPERVISOR MANTTO.

V°B° JEFE MANTENIMIENTO

Anexo 10. Cartilla de mantenimiento 2000 horas tractores Case IH

MANTENIMIENTO PREVENTIVO
CARTILLA DE MANTENIMIENTO 1000 HORAS
TRACTORES CASE IH

FECHA:		MARCA:	
HORA INICIO:		MODELO:	
HORA FINAL:		COD. INTERNO:	
HOROMETRO:		N° OT:	

PERSONAL A CARGO: _____

SE HIZO (v) NO SE HIZO (x)

IT	PROCEDIMIENTO	√ o x	OBSERVACIONES
1	Usar los EPP's respectivos		
2	Colocar letrero de equipo en mantenimiento		
3	Aplicar el bloqueo y etiquetado del equipo		
4	Verificar estado del cinturón de seguridad		
5	Verificar estado del extintor		
6	Revisar el sistema de alimentación de aire		
7	Verificar el estado y tensión de la correa del ventilador		
8	Revisar el ajuste de los tornillos de las ruedas y aros		
9	Ajustar pedales de freno		
10	Verificar el estado y la tensión de la correa de transmisión		
11	Ajustar pedal de embrague		
12	Inspeccionar la operación del sistema de aire acondicionado		
13	Verificar el estado y tensión de la correa del alternador		
14	Verificar la correcta operación y el arreglo de todas las luces		
15	Inspeccionar alarmas sonoras		
16	Limpiar el elemento del prefiltro de combustible		
17	Inspeccionar el nivel del líquido de enfriamiento		
18	Verificar estado de la batería		
19	Verificar el estado de la bomba de agua		
20	Verificar la presión de aire de los neumáticos		
21	Verificar el estado y la limpieza del cableado		
22	Verificar el correcto funcionamiento del claxon		
23	Cambiar filtro de aceite de motor		
24	Cambiar aceite de motor		
25	Cambiar filtro de combustible principal		
26	Lavado de sedimentador de combustible		
27	Cambiar filtro separador de agua		

28	Lubricar todos los puntos con grasa		
29	Limpiar bornes de la batería		
30	Verificar la presión adecuada de los neumáticos		
31	Inspeccionar el aprieto de los cables de la batería		
32	Inspeccionar la fijación de la batería		
33	Cambiar filtro de retorno de la transmisión		
34	Verificar el nivel del líquido de freno		
35	Cambiar filtro separador de combustible		
36	Cambiar filtro principal de aceite hidráulico		
37	Cambiar filtro de retorno del sistema hidráulico		
38	Limpiar filtro de succión		
39	Revisar y ajustar el juego del sistema de dirección		
40	Revisar la tensión de la batería y cargarla de ser necesario		
41	Limpiar filtro de tela de la bomba de combustible		
42	Cambiar aceite de la transmisión		
43	Cambiar filtro de aceite de la transmisión		
44	Limpiar manguera del respiradero del cárter		
45	Inspeccionar el ajuste de las abrazaderas		
46	Cambiar filtro de bomba hidráulica		
47	Verificar el estado de las mangueras del sistema de enfriamiento		
48	Cambiar filtro de bomba auxiliar		
49	Ajustar válvulas de admisión y escape		
50	Verificar el estado de mangueras de combustible		
51	Cambiar filtro de aire primario		
52	Cambiar filtro de aire secundario		
53	Inspeccionar el estado general de operación del motor (presión, temperatura y desempeño)		
54	Cambiar filtro de aire de cabina		
55	Limpiar radiador		
56	Resuministrar al radiador con líquido de enfriamiento adecuado		
57	Cambiar fluido de freno		
58	Cambiar el elemento filtrante de aire de la cabina		
59	Limpiar y llenar el sistema de enfriamiento		
60	Verificar estado y presión de inyectores		
61	Limpiar y llenar tanques de combustible		
62	Comprobar estado y funcionamiento del alternador		
63	Revisar conexiones del cable tierra de la batería		
64	Inspeccionar la operación del motor de arranque		
65	Cambiar filtro de aire de recirculación de cabina		
66	Cambiar filtro secador de aire comprimido		
67	Cambiar faja de compresor (aire comprimido)		
68	Inspeccionar correa del motor		
69	Inspeccionar turbocompresor		
70	Inspeccionar estado de las uniones universales		
71	Inspeccionar bomba de agua		
72	Inspeccionar correa del alternador		
73	Verificar bomba inyectora de combustible		
74	Cambiar faja de alternador		

75

Cambiar faja de motor

REPUESTOS Y MATERIALES

ÍTEM	N° PARTE	DESCRIPCIÓN	CANT.	OBSERVACIONES

TRABAJOS PENDIENTES

V°B° TECNICO MANTTO.

V°B° SUPERVISOR MANTTO.

V°B° JEFE MANTENIMIENTO



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, FREDY DAVILA HURTADO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis Completa titulada: "Plan de mantenimiento preventivo para aumentar disponibilidad de maquinaria en una empresa agrícola en la región Lambayeque", cuyo autor es MONTALVAN DAMIAN WILLY JAVIER, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 12.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 10 de Diciembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
FREDY DAVILA HURTADO DNI: 16670066 ORCID: 0000-0001-8604-8811	Firmado electrónicamente por: FRDAVILAH el 18-12- 2022 21:27:05

Código documento Trilce: TRI - 0481736