



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, basado en el AMEF para aumentar la disponibilidad de la maquinaria agrícola de una empresa azucarera de la Región La Libertad.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Vega Avalos, Andy Joel (ORCID: 0000-0002-9937-332X)

ASESOR:

Julca Verastegui Luis Alberto (ORCID: 0000-0001-5158-2686)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes De Mantenimiento

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mi esposa Ruth Barroso, por apoyarme en todo momento, y a mi hijo André Vega quienes son mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder darles un futuro mejor.

A mi hermano Dante Vega, por haber forjado para ser la persona que soy en la actualidad y apoyarme, uno de estos logros se lo debo a él, porque siempre decía: “querer es poder, lo que te propongas lo vas a logra con esfuerzo y dedicación ahí estaré para apoyarte siempre”.

También a mis familiares que me apoyaron y estuvieron conmigo en toda esta trayectoria de formación profesional.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios por proteger mi camino darme vida, salud y las fuerzas necesarias para seguir adelante en todo propósito.

Agradezco a mis padres por el apoyo incondicional en esta etapa de formación profesional

Agradezco también a mis profesores por compartir sus conocimientos e incentivar a seguir adelante.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE DE TABLAS.....	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
II. METODOLOGÍA	15
3.1. Tipo y diseño de la investigación	15
3.2. Variables y Operacionalización.....	15
3.3. Población, muestra y muestreo.....	18
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	18
3.5. Procedimientos	18
3.6. Método de análisis de datos.....	19
3.7. Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS.....	21
4.1. Evaluación de las condiciones iniciales, en materia de mantenimiento, de las máquinas John Deere y Massey Ferguson, con las que cuenta la empresa, para determinar los indicadores de mantenimiento	21
4.2. Análisis de criticidad en la fase de operación.....	30
4.2.1. Indicadores de criticidad de las Máquinas	30
4.2.2. Estudio de los modos y efectos de fallas (AMEF) y el Número de prioridad de riesgos (NPR).....	33
4.2.2.1. Número de Prioridad de Riesgos (NPR).....	43
4.3. Plan de mantenimiento preventivo, RCM, tomando en cuenta los resultados obtenidos del AMEF y NPR previamente evaluados.....	44
4.3.1. Plan de Mantenimiento propuesto.....	44
4.3.2. Mantenimiento Obligatorio por garantía	45
4.3.3. Plan de Mantenimiento según la criticidad del AMEF.....	48
4.4. Nuevos indicadores en condiciones de mejora, luego de proyectar el Plan elaborado, y contrastar con los iniciales.....	50

4.5. Estudio de costos de la inversión para la implementación del Plan de mantenimiento, materia del presente trabajo y determinar el beneficio económico y el retorno de la inversión.	51
4.5.1. Beneficios económicos en reducción de horas perdidas.	51
4.5.2. Costo por implementación del mantenimiento predictivo.	52
4.5.3. Costos para la implementación del mantenimiento preventivo	52
4.5.4. Beneficio útil	53
4.5.5. Retorno operacional de la inversión (R.O.I.).....	54
V. DISCUSIÓN	55
VI. CONCLUSIONES.....	57
VII. RECOMENDACIONES.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXOS.....	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Hojas de información.....	10
Tabla 2: Hojas de decisión	10
Tabla 3: Variable independiente	16
Tabla 4: Variable dependiente.....	17
Tabla 5: Técnicas e instrumentos del estudio.....	18
Tabla 6: Análisis de tiempos de operación/parada de las maquinarias.....	22
<i>Tabla 7: Determinación de indicadores de mantenimiento</i>	<i>24</i>
Tabla 8: Resumen de análisis de criticidad de los tractores John Deere y Massey Ferguson.....	30
Tabla 9: Hoja de información de la maquina JOHN DEERE 7220J	34
Tabla 10: Hoja de información de la maquina JOHN DEERE 7230J	36
Tabla 11: Hoja de información de la maquina MASSEY FERGUSON 7415	38
Tabla 12: Hoja de información de la maquina MASSEY FERGUSON 7515	40
Tabla 13: Análisis del NPR.....	43
Tabla 14: Intervalos de cambio de aceite vs. % de azufre	44
Tabla 15: Horas de funcionamiento/intervalo	45
Tabla 16: Ejecución de mantenimiento preventivo.	47
Tabla 17 Plan de mantenimiento de acuerdo a criticidad del AMEF	48
Tabla 18: Determinación de indicadores post mejora	50
Tabla 19: Beneficio debido a la reducción de horas perdidas.....	51
Tabla 20: Costos en mantenimiento predictivo en la maquinaria	52
Tabla 21: Costos en mantenimiento preventivo en maquinaria	52
Tabla 22: Resumen de los costos de mantenimiento	53
Tabla 23: Inversión en activos fijos.....	53
Tabla 24: Variable dependiente.....	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Siete interrogantes del RCM.	7
Figura 2: Matriz de Criticidad.....	8
Figura 3: Árbol lógico de decisiones.....	11
Figura 4: Tractor John Deere	14
Figura 5: Tractor Massey Ferguson 7415.....	14

RESUMEN

Se presenta esta investigación, en la cual se ha realizado un análisis de mejora para el grupo operativo de maquinaria agrícola de una empresa azucarera de la Región La Libertad, con la finalidad de incrementar la disponibilidad, mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad, basado en el AMEF (Análisis de modos y efecto de fallas).

Se ha empezado el estudio determinando los indicadores de mantenimiento en condiciones de etapa inicial (el antes), evaluando la disponibilidad y confiabilidad; a continuación, se ha realizado el correspondiente análisis de criticidad a fin de clasificar las fallas encontradas como críticas, medianamente críticas y no críticas. A partir de la determinación indicada, se ha tomado como única referencia, a las fallas críticas para realizar el análisis de modo y efecto de fallas y el cálculo del número de prioridad de riesgo. Una vez establecido las fallas preponderantes y su calificación de gravedad, ocurrencia y detección, se procedió a efectuar el plan de mantenimiento preventivo basado en el AMEF.

Finalmente, en el presente trabajo, se comprobó que la propuesta incrementaría la disponibilidad en un 18.44%, como también incrementaría la confiabilidad en un 4.23 %, para el grupo de maquinaria agrícola de la empresa azucarera estudiada.

Además, se ha realizado el respectivo estudio del costo de implementación de mantenimiento obteniendo un beneficio de 153104.64 US\$/año. Estos resultados fueron los orientadores en el cálculo para poder determinar el retorno de la inversión, que a todas luces ha sido beneficioso.

Palabras Clave: AMEF, NPR, disponibilidad, confiabilidad.

ABSTRACT

In this research, an improvement analysis has been carried out for the agricultural machinery operating group of a sugar company in the La Libertad Region, in order to increase availability, through the implementation of a preventive maintenance plan focused on reliability, based on FMEA (Failure Mode and Effect Analysis).

The study has started determining the maintenance indicators in initial stage conditions (the before), evaluating the availability and reliability; Next, the corresponding criticality analysis has been carried out in order to classify the failures found as critical, moderately critical and non-critical. From the determination indicated, the only reference has been taken to the critical failures to perform the failure mode and effect analysis and the calculation of the risk priority number. Once the preponderant failures and their severity, occurrence and detection qualification had been established, the preventive maintenance plan based on the FMEA was carried out.

Finally, in the present work, it was found that the proposal would increase availability by 18.44%, as well as increase reliability by 4.23%, for the agricultural machinery group of the sugar company studied.

In addition, the respective study of the maintenance implementation cost has been carried out in addition to the benefit that this would provide the company. These results were the guides in the calculation to determine the return on investment, which clearly has been beneficial.

Keywords: FMEA, NPR, availability, reliability

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, el plan de mantenimiento, va de la mano con la industria, ha evolucionado de forma relevante, debido al cambio constante en la tecnología y los equipos de control. En los países de Europa, un plan de mantenimiento preventivo ha significado un aumento en la productividad de la maquinaria equivalente en un 70% y 90% dado que ya no se recurre a costos de reparación, mano de obra, piezas y repuestos. No obstante, en Latinoamérica un plan de mantenimiento poniéndose en práctica de forma lenta y se viene tomando conciencia de ello desde los últimos 10 años.

En las grandes industrias donde se utiliza maquinaria agrícola, la productividad de ésta, por razones de realizar un plan de mantenimiento, se ha incrementado entre un 50% y 65% paulatinamente, pues se han preocupado en mantener a la maquinaria en el mejor estado posible y menorar la probabilidad de fallas mediante revisiones periódicas (Sistema Nacional de Información en Salud - SINAIS, 2016).

A nivel nacional, en Perú, durante las últimas décadas, estrictos estándares de calidad como la presión competitiva han obligado a las empresas a cambiar sus servicios de mantenimiento. Estos cambios implican pasar de un departamento que repara y cambia piezas o máquinas completas a una parte de alto valor de la productividad total de la empresa, mediante la aplicación de nuevas tecnologías y prácticas. En la situación actual, es necesario, tanto en las grandes como medianas empresas, implementar una estrategia de mantenimiento preventivo para aumentar la vida útil de sus componentes y, en consecuencia, mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, lo que afecta la productividad de la planta.

Actualmente, en el departamento de La Libertad (Perú), el mantenimiento correctivo se realiza principalmente, por lo que la cantidad de repuestos consumidos es grande y en algunos casos es necesario esperar el suministro necesario para cubrir las necesidades de mantenimiento. El mantenimiento, como sí no, el cronograma de actividades no permite controlar la necesidad de realizar estas actividades, lo que se traduce en mayores costos de mantenimiento de repuestos y mayores turnos de trabajo, así como una "producción ultrabaja".

En el rubro de la maquinaria pesada es necesario emplear planes de mantenimiento, Si una de estas máquinas se avería y hay que detener el trabajo, por ejemplo, la construcción de una tercera carretera, las zonas rurales quedarán aisladas del condado durante mucho tiempo y tendrá un gran impacto en la comunidad. (TECSUP, 2015). En este contexto, el área de taller Agrícola ubicada en la provincia de Trujillo, tiene como actividad administrar la maquinaria pesada al sector agrícola, la misma que recibe un tipo de mantenimiento conservador; así, el 80% de las actividades de mantenimiento, actuales, se ejecutan en el rubro de reparación de fallas inesperadas, esto conduce a una menor productividad, lo que genera costos adicionales como horas extras pagadas a operadores y mecánicos, inventario y depreciación de suministros y repuestos, entre otros. La dirección de la empresa cree que el coste de mantenimiento en exceso para 2020 puede superar el 65% del presupuesto asignado para este período al departamento de mantenimiento.

De continuar esta situación, en el área de taller Agrícola seguirá reduciendo sus niveles de productividad con respecto a la maquinaria agrícola, dado que las consecuencias de estos problemas dañifican no solo a la productividad de la maquinaria, sino, también, a los trabajadores, al área y a los costos que se manejan.

Por ello, este estudio propone el desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para determinar qué está mal al trabajar con el mantenimiento correctivo de este tipo de equipos, sus consecuencias para la sociedad, su alto costo, y la importante necesidad de aspectos técnicos de los recursos humanos. Esto mantendrá todas esas máquinas inactivas durante mucho tiempo.

En consecuencia, la presente investigación es de suma importancia pues pretende elevar la disponibilidad de la maquinaria agrícola de una empresa azucarera en el departamento de La Libertad, realizando un Plan de mantenimiento R.C.M, basado en el AMEF.

Con la finalidad de obtener la realidad actual de la empresa donde se ha realizado la presente investigación, a continuación, presentamos los principales datos generales y particulares:

La empresa azucarera está ubicada en el departamento de La Libertad, Perú, dedicada al cultivo e industrialización de la caña de azúcar. Elabora y comercializa azúcar y sus derivados (alcohol, melaza y bagazo).

La empresa cuenta con una flota de 06 tractores John Deere y 04 tractores Massey Ferguson 7415.

Por esta razón, la formulación del problema es: ¿Cómo aumentar la disponibilidad de la maquinaria agrícola de una empresa azucarera de la Región aplicando un Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad en el funcionamiento de la maquinaria?

Una vez, detallado nuestro problema es necesario elaborar las debidas justificaciones, por lo que se estructura de la siguiente manera: El presente trabajo se justifica: i) económicamente, porque al aplicar el plan de mantenimiento RCM, se podrá aumentar la disponibilidad de la maquinaria y disminuir las pérdidas económicas por paradas de mantenimientos correctivo; ii) metodológicamente, porque la aplicación de nuevas estrategias, como lo son el AMEF y el NPR, permiten encontrar el origen de las fallas que estén produciendo pérdidas en el proceso y disminución de la vida útil de la maquinaria agrícola, pudiéndose usarse esta metodología para estudios futuros; iii) institucionalmente, porque la implementación, como instrumento de obtención de mayor confiabilidad en el proceso, determinará la reducción de pérdidas de producción y permite a la empresa involucrada, estando entre las primeras empresas del ramo de producción de azúcar, permitiendo que el estudiante aplique lo aprendido y extienda sus conocimientos de mantenimiento hacia el campo laboral; y, iv) social y ambientalmente, porque la aplicación del plan RCM, a la maquinaria agrícola, permite hallar encontrar el origen que generan las pérdidas de combustible e insumos consumibles como aceites, filtros, etc., que son evacuados, con el consecuente perjuicio al medio ambiente.

Luego de haber realizado la justificación de la tesis, materia del presente estudio, se determina los siguientes objetivos: El Objetivo general para el desarrollo de esta investigación es elaborar un Plan basado en el RCM, para aumentar la disponibilidad de la maquinaria agrícola de una empresa azucarera de la Región

La Libertad; y, para llegar a ello, se obtuvo los siguientes objetivos específicos: (1) Realizar una evaluación de las condiciones iniciales, en materia de mantenimiento, de las máquinas John Deere y Massey Ferguson, con las que cuenta la empresa, para hallar los indicadores de mantenimiento iniciales; (2) Realizar un análisis de criticidad en la fase de operación para clasificar las fallas importantes en la maquinaria agrícola y elaborar las respectivas hojas del AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Fallas) y NPR (Número de Prioridad de Riesgos); (3) Elaborar un plan de mantenimiento preventivo, centrado en la confiabilidad, tomando en cuenta los resultados obtenidos del AMEF y NPR previamente evaluados; (4) Determinar los nuevos indicadores en condiciones de mejora, luego de proyectar el Plan elaborado, y contrastar con los iniciales; (5) Realizar un estudio de costos de la inversión para la implementación del Plan de mantenimiento, materia del presente trabajo y determinar el fruto económico y el regreso de la inversión.

Luego de haber definido los objetivos, se plantea la siguiente hipótesis: Por medio de la elaboración de un Plan de Mantenimiento, centrado en la confiabilidad, se aumentará la disponibilidad de la maquinaria agrícola en una empresa azucarera en el departamento de La Libertad.

II. MARCO TEÓRICO.

Para esta investigación, se toma como antecedencia investigaciones previas que contribuyen a la tesis, por ejemplo, a nivel internacional:

Se encontró un trabajo de investigación (Martínez, 2014), donde el autor elaboró un estudio detallado de la forma como se dirige una empresa. El autor encontró que el 80% de las actividades laborales se obtuvo por la presencia de fallas imprevistas, ocasionando un aumento de los gastos adicionales en un 15%, por horas extraordinarias del personal de mantenimiento, alto inventario, alta inversión. Utilizó herramientas como el mantenimiento, ganando días laborables. Las fallas de equipos cayeron en un 52%, los costos aumentados en un 11%, dado que los componentes y repuestos se reemplazaban adecuadamente menorando los días de trabajo. El autor asegura que gracias al plan de mantenimiento realizado se logró aumentar la productividad de los equipos de 36% a 63%.

Suniaga (2010), En su investigación, utilizando la metodología AMEF, evaluó indicadores para maquinaria pesada, incluidas cargadoras de ruedas, topadoras, topadoras, motoniveladoras y camionetas; Alcanzó 75% - 82% de disponibilidad, 78% - 83% de confiabilidad, aumentó a 423 solicitudes de reparación y mantenimiento preventivo, 2,667 horas de mantenimiento no programado. Debido a este problema, se realizó un mantenimiento preventivo, pero según el análisis de AMEF, la disponibilidad aumentó en el rango del 88% al 95% y la confiabilidad del 88% al 94%. El autor concluye que, con la implementación del mantenimiento preventivo, los costos de mantenimiento se redujeron hasta en un 71,50%.

Casachagua (2017), realizó la ejecución de un plan de mantenimiento preventivo utilizando equipos RCM y AMEF. El análisis de importancia utilizó cinco criterios, que concluyeron e identificaron el equipo crítico más importante, lo que resultó en un nivel de tiempo de actividad del 81%. Durante este tiempo, AMEF consideró 65 patrones de fallas potenciales, resultando en una pérdida de 1,846 horas / año con 67,453.00 nuevos soles / año en costos de fabricación. El autor concluye que el plan de mantenimiento de RCM mejora el tiempo de actividad en un 90%.

Ayay (2014), el investigador diseñó e hizo un análisis económico de un proyecto de mantenimiento predictivo y preventivo basado en el AMEF para que los gastos por mantenimiento de la maquinaria pesada en la compañía Multiservicios D&A S.A.C reduzcan. Así mismo, aplicó dos tipos de planes de mantenimiento, preventivo y predictivo para mejorar la confiabilidad de las máquinas de la empresa D&A SAC. Se encontraron que el 51% son fallas indeseables. El costo de inversión para la aplicación del AMEF fue de 73800.00 N. S, 101606.5 N. S/año consiguió un beneficio neto y con ROI de 260 días resultando factible el plan propuesto.

Linares (2014), diseñó un plan basado en el RCM para motores de camiones Scania para disminuir los gastos operativos en una empresa e incrementar su disponibilidad. El autor aclaró que la empresa, en la actualidad, es un taller dedicado a la reparación y mantenimiento de sus propios camiones Scania, la empresa cuenta con 7 camiones Scania, modelos: 3 de G420, 1 de P380, P460, P360 y R400 de acuerdo a sus condiciones de operación no cuentan con un plan de mantenimiento. Se realizó un análisis a los subsistemas del motor Scania tales como: Lubricación, enfriamiento, combustible, escape, eléctrico y admisión del aire. Fue encontrado como subsistemas críticos: Lubricación y enfriamiento, y como subsistemas semi-críticos: combustible, eléctrico y admisión del aire, y no crítico: escape, encontrando los indicadores promedios de la disponibilidad en 95%, la confiabilidad en 86% y la mantenibilidad 32%. La disponibilidad en condiciones de mejora aumentó a 99%, la confiabilidad a 96% y se disminuyó la mantenibilidad a 13%. Concluyendo que en el desarrollo del AMEF a los 6 subsistemas del motor se hallaron que de las 53 fallas incluidas en el AMEF 47.17% (25) son fallas inaceptables, 30.19% (16) son fallas de reducción deseable y 22.64% (12) son fallas aceptables. Resulto 70897 US\$/año, aceptable para la empresa, el beneficio neto con la aplicación del plan RCM, con costo de inversión de 20300.00 US\$ y PRI de 87 días lo que demuestra que es factible.

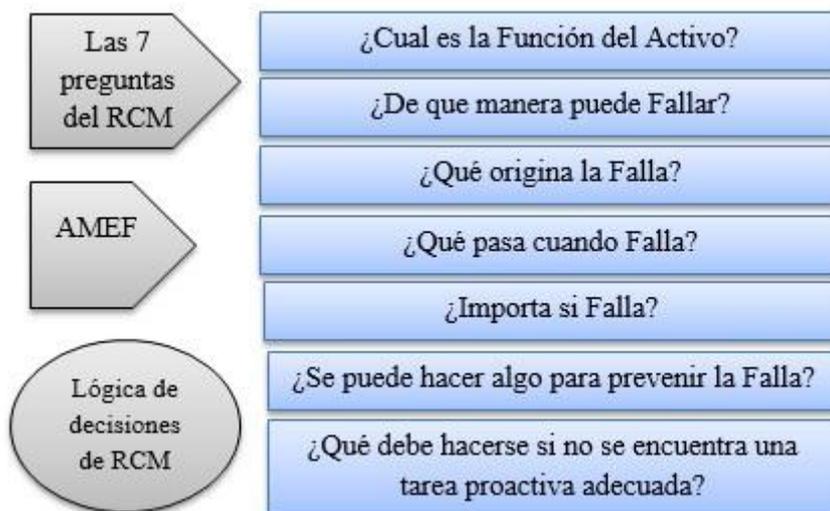
Después de haber descrito algunos trabajos previos, a continuación, se muestran conceptos que reforzarán la formulación, el desarrollo y percepción de la presente investigación. El primer concepto es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o Reliability Centred Maintenance (RCM) que se centra en un

procedimiento científico fundamentado en metodologías y estrategias, pero con amplia seguridad en los resultados que se logran (Gonzales Fernández, 2015).

El RCM es un conjunto de procedimientos organizados que se utiliza con la finalidad de anticiparse a las fallas funcionales de los equipos o maquinarias, establecer las consecuencias y su repercusión de las fallas, orientar en establecer y programar las órdenes de trabajo o actividades predictivas y hasta proactivas.

Estos procedimientos, nos conducen a establecer una metodología en base a 7 preguntas para la implementación del RCM, como a continuación se ilustra:

Figura 1: Siete interrogantes del RCM.



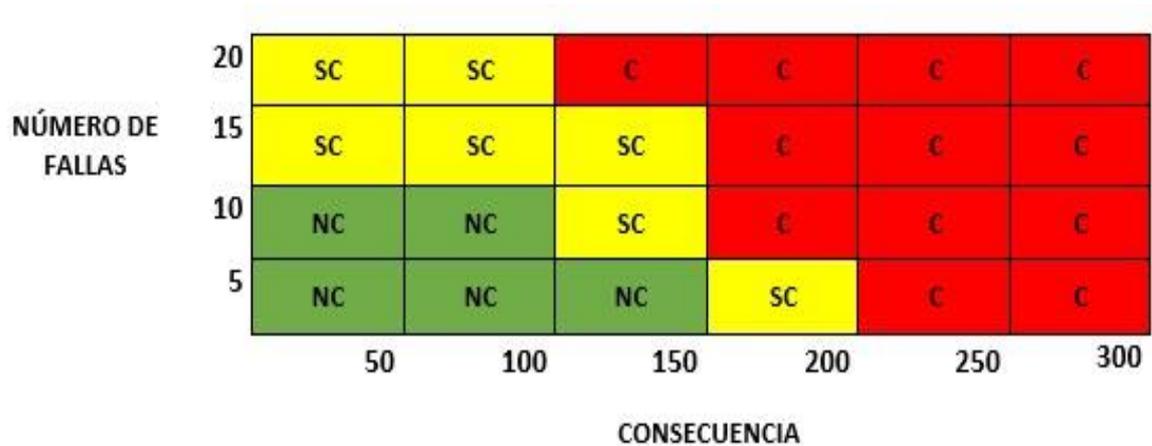
Fuente: Moubray, 2004.

Con el RCM da como resultado enormes mejoras, aumentando la disponibilidad en sus activos, reducir el mantenimiento correctivo, disminuye paradas inesperadas, se tiene una visión más clara de los resultados de los errores, estudia y descubre las anomalías que existen en la planta, reconoce las diferentes causas que originadas por las fallas eventuales, mejora el abastecimiento de repuestos y accesorios, reduce los tiempos en las reparaciones, realiza la debida capacitación al personal, optimiza la gestión de mantenimiento.

Para iniciar el RCM mediante el ordenamiento de evaluación y análisis de investigación, es conveniente definir un parámetro importante llamado índice de criticidad, que identifica a la presencia de fallas en las máquinas que ocasionan paralizaciones e interrupciones frecuentes, daños a otros dispositivos o infraestructura y demora y parada en las labores.

Para hallar este índice de una unidad o equipo se utiliza un arreglo (figura 2) por consecuencia de la falla. Como se observa en la figura, se muestra la frecuencia o número de fallas en un determinado periodo versus los impactos o consecuencias de la falla (Améndola, 2012).

Figura 2: Matriz de Criticidad.



Fuente: Ávila, 2008.

La criticidad se determina cuantitativamente, en base a la siguiente expresión: (Pemex, 2010):

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

Se propone que la consecuencia se determina por:

(<http://aprendizajevirtual.pemex.com>):

$$\text{Consecuencia} = D. P * I. P * D. I * I. A * I. PR$$

Donde:

- D.P: Daños al personal
- I.P: consecuencia en la empresa
- D.I: perjuicios o daños
- I.A: Impacto ambiental
- I.PR: Impacto a la producción

Las tablas para la ponderación de los 6 criterios de la criticidad, se muestran en el anexo 2.

Otros conceptos muy importantes son el AMEF, el cual es un proceso metodológico para identificar las principales averías en productos (MCD. Vicente Moreno, 2017); y, el árbol lógico de decisiones.

Con el AMEF se obtiene grandes mejoras como: garantizar que todos los modos de falla ocurridos y sus consecuencias sean entendidos, indicar o señalar deficiencias de diseño, proponer alternativas en la etapa de diseño, proponer criterios para las acciones correctivas, proponer criterios para las acciones preventivas.

Para efectuar el AMEF se deben cumplir los pasos siguientes: especificar las técnicas a ser evaluados, detallar las cantidades de fallas, hallar las causas que ocasionan los modos y efecto de fallas, determinación de la severidad, determinar la detención, promediar RPN, evaluar las zonas donde atender y las mejoras que se van a efectuar.

El AMEF, es utilizado para analizar e identificar a través de un proceso en dos partes. Para ejecutar este proceso se realiza un trabajo en campo donde se llega obtener la información veraz de todos los componentes para luego poner en curso el plan con la documentación indicada:

Hojas de información: Se registra la información para que se pueda instaurar las actividades propuestas mediante estas hojas. Es buena práctica dar respuesta a las primeras tres preguntas descritas anteriormente.

Tabla 1: Hojas de información

Nombre del equipo:			
Sistema:			
Pieza	Función que desempeña (F)	Modo de fallo funcional (FF)	Causas Potenciales de fallo (FM)

Fuente: Moubray, 2014

Hojas de decisión: Se registran las consecuencias y las tareas producto del análisis, y así es posible dar respuesta a las últimas 4 preguntas del RCM:

Tabla 2: Hojas de decisión

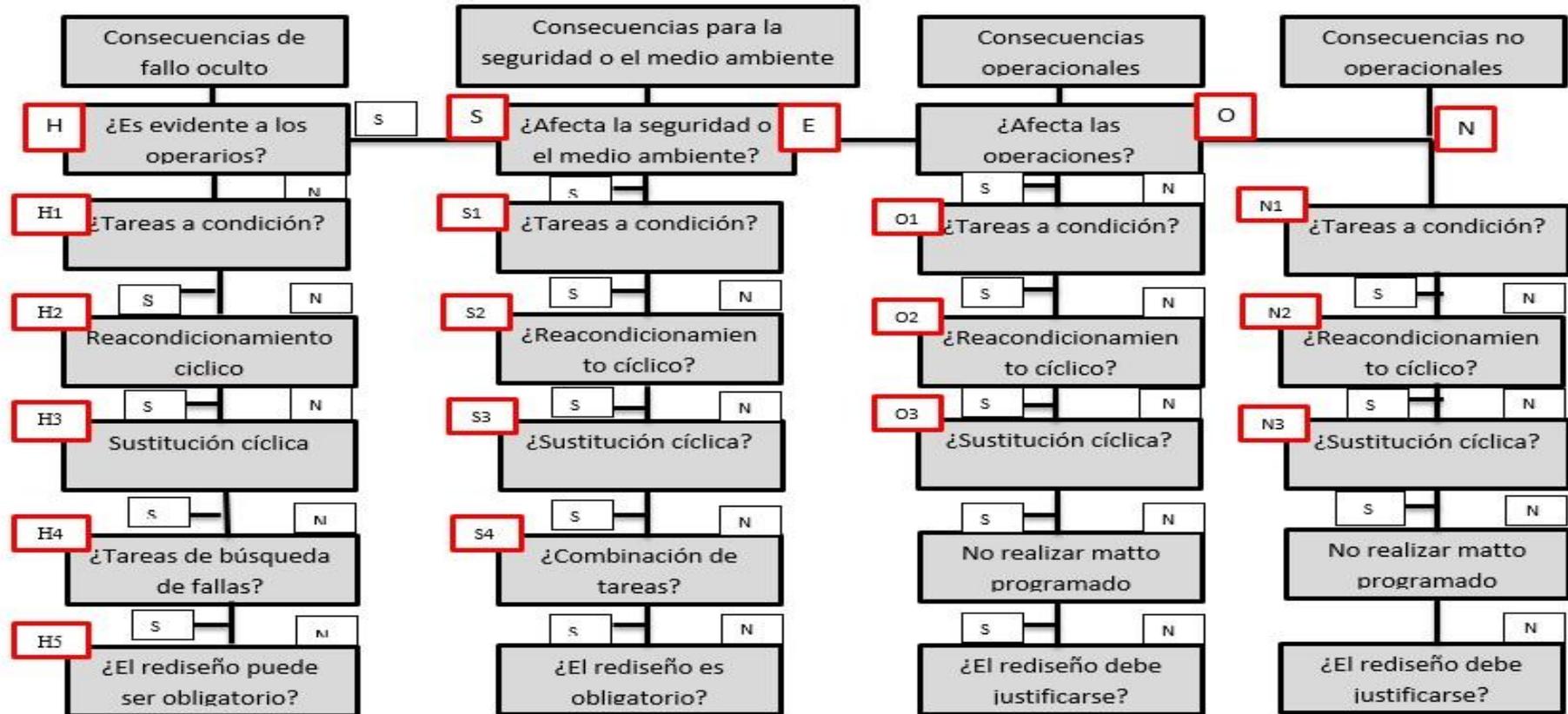
HOJA DE DECISIONES			Sistema:						Facilitador:	Fecha:	Hoja N° 1				
			Subsistema:						Auditor:	Fecha:	de:				
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falla de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial (año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						

Fuente: Moubray, 2014

Se detallan el significado de las siglas en la figura 3

Luego se procede a completar el árbol lógico de decisiones, una herramienta óptima para establecer y elegir las actividades de mantenimiento según el RCM.

Figura 3: Árbol lógico de decisiones



Fuente: Moubray, 2014

También cabe resaltar como un concepto relevante en el mantenimiento, el denominado *Número de Prioridad de Riesgos* (NPR), que nos orienta para ordenar los riesgos dependiendo a la puntuación como: graves, más frecuentes o más difíciles de detectar; sirviéndonos para pensar sobre nuestros actos (Améndola, 2012).

El NPR se obtiene mediante la multiplicación de los valores adquirido en cada escala (Gravedad, Ocurrencia, Detección).

$$\text{NPR} = G * O * D \quad (\text{Ecu. 1})$$

Sin embargo, las estrategias más importantes en el Mantenimiento, lo constituyen los indicadores de mantenimiento. Para poder lograr los cálculos con facilidad debemos realizarlo con la ayuda de software o manualmente, además debemos de contar con los indicadores iniciales o la situación actual de la empresa los indicadores nos facultan a tomar decisiones, para ello necesitaremos la ayuda de auditorías cuantitativas.

El indicador llamado *MTBF*, es el tiempo medio entre fallas de un activo o avería operacional, es decir la periodicidad con que sucede cada parada (Carlos Alberto Parra Márquez, 2012):

$$\text{MTBF} = \frac{\text{N}^\circ \text{ total de operacion}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} \quad (\text{Ecu. 2})$$

El indicador *MTTR*, es el *tiempo medio hasta la reparación*, es el tiempo donde un activo se encuentra detenido por inactividad hasta ser reparado la falla. (Carlos Alberto Parra Márquez, 2012):

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total de fallas}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} \quad (\text{Ecu. 3})$$

El indicador llamado disponibilidad total, lo obtendremos con los dos indicadores mencionados anteriormente teniendo como referencia, los parámetros de tiempo. (García, 2009):

$$\text{Disponibilidad Total} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas paradas por mantenimiento}}{\text{Horas totales}} \quad (\text{Ec.4})$$

El indicador llamado *disponibilidad por averías*, el cual no considera los acontecimientos no programados dentro del cálculo, ya que esta tarea fue estimada en el plan de mantenimiento. (RENOVETEC):

$$\text{Disponibilidad por averías} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas paradas por averías}}{\text{Horas totales}} \quad (\text{Ecu. 5})$$

Del mismo modo otro indicador es la *confiabilidad*, que es la facultad de un activo de realizar una tarea bajo ciertas circunstancias en un determinado tiempo, logrando a conseguir la probabilidad de que un activo no falle (RENOVETEC):

$$R(t) = e^{-\lambda t/100} \quad (\text{Ecu. 6})$$

Otro indicador fundamental es la *mantenibilidad*, definida como la cualidad del equipo que simboliza una cantidad de esfuerzo para poder seguir en funcionamiento normal. (Gonzales Fernández, 2015).

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t/100} \quad (\text{Ecu. 7})$$

Ahora bien, abocándonos a nuestro tema ilustremos características de las máquinas agrícolas y sus particularidades en el elemento principal de falla que es el motor. Se estudió al tractor John Deere, el cual se muestra en la figura siguiente:

Figura 4: Tractor John Deere



Fuente: John Deere (s.f.)

También se estudió el tractor Massey Ferguson 7415, el cual es un tractor de tracción. Es una máquina especial para la sobrecarga, se utiliza para mover remolques agrícolas, como enfardadoras, arados, sembradora, etc. Esta maquinaria al igual que el Ford 5000, es maquinaria de arriendo que tiene disponible la empresa y básicamente hace las mismas funciones que el tractor John Deere tanto como en la preparación del terreno agrícola como en el tiempo de cosecha en la empresa (Escudero Albornoz, 2018).

Figura 5: Tractor Massey Ferguson 7415



Fuente: Massey Ferguson (2018)

II. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación es del tipo Aplicada.

Se consideró como un diseño Pre-Experimental debido a que su manipulación de variables es mínima, a diferencia de un diseño experimental. se realizará en el área del Taller Agrícola, utilizando para la gestión la metodología de mantenimiento “RCM”, por medio del cual indica como resultado de la variable dependiente, adjuntando un estudio (Muestra) antes y después al realizar el estímulo.

3.2. Variables y Operacionalización

En esta investigación se consideraron variables del tipo cuantitativo porque usamos valores numéricos, enfocados en aspectos observables aptos de cuantificación y usaremos la estadística para el estudio.

Tipo de Variable Independiente: Plan de Mantenimiento centrado en confiabilidad.

Tipo de Variable dependiente: disponibilidad operacional

Matriz de Operacionalización de variables

Tabla 3: Variable independiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR DE MEDIDA (Horas)	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable independiente: Plan de mantenimiento preventivo	Mantenimiento que ayuda a preservar los equipos en el tiempo durante condiciones de funcionamiento establecidas (Ávila, 1992)	Tiempo medio de un activo de cada parada por fallo o avería, (periodicidad con que acontece cada parada).	MTBF	$\frac{\text{Tpo. total, de operación}}{\text{Nro. de fallas}}$	Razón
		Tiempo promedio que un activo deja de estar operativo hasta la reparación de la falla del equipo.	MTTR	$\frac{\text{Tpo. total, de reparación}}{\text{Nro. de fallas}}$	Razón
		También llamado ratio Fallas/H	Taza de fallas	$\mu = \frac{1}{MTBF}$	Porcentaje
		También llamado ratio (N° Veces)/H	Taza de reparación	$\lambda = \frac{1}{MTTR}$	Porcentaje

Fuente: Propia del investigador

Tabla 4: Variable dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR DE MEDIDA	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable dependiente: disponibilidad operacional	La disponibilidad es la confianza que se tiene en un equipo y/o componente para su desempeño correcto, en un tiempo dado. Se suele utilizar fichas técnicas para su control. (Fernández, 2015)	Facultad de efectuar un trabajo durante un cierto tiempo.	Confiabilidad	$R_t = (e^{-\mu t/100}) * 100$	Razón
		Porcentaje de tiempo de un equipo en funcionamiento.	Disponibilidad	$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	Razón
		Cantidad de fatiga para mantener el funcionamiento en el trabajo.	Mantenibilidad	$M_t = (1 - e^{-\frac{\lambda t}{100}} * 100)$	Razón

Fuente: Propia del investigador

3.3. Población, muestra y muestreo

En la presente investigación se consideró a la población a la maquinaria agrícola de movimiento de tierras para el cultivo, John Deere y Massey Ferguson de una Empresa Azucarera, las cuales son 10 máquinas a cargo del área de Taller Agrícola.

La **muestra** está conformada por 4 máquinas: dos de cada marca (John Deere y Massey Ferguson).

Muestreo: Aleatorio.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En esta investigación se consideraron las siguientes:

Tabla 5: Técnicas e instrumentos del estudio

Técnicas	Instrumentos
Análisis documental	Fichas de Registro

Referencia: Realizado por el autor

Análisis Documental, en esta parte se analizarán todos los reportes y hoja de trabajo de los operarios y personal de mantenimiento. Donde se encuentran registradas todas las paralizaciones con sus fallas involucradas de cada maquinaria agrícola de una empresa agroindustrial.

Instrumentos, en esta parte se especifica la forma en que se efectúan las actividades y el tiempo que se utilizan hasta el término de la actividad. Según (Hernandez, 2016), esta técnica obedece a las disposiciones emitidas.

3.5. Procedimientos

Para la recopilación de la información, existieron dificultades derivadas del estado de emergencia por el Covid 19, se coordinaron acciones remotas para

obtener datos procedentes de los reportes generales de operación y mantenimiento de la maquinaria, a cargo de los operadores y supervisores.

Primeramente, la evaluación de condiciones iniciales, referente a mantenimiento de la maquinaria agrícola, se realizó con la finalidad de determinar los indicadores de mantenimiento inicial. Luego, se ha realizado el análisis de criticidad correspondiente mediante la ponderación respectiva y se han determinado las fallas importantes para elaborar las hojas del AMEF y NPR, estableciendo de esta manera el grado y prioridad de riesgo de las fallas críticas, mediamente críticas y no críticas. Seguidamente y tomando como premisa el desarrollo del AMEF, se ha procedido a estructurar un plan de mantenimiento preventivo, cuyo resultado nos proyectará las mejoras a implementar en el sistema de mantenimiento de la maquinaria agrícola, materia de la investigación y así determinar los nuevos indicadores en estado de mejora para contrastarlos con los iniciales. Finalmente, se ha realizado el estudio de costos de inversión para la implementación del plan de mantenimiento y se ha determinado el beneficio económico y retorno de la inversión, que justifica la implementación del plan.

3.6. Método de análisis de datos

Análisis descriptivo

Los datos obtenidos proveniente de la empresa, se obtuvieron en base a su nivel de funcionamiento de la maquinaria agrícola, realizando un análisis de los parámetros que se han planteado en la investigación.

Análisis inferencial

La teoría debe reflejarse sobre la base de pruebas de escala, comparando evidencia con grupos y realizando pruebas estadísticas detalladas para verificar la confiabilidad correspondiente con datos cuantitativos, y para determinar si exhiben o no un comportamiento normal. Al marcar esto, aplicaremos el 'T-Student' y luego realizaremos la prueba estadística de Wilcoxon con un 95% de confianza para probar la teoría.

3.7. Aspectos éticos

Para el desarrollo de la presente investigación hemos utilizado datos reales e informaciones por parte del personal de operación y mantenimiento así mismo, incidiremos de forma tácita que los datos brindado por la empresa son fidedignas y reales, reservando confidencialmente toda información adquirida, debido a que no se tiene autorización de la empresa, y para ello se referirá como empresa del rubro agroindustrial.

IV. RESULTADOS

4.1. Evaluación de las condiciones iniciales, en materia de mantenimiento, de las máquinas John Deere y Massey Ferguson, con las que cuenta la empresa, para determinar los indicadores de mantenimiento.

Se estableció una evaluación inicial de la maquinaria agrícola, en función de la solución de las fallas de estas unidades. Se comenzó por determinar a manera de muestreo en los siguientes cuadros, los períodos característicos semestrales de cada máquina, controlados por el desarrollo de horómetros y desfase entre cada período de operación y parada de las unidades.

Por lo tanto, como base a determinar los indicadores de disponibilidad y confiabilidad iniciales, importa tener la data de horas de trabajo, horas de parada y horas totales de cada uno de los tractores agrícolas en períodos similares, que obstaculice al desarrollo de operación y obligan a realizar las acciones con el tradicional mantenimiento de la maquinaria:

Tabla 6: Análisis de tiempos de operación/parada de las maquinarias

TRACTORES JOHN DEERE 7220J								Horas. Totales.	Horas. Trabajo	Horas. Parada
103-053	FECHA	6/09/2019	1/10/2019	21/11/2019	17/12/2019	9/02/2020	27/03/2020			
	HORÓMETRO	14260	14496	14850	15024	15350	15666			
	DESFACE		236	354	174	326	316	1406	234.3	125.7
103-054	FECHA	30/05/2019	27/06/2019	24/07/2019	22/08/2019	19/09/2019	19/11/2019			
	HORÓMETRO	14070	14335	14626	14887	15133	15522			
	DESFACE		265	291	261	246	389	1452	242.0	118.0
TRACTORES JOHN DEERE 7225J										
103-068	FECHA	31/05/2019	1/08/2019	26/09/2019	7/11/2019	17/01/2020	24/07/2020			
	HORÓMETRO	3398	3614	3876	4133	4447	4677			
	DESFACE		216	262	257	314	230	1279	213.2	146.8
TRACTORES JOHN DEERE 7230J										
103-088	FECHA	27/02/2020	10/04/2020	14/05/2020	17/06/2020	18/07/2020	27/08/2020			
	HORÓMETRO	1433	1778	2050	2306	2570	2848			
	DESFACE		345	272	256	264	278	1415	235.8	124.2
103-090	FECHA	10/04/2020	12/05/2020	9/06/2020	7/07/2020	5/08/2020	4/09/2020			
	HORÓMETRO	1758	2049	2316	2594	2860	3133			
	DESFACE		291	267	278	266	273	1375	229.2	130.8
TRACTORES MASSEY FERGUSON 7415										
103-064	FECHA	12/12/2019	14/02/2020	9/04/2020	16/05/2020	27/06/2020	30/08/2020			

	HORÓMETRO	3960	4217	4488	4776	5113	5384			
	DESFACE		257	271	288	337	271	1424	237.3	122.7

103-065	FECHA	19/12/2018	25/03/2019	2/07/2019	26/02/2020	18/04/2020	2/07/2020			
	HORÓMETRO	3325	3536	3761	4061	4240	4487			
	DESFACE		211	225	300	179	247	1162	193.7	166.3

103-074	FECHA	20/12/2018	28/02/2019	17/06/2019	11/10/2019	14/02/2020	29/05/2020			
	HORÓMETRO	1874	2110	2340	2615	2947	3184			
	DESFACE		236	230	275	332	237	1310	218.3	141.7

103-079	FECHA	7/03/2019	25/07/2019	13/02/2020	13/05/2020	17/07/2020	26/08/2020			
	HORÓMETRO	115	332	603	867	1047	1280			
	DESFACE		217	271	264	180	233	1165	194.2	165.8

TRACTORES MASSEY FERGUSON 7515										
103-034	FECHA	22/11/2018	6/05/2019	18/10/2019	3/02/2020	19/04/2020	24/06/2020			
	HORÓMETRO	17414	17638	17895	18126	18394	18662			
	DESFACE		224	257	231	268	268	1248	208.0	152.0

Referencia: Realizado por el autor.

Posteriormente, se detallan los datos del MTBF /MTTR/ disponibilidad y confiabilidad de cada uno de los tractores.

Tabla 7: Determinación de indicadores de mantenimiento

TRACTORES JOHN DEERE 7220J - 053

	TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAR (MTBF)	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
SEPTIEMBRE 2019	234.3	125.7	65.08	98.47
OCTUBRE 2019	236	124	65.56	98.48
NOVIEMBRE 2019	354	6	98.33	98.98
DICIEMBRE 2019	174	186	48.33	97.95
FEBRERO 2020	326	34	90.56	98.90
MARZO 2020	316	44	87.78	98.86
TOTAL (PROM)	273.38	86.62	75.94	98.61

TRACTORES JOHN DEERE 7220J - 054

	TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAR (MTBF)	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
MAYO 2019	242	118	67.22	98.52
JUNIO 2019	265	95	73.61	98.65
JULIO 2019	291	69	80.83	98.77
AGOSTO 2019	261	99	72.50	98.63
SEPTIEMBRE 2019	246	114	68.33	98.54
NOVIEMBRE 2019	389	71	80.28	98.76
TOTAL (PROM)	265.67	94.33	73.80	98.65

TRACTORES JOHN DEERE 7225J - 068

	TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAR (MTBF)	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
MAYO 2019	213.2	146.8	59.22	98.32
JULIO 2019	216	144	60.00	98.34
SETIEMBRE 2019	262	98	72.78	98.63
OCTUBRE 2019	257	103	71.39	98.60
ENERO 2020	314	46	87.22	98.86
JULIO 2020	230	130	63.89	98.44
TOTAL (PROM)	248.70	111.30	69.08	98.54

TRACTORES JOHN DEERE 7230J - 088

	TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAR (MTBF)	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
FEBRERO 2020	235.8	124.2	65.50	98.48
MARZO 2020	345	15	95.83	98.96
ABRIL 2020	272	88	75.56	98.68
MAYO 2020	256	104	71.11	98.60
JUNIO 2020	264	96	73.33	98.64
JULIO 2020	278	82	77.22	98.71
TOTAL (PROM)	275.13	84.87	76.43	98.68

TRACTORES JOHN DEERE 7230J - 090

	TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAR (MTBF)	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
MARZO 2020				
ABRIL 2020	130.8	229.2	36.33	97.28
MAYO 2020	291	69	80.83	98.77
JUNIO 2020	267	93	74.17	98.66
JULIO 2020	278	82	77.22	98.71
AGOSTO 2020	266	94	73.89	98.65
	273	87	75.83	98.68
TOTAL (PROM)	250.97	109.03	69.71	98.46

TRACTORES MASSEY FERGUSON 7415 - 064

	TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAR (MTBF)	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
NOVIEMBRE 2019	122.7	237.3	34.08	97.10
FEBRERO 2020	257	103	71.39	90.60
MARZO 2020	271	89	75.28	98.68
ABRIL 2020	288	72	80.00	98.75
MAYO 2020	337	23	93.61	98.93
AGOSTO 2020	271	89	75.28	98.68
TOTAL (PROM)	257.78	102.22	71.61	98.46

TRACTORES MASSEY FERGUSON 7415 - 065

	TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAR (MTBF)	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
DICIEMBRE 2018	193.7	166.3	53.81	98.15
MARZO 2019	211	149	58.61	98.30
JUNIO 2019	225	135	62.50	98.41
FEBRERO 2020	300	60	83.33	98.80
MARZO 2020	179	181	49.72	98.00
JUNIO 2020	247	113	68.61	98.55
TOTAL (PROM)	225.95	134.05	62.76	98.37

TRACTORES MASSEY FERGUSON 7415 - 074

	TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAR (MTBF)	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
DICIEMBRE 2018	218.3	141.7	60.64	98.36
FEBRERO 2019	236	124	65.56	98.48
MAYO 2019	230	130	63.89	98.44
SETIEMBRE 2019	275	85	76.39	98.69
ENERO 2020	332	28	92.22	98.92
MAYO 2020	237	123	65.83	98.49
TOTAL (PROM)	254.72	105.28	70.75	98.57

TRACTORES MASSEY FERGUSON 7415 - 079

	TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAR (MTBF)	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
FEBRERO 2019	194.2	165.8	53.94	98.16
JULIO 2019	217	143	60.28	98.35
ENERO 2020	271	89	75.28	98.68
ABRIL 2020	264	96	73.33	98.64
JUNIO 2020	180	180	50.00	98.01
AGOSTO 2020	233	127	64.72	98.46
TOTAL (PROM)	226.53	133.47	62.93	98.39

TRACTORES MASSEY FERGUSON 7515 - 034

	TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAR (MTBF)	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
NOVIEMBRE 2018	208	152	57.78	98.28
ABRIL 2019	224	136	62.22	98.40
SETIEMBRE 2019	257	103	71.39	98.60
ENERO 2020	231	129	64.17	98.45
MARZO 2020	268	92	74.44	98.66
MAYO 2020	268	92	74.44	98.66
TOTAL (PROM)	242.67	117.33	67.41	98.51

RESUMEN INDICADORES INICIALES

MAQUINA	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
JOHN DEERE 7220J - 053	273.38	86.62	75.94	87.64
JOHN DEERE 7220J - 054	265.67	94.33	73.80	85.74
JOHN DEERE 7225J - 068	248.70	111.30	69.08	82.52
JOHN DEERE 7230J - 088	275.13	84.87	76.43	83.03
JOHN DEERE 7230J - 090	250.97	109.03	69.71	82.38
MASSEY FERGUSON 7415 -064	257.78	102.22	71.61	90.52
MASSEY FERGUSON 7415 - 065	225.95	134.05	62.76	89.67
MASSEY FERGUSON 7415 - 074	254.72	105.28	70.75	92.89
MASSEY FERGUSON 7415 - 079	226.53	133.47	62.93	91.62
MASSEY FERGUSON 7515 - 034	242.67	117.33	67.41	70.37
TOTAL	2521.50	1078.50	70.04	85.63

Referencia: Realizado por el autor.

4.2. Análisis de criticidad en la fase de operación

4.2.1. Indicadores de criticidad de las Máquinas:

Para realizar la frecuencia y consecuencia se utilizó la hoja de determinación de los equipos críticos de las maquinas agrícola (anexo 1)

Tabla 8: Resumen de análisis de criticidad de los tractores John Deere y Massey Ferguson

RESUMEN DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE TRACTORES JOHN DEERE 7220J

N°	FALLA	CLASIFICACIÓN	PLAN DE MTTTO	VALOR DE CRITICIDAD
1	DEFLECCIÓN DE BASTIDOR O CHASIS	NO CRÍTICO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	96
2	BLOQUEO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	CRÍTICO	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	512
3	BAJA PRESIÓN DE BOMBAS HIDRÁULICAS EN TANDEM	CRÍTICO	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	320
4	DESPRESURIZACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO	CRÍTICO	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	640
5	SATURACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	CRÍTICO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	256
6	DEFECTUOSO ACCIONAMIENTO EN EL SISTEMA DE FRENOS	CRÍTICO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	480
7	FUGA DE ACEITE EN LOS MANDOS FINALES	SEMI-CRÍTICO	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	144

RESUMEN DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE TRACTORES JOHN DEERE 7230J

N°	FALLA	CLASIFICACIÓN	PLAN DE MTTO	VALOR DE CRITICIDAD
1	DEFLECCIÓN DE BASTIDOR O CHASIS.	NO CRITICO	MTTO PREVENTIVO	96
2	DESGASTE DE FORRO DEL DISCO DE EMBRAGUE	CRITICO	MTTO PREVENTIVO	240
3	ROTURA DE CANASTILLA Y PISTA DE RODAJES	CRITICO	MTTO PREVENTIVO	160
4	PERNOS ROTOS	NO CRITICO	MTTO CORRECTIVO	72
5	FUGAS DE ACEITE EN DIFERENCIAL	CRITICO	MTTO PREDICTIVO	216
6	OBSTRUCCIÓN DE INYECTORES DE MOTOR	CRITICO	MTTO PREDICTIVO	160
7	SATURACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERAC	CRITICO	MTTO PREVENTIVO	256
8	ROTURA DE BASES O DESCANSOS	CRITICO	MTTO PREVENTIVO	256
9	FUGA DE ACEITE EN LOS MANDOS FINALES	SEMI-CRITICO	MTTO PREDICTIVO	144

RESUMEN DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE TRACTORES MASSEY FERGUSON 7415

	FALLA	CLASIFICACIÓN	PLAN DE MTTO	VALOR DE CRITICIDAD
1	DEFLECCIÓN DE BASTIDOR O CHASIS	SEMI-CRITICO	MTTO PREVENTIVO	192
2	DESPRESURIZACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO	CRITICO	MTTO PREDICTIVO	640
3	FUGAS DE ACEITE EN EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	CRITICO	MTTO PREDICTIVO	320
4	SATURACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERAC	CRITICO	MTTO PREVENTIVO	160
5	BLOQUEO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	CRITICO	MTTO PREDICTIVO	512
6	DESCALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	SEMI CRITICO	MTTO PREDICTIVO	160
7	TRABAMIENTO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN	CRITICO	MTTO PREVENTIVO	480
8	ROTURA DE NEUMÁTICOS	CRITICO	MTTO PREDICTIVO	168
9	FUGA DE ACEITE EN LOS MANDOS FINALES	SEMI-CRITICO	MTTO PREDICTIVO	144

RESUMEN DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE TRACTORES MASSEY FERGUSON 7515

	FALLA	CLASIFICACIÓN	PLAN DE MTTO	VALOR DE CRITICIDAD
1	DEFLECCIÓN DE BASTIDOR O CHASIS	SEMI-CRITICO	MTTO PREVENTIVO	192
2	FUGAS DE ACEITE EN EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	CRITICO	MTTO PREDICTIVO	640
3	TRABAMIENTO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN	CRITICO	MTTO PREDICTIVO	480
4	ROTURA DE BASES O DESCANSOS	CRITICO	MTTO PREVENTIVO	256
5	BLOQUEO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	CRITICO	MTTO PREDICTIVO	512
6	DESGASTE DEL FORRO DE DISCO DE EMBRAGUE	CRITICO	MTTO PREDICTIVO	240
7	DESCALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	SEMI-CRITICO	MTTO PREVENTIVO	160
8	BAJA PRESIÓN EN BOMBAS HIDRÁULICAS EN TANDEM	CRITICO	MTTO PREDICTIVO	320
9	FUGA DE ACEITE EN LOS MANDOS +FINALES	SEMI-CRITICO	MTTO PREDICTIVO	144

En las tablas anteriores se detallan las fallas de los equipos como: críticas, semi críticas y no críticas. (Anexo 2)

4.2.2. Estudio de los modos y efectos de fallas (AMEF) y el Número de prioridad de riesgos (NPR)

Se desarrollaron los Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) para cada falla crítica de las máquinas agrícolas, a través del registro en las hojas de información y decisiones (Anexo 3 y 4).

Tabla 9: Hoja de información de la maquina JOHN DEERE 7220J

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	MAQUINA JOHN DEERE 7220J # 053		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Suministrar la energía mínima necesaria para la operatividad de la máquina, con adecuados circuitos.	Desconexión del control de los sistemas eléctricos que accionan el sistema cardán	El sobreesfuerzo y excesiva humedad del ambiente bloquean el SISTEMA ELÉCTRICO parando la máquina.	La unidad no se mueve quedando parada, sin disponibilidad.		
Impulsar aceite lubricante oleohidráulico al motor a una adecuada presión de trabajo.	Incapacidad de realizar presurización de aceite hidráulico al sistema de fuerza del motor.	El trabajo excesivo de las BOMBAS HIDRÁULICAS EN TANDEM ocasiona desgaste interno, que ocasiona la producción de fugas internas de aceite hidráulico.	Paralización de la unidad, por imposibilidad de poder realizar trabajo de funcionamiento del sistema hidráulico del tractor.		

<p>Suministrar la presión suficiente para accionar los actuadores del sistema hidráulico.</p>	<p>Falta de aceite, para ejercer presión suficiente para accionamiento de pistones de alta presión de la unidad.</p>	<p>La falta de nivel de aceite (Hidrolina) en el SISTEMA HIDRAULICO, ocasiona pérdida de potencia para el accionamiento de los pistones de alta presión.</p>	<p>Alto consumo de aceite especial. El aceite al pasarse hacia el exterior ocasionará la merma de este, produciéndose falta de potencia en el sistema hidráulico.</p>
<p>Lograr extraer calor del motor manteniendo la temperatura adecuada.</p>	<p>Motor caliente con señales de alarma encendidas</p>	<p>Se obstruyen los filtros, aletas en las celdas del radiador, el SISTEMA DE REFRIGERACIÓN se colapsa activando las luces de parada.</p>	<p>Paralización inmediata de la unidad, para así evitar soplado de empaquetadura de culata y/o fundición de motor.</p>
<p>Control de parada y disminución de velocidad de la unidad móvil, determinando la máxima seguridad en la operación del tractor.</p>	<p>Incremento de carrera del accionamiento del freno y fuga de aire por el sistema neumático.</p>	<p>Debido al frecuente uso de los frenos, el sistema neumático de control de la unidad, sufre deterioro en sus accesorios (o'rings y sellos mecánicos), por lo que, por seguridad, se paraliza el tractor.</p>	<p>Por la fuga constante de aire en el sistema de freno, el compresor realiza mayor trabajo y los componentes neumáticos, excesivo esfuerzo. La solución es cambio de sellos mecánicos y o'rings de obturación, para lo cual se paraliza la unidad.</p>

Tabla 10: Hoja de información de la maquina JOHN DEERE 7230J

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	MAQUINA JOHN DEERE 7230J # 088		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Transmitir la potencia del motor a la caja de cambios del vehículo y permitir que, de forma manual, se pueda separar o unir el giro del motor del tractor a la transmisión.	Incapacidad de desplazamiento de la unidad por desgaste excesivo del “forro” de disco de embrague.	Por el constante accionamiento de embrague para el cambio de velocidades y potencia del motor, el forro del DISCO DE EMBRAGUE , prematuramente sufrió desgaste.	Endurecimiento y trabamiento de la palanca de cambios, cuando la unidad se encuentra en operaciones. Se paraliza la unidad para realizar el desmontaje de caja y hacer cambiar el forro del disco de embrague.		

<p>Disminuir las pérdidas por rozamiento de los elementos de máquinas.</p>	<p>Fractura o agrietamiento de pista de rodadura: Incapacidad de transmitir el torque de accionamiento de la unidad.</p>	<p>LOS RODAMIENTOS, se desgastan, sus elementos rodantes sufren presentan fallas superficiales dejando al rodamiento inservible.</p>	<p>Máquina operando si la completa eficiencia debido a vibraciones y desalineamientos</p>
<p>Realizar la lubricación eficaz al diferencial de la máquina.</p>	<p>Fugas de aceite por el diferencial – sello mecánico.</p>	<p>Por falta de buen sellado mecánico, se producen FUGAS DE ACEITE en el diferencial de las unidades.</p>	<p>Paralización de la unidad por imposibilidad de transmisión de velocidad hacia el elemento cardán</p>
<p>Introducir en el motor la cantidad justa de combustible en el momento indicado, para trabajar correctamente e incluso, en casos extremos, optimizar la vida útil de motor por su buen aporte de lubricidad.</p>	<p>Obstrucción de las toberas de los inyectores de combustible hacia el motor.</p>	<p>Debido a la operación constante en lugares de alta polución, los INYECTORES DE MOTOR tienden rápidamente a “ensuciarse” y obstruir el paso a través de las toberas la introducción en el motor de la cantidad apropiada de combustible.</p>	<p>Inestabilidad en el funcionamiento del motor, primero; y, luego paralización por falta de flujo apropiado de combustible. Obligatoriamente se realiza desmontaje de inyectores, limpieza y calibración.</p>

Mantener en óptimas condiciones la temperatura del motor, para el funcionamiento correcto de la unidad.	Recalentamiento de motor y señales de alerta activadas.	Por obstrucción interna en las celdas del radiador, el SISTEMA DE REFRIGERACIÓN se satura y se activan las alarmas indicativas.	Paralización inmediata de la unidad, para así evitar soplado de empaquetadura de culata y/o fundición de motor.
Soportar en forma eficiente y amortiguada el motor del tractor en su base o chasis.	Rotura de base (s), por aflojamiento de pernos hacia el chasis del tractor.	Por el constante ejercicio de funcionamiento de la unidad, se produjo aflojamiento de los pernos de los amortiguadores de jebe denominados BASES O DESCANSOS , ocasionando rotura de 2 piezas.	Ruido excesivo en el motor obliga a inspeccionarlo y se identifica la rotura de 2 jebes de base que ocasionan vibración excesiva y desplazamiento axial del motor. Se paraliza la unidad, levanta motor y cambio de los 4 soportes, bases o descansos.

Tabla 11: Hoja de información de la maquina MASSEY FERGUSON 7415

HOJA DE INFORMACION RCM	MAQUINA MASSEY FERGUSON 7415 # 074		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA	Hoja 1/2
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Suministrar la presión suficiente para accionar los actuadores del sistema hidráulico.	Falta de aceite, para ejercer presión suficiente para accionamiento de	La falta de nivel de aceite (Hidrolina) en el SISTEMA HIDRAULICO , ocasiona pérdida de	Alto consumo de aceite especial. El aceite al pasarse hacia el exterior ocasionará la merma de este, produciéndose falta de potencia en el sistema hidráulico.		

<p>El aceite es “la sangre” de todo motor y no se tolera bajo nivel de éste. Si existen fugas, hay que controlar inmediatamente.</p>	<p>Perdida de presión del fluido por deficiencia de sellado.</p>	<p>Por deficiencia de o’rings, se producen fugas de aceites de motor y transmisión, comprometiendo todo el SISTEMA DE LUBRICACIÓN</p>	<p>Bajo nivel de aceite, compromete el sistema de accionamiento del motor y su funcionamiento. Parar máquina.</p>
<p>Mantener en óptimas condiciones la temperatura del motor, para el funcionamiento correcto de la unidad.</p>	<p>Recalentamiento de motor y señales de alerta activadas.</p>	<p>Por obstrucción interna en las celdas del radiador, el SISTEMA DE REFRIGERACIÓN se satura y se activan las alarmas indicativas.</p>	<p>Paralización inmediata de la unidad, para así evitar soplado de empaquetadura de culata y/o fundición de motor.</p>
<p>Entregar la suficiente energía para el funcionamiento de la unidad móvil, con la idoneidad de circuitos.</p>	<p>Bloqueo de sistemas eléctricos de gobierno del accionamiento del sistema cardán.</p>	<p>Por excesiva humedad y esfuerzo del sistema, el sistema de SISTEMA ELÉCTRICO se bloquea y paraliza la unidad.</p>	<p>Paralización de la unidad, por imposibilidad de transmisión de velocidad hacia el elemento cardan.</p>
<p>Dirigir las ruedas delanteras como respuesta de las acciones del conductor con el fin de proporcionar el completo control direccional del vehículo. En los tractores, la dirección hidráulica funciona al utilizar un líquido de dirección para multiplicar la fuerza requerida para dirigir el vehículo.</p>	<p>Trabamiento de la volante de dirección - Presencia de ruido e imposibilidad de conducir la unidad.</p>	<p>Al trabarse el SISTEMA DE LA DIRECCIÓN HIDRÁULICA, se desmonta y se encuentra la Caja de la dirección apretada por suciedad, operación incorrecta de la Bomba de la Dirección Hidráulica y la válvula de</p>	<p>Paralización inmediata de la unidad, para así evitar el deterioro completo del sistema de dirección hidráulica. Se procede a la reparación.</p>

		control atorada o descompuesta.	
Rodadura y desplazamiento del tractor. Adicionalmente, ya que estas unidades no disponen de un sistema de suspensión muy eficiente, los neumáticos cumplen esa función	Por la irregularidad y degradación del suelo en los campos de cultivo, se producen picaduras y rajaduras de los neumáticos.	La carga pesada, la presión aparentemente baja en los NEUMÁTICOS y la irregularidad del terreno ocasionaron rotura en la superficie de rodadura de 1 neumático de la unidad.	Paralización inmediata del tractor para el cambio de neumático. Se recomienda utilizar neumáticos con tecnología moderna denominada Ultraflex por ofrecer una mayor flexión, tolerancia de cargas pesadas a baja presión y optimización de la capacidad de tracción del tractor.

Tabla 12: Hoja de información de la maquina MASSEY FERGUSON 7515

HOJA DE INFORMACION RCM	MAQUINA MASSEY FERGUSON 7515 # 034		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA	Hoja 1/2
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA		
El aceite es “la sangre” de todo motor y no se tolera bajo nivel de éste. Si existen fugas, hay que controlar inmediatamente.	Perdida de presión del fluido por deficiencia de sellado.	Por deficiencia de o’rings, se producen fugas de aceites de motor y transmisión, comprometiendo todo el SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Bajo nivel de aceite, compromete el sistema de accionamiento del motor y su funcionamiento. Parar máquina.		

<p>Dirigir las ruedas delanteras como respuesta de las acciones del conductor con el fin de proporcionar el completo control direccional del vehículo. En los tractores, la dirección hidráulica funciona al utilizar un líquido de dirección para multiplicar la fuerza requerida para dirigir el vehículo.</p>	<p>Trabamiento de la volante de dirección - Presencia de ruido e imposibilidad de conducir la unidad.</p>	<p>Al trabarse el SISTEMA DE LA DIRECCIÓN HIDRÁULICA, se desmonta y se encuentra la Caja de la dirección apretada por suciedad, operación incorrecta de la Bomba de la Dirección Hidráulica y la válvula de control atorada o descompuesta.</p>	<p>Paralización inmediata de la unidad, para así evitar el deterioro completo del sistema de dirección hidráulica. Se procede a la reparación.</p>
<p>Soportar en forma eficiente y amortiguada el motor del tractor en su base o chasis.</p>	<p>Rotura de base (s), por aflojamiento de pernos hacia el chasis del tractor.</p>	<p>Por el constante ejercicio de funcionamiento de la unidad, se produjo aflojamiento de los pernos de los amortiguadores de jebe denominados BASES O DESCANSOS, ocasionando rotura de 2 piezas.</p>	<p>Ruido excesivo en el motor obliga a inspeccionarlo y se identifica la rotura de 2 jebes de base que ocasionan vibración excesiva y desplazamiento axial del motor. Se paraliza la unidad, levanta motor y cambio de los 4 soportes, bases o descansos.</p>
<p>Entregar la suficiente energía para el funcionamiento de la unidad móvil, con la idoneidad de circuitos.</p>	<p>Bloqueo de sistemas eléctricos de gobierno del accionamiento del sistema cardán.</p>	<p>Por excesiva humedad y esfuerzo del sistema, el sistema de SISTEMA ELÉCTRICO se bloquea y paraliza la unidad.</p>	<p>Paralización de la unidad, por imposibilidad de transmisión de velocidad hacia el elemento cardan.</p>

<p>Transmitir la potencia del motor a la caja de cambios del vehículo y permitir que, de forma manual, se pueda separar o unir el giro del motor del tractor a la transmisión.</p>	<p>Incapacidad de desplazamiento de la unidad por desgaste excesivo del “forro” de disco de embrague.</p>	<p>Por el constante accionamiento de embrague para el cambio de velocidades y potencia del motor, el forro del DISCO DE EMBRAGUE, prematuramente sufrió desgaste.</p>	<p>Endurecimiento y trabamiento de la palanca de cambios, cuando la unidad se encuentra en operaciones. Se paraliza la unidad para realizar el desmontaje de caja y hacer cambiar el forro del disco de embrague.</p>
<p>Realizar el bombeo y presurización para el correcto funcionamiento del sistema hidráulico de la máquina.</p>	<p>Incapacidad de realizar presurización de aceite hidráulico al sistema de fuerza del motor.</p>	<p>El trabajo excesivo de las BOMBAS HIDRÁULICAS EN TANDEM ocasiona desgaste interno, que ocasiona la producción de fugas internas de aceite hidráulico.</p>	<p>Paralización de la unidad, por imposibilidad de poder realizar trabajo de funcionamiento del sistema hidráulico del tractor.</p>

Referencia: Realizado por el autor.

4.2.2.1. Número de Prioridad de Riesgos (NPR)

La siguiente tabla, muestra la selección de las fallas de los equipos críticos evaluados. Se determinan los valores NPR para cada una de las fallas establecidas en el AMEF. Mediante la correspondiente ponderación se establecen como:

- NPR >200 **Inaceptable (I)**
- 200 > NPR < 125 **reducción deseable (R)**
- 125 > NPR **Aceptable**

Tabla 13: Análisis del NPR

Ítem	Descripción de la falla crítica	G	O	D	NPR	
F1	Bloqueo de sistemas eléctricos de gobierno del accionamiento del sistema cardán	8	7	5	280	I
F2	Incapacidad de las bombas hidráulicas en tándem para Presurización de aceite hidráulico al sistema de fuerza del motor.	7	7	7	343	I
F3	Falta de aceite, para ejercer presión suficiente en accionamiento de pistones de alta presión de la unidad.	7	6	5	210	I
F4	Recalentamiento de motor y señales de alerta activadas. Falla sistema de refrigeración.	10	7	8	560	I
F5	Incremento de carrera del accionamiento del freno y fuga de aire por el sistema neumático. Falla sistema de frenos.	10	8	7	560	I
F6	Incapacidad de desplazamiento de la unidad por desgaste excesivo del "forro" de disco de embrague.	8	5	4	160	R
F7	Incapacidad de transmitir torque de accionamiento de la unidad, por falla de rodamientos.	8	6	6	288	I
F8	Incapacidad de retener el lubricante, por falla de empaquetaduras (no adecuadas). Fugas de aceite.	4	6	6	144	R
F9	Obstrucción de las toberas de los inyectores de combustible al motor. Falla del sistema de inyección.	8	8	6	384	I
F10	Rotura de bases o descansos, por vibración y aflojamiento de pernos hacia el chasis del tractor.	4	5	3	60	A
F11	Perdida de presión del fluido, deficiencia de sellado mecánico. Falla sistema de lubricación	10	7	8	560	I
F12	Por la irregularidad y degradación del suelo en los campos de cultivo, se producen picaduras y rajaduras de los neumáticos.	5	8	3	120	A
F13	Dirección se endurece durante circulación del vehículo y volante no regresa apropiadamente a su posición original. Presencia de ruido.	6	6	4	144	R

Referencia: Realizado por el autor.

De la evaluación del NPR, podemos deducir que 8 fallas son indeseables (61.54%), 3 fallas son reducibles a deseables (23.08%) y 2 fallas son aceptables (15.38%) ver anexo 5.

4.3. Plan de mantenimiento preventivo, RCM, tomando en cuenta los resultados obtenidos del AMEF y NPR previamente evaluados.

4.3.1. Plan de Mantenimiento propuesto.

El programa o plan de mantenimiento contiene acciones o actividades de inspección que debe ser utilizado como check list o lista de verificación durante las inspecciones de mantenimiento.

El plan de mantenimiento obligatorio de las máquinas Jhon Deere y Massey Ferguson fue analizado y se propuso eliminar la inspección de cada 250 hrs.

Respecto al cambio de aceite del motor se propone que se realice cada 500h cuando se utilice el aceite de motor 15W40.

Para que el cambio de aceite del motor cada 500 hrs. sea aceptable, se debe cumplir con los intervalos de la tabla 15 como referencia:

Tabla 14: Intervalos de cambio de aceite vs. % de azufre

Aceite	% de Azufre en el combustible		
	< 0,3%	0,3 - 0,5%	> 0,5%
VDS4	500h	250h	125h

Fuente: Lubricantes Shell – Equipos pesados.

Acción

A partir de 2019, el plan de mantenimiento obligatorio para los equipos JOHN DEERE y MASSEY FERGUSON se ha elaborado de acuerdo con las siguientes pautas: Intervalos de servicio requeridos: Cada 500 horas y los detalles se explican en la tabla de horarios.

4.3.2. Mantenimiento Obligatorio por garantía Motivo

Debido a las actualizaciones de algunos modelos de dispositivos, existe una diferencia en la naturaleza del mantenimiento requerido del período de garantía y las instrucciones de uso. Por lo tanto, a partir de esta fecha, se convierte en el primer mantenimiento requerido según las instrucciones del manual: 100 horas, 250 horas o 500 horas según la marca y modelo. Para que la garantía del fabricante sea válida, el equipo debe recibir servicio de acuerdo con el programa de servicio específico aplicable a cada máquina. Los pasos de mantenimiento descritos en la columna "1" deben ser realizados por distribuidores autorizados de John Deere y Massey Ferguson. Los pasos de mantenimiento que se muestran en las columnas "1er intervalo" e "Intervalo adicional" también deben realizarse además del "Intervalo estándar".

Tabla 15: Horas de funcionamiento/intervalo

HORAS DE FUNCIONAMIENTO / INTERVALO	Prim eras	Intervalo estándar, cada								Intervalo adicional, cada
		500	10	50	250	500	1000	2000	4000	
Maquinas, comprobación de daños externos, grietas y daños por desgaste			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
Nivel de líquido de lavado, control			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
Nivel de aceite de motor, control				✗	✗	✗	✗	✗	✗	
Nivel del refrigerante, control				✗	✗	✗	✗	✗	✗	
Nivel de aceite hidráulico, control				✗	✗	✗	✗	✗	✗	
Motor aceite y filtro, cambio intervalo más corto según sea necesario (en caso de alto contenido de azufre en el combustible). Requisito para intervalo de cambio de						✗	✗	✗	✗	

500 horas en el libro de instrucciones.									
Filtro de combustible, cambio					✘	✘	✘	✘	

Referencia: Realizado por el autor.

El distribuidor recibirá un reembolso de hasta 03 (tres) horas al costo de la garantía (\$ 36 / hora) durante una prueba de funcionamiento de 100 horas, para equipos donde se requiere una inspección "por primera vez" según PROSIS, con tolerancias por hora de hasta 20%.

Observación

A partir del 2 de enero de 2019, no se aceptarán reclamaciones de garantía para el mantenimiento de 100 horas. Para productos que no necesita.

Por lo tanto, solo para dispositivos que tardan 100 horas en mantenerse. Se requieren 100 horas de mantenimiento. En el sistema UCHP, verifique cada 1000 horas. La condición operativa se puede lograr dentro de $\pm 10\%$ de las horas del contador dentro del período de garantía (1 año), y las verificaciones programadas son responsables del concesionario en coordinación con el cliente.

Acción

A partir del 8 de marzo de 2019, el plan de mantenimiento obligatorio (estándar cada 500 horas y cubierto por la garantía) para los equipos John Deere y Massey Ferguson se adherirá a las siguientes pautas:

Tabla 16: Ejecución de mantenimiento preventivo.

EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO JHON DEERE & MASSEY FERGUSON.									
EQUIPO	MODELO	CÓDIGO	INTV	100	250	500	1000	1500	2000 ®
TRACTORES JOHN DEERE	7220J	103-053	500			O	G	O	O
		103-054	500			O	G	O	O
	7225J	103-068	500	G		O	G	O	O
		7230J	103-088	500	G		O	G	O
		103-090	500	G		O	G	O	O
TRACTORES MASSEY FERGUSON	7415	103-064	500	G	G	O	G	O	O
		103-065	500	G	G	O	G	O	O
		103-074	500	G	G	O	G	O	O
	7515	103-079	500	G	G	O	G	O	O
		103-034	500		G	O	G	O	O

G	Mantenimiento obligatorio por garantía: incluye costos de mano de obra, desplazamiento y viáticos deberán ser asumidos por el fabricante según tarifario. El costo de insumos (filtros y lubricantes) deberán ser asumidos por el cliente
®	Revisiones a cada 1000 horas a partir de 2000 horas: incluye costos de mano de obra por inspecciones (4H), desplazamiento y viáticos deberán ser asumidos por el fabricante según tarifario. El costo de insumos (filtros y lubricantes) y mano de obra invertida en el mantenimiento (cambio de filtros y lubricantes) deberán ser asumidos por el cliente.
O	Mantenimiento estándar obligatorio: a cada 500 horas, utilizando insumos genuinos, el costo de este mantenimiento deberá ser asumido por el cliente en su totalidad.

Fuente: Cartilla informativo J.D. & M.F de la empresa.

Acción

La alteración del Plan de Mantenimiento Obligatorio es aplicada a todos los equipos con garantía vigente.

Desde el 03/08/2019, el Plan de Mantenimiento Obligatorio de equipos John Deere y Massey Ferguson será de acuerdo a las siguientes instrucciones:

Primer Mantenimiento Obligatorio: Según Programa de Servicio (Tabla 17)

Los detalles se explican en el programa de servicio disponible en el PROSIS.

4.3.3. Plan de Mantenimiento según la criticidad del AMEF

Hoja de las tareas que deben realizar los mecánicos (Anexo 6)

Tabla 17 Plan de mantenimiento de acuerdo a criticidad del AMEF

Ítem	Objeto	Código de Objeto	Tarea propuesta
01	Sistema eléctrico de gobierno de cardán	TJD-TMF-MP01	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de caída de voltaje e intensidad de corriente eléctrica, así como la resistividad de los conductores para evaluar si existe calentamiento del sistema eléctrico, limpieza total y reajuste de terminales y contactos, esto ocurre cada 3 meses y debe monitorearse cada mes. • Reemplazo de tarjeta electrónica cada 12000 horas de trabajo efectivas. Esto ocurre aproximadamente cada 03 años.
02	Bombas hidráulicas en Tándem	TJD-TMF-MP02	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento consistente en: Limpieza total y reparación de carcasa de bombas, mediante soldadura especial y asentamiento con esmeril de copa. Esto debe darse durante temporadas de paradas programadas. • Reemplazo de bomba, al cabo de tres reparaciones
03	Sistema hidráulico de accionamiento de pistones de alta presión	TJD-TMF-MP03	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento consistente en: Limpieza total y cambio del aceite previa evaluación en laboratorio cada 02 meses. • Verificación de elementos de sello (o'rings) y alojamientos de los mismos. Cambio.
04	Sistema de refrigeración de motor.	TJD-TMF-MP04	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento consistente en: Limpieza total y "sondeo" de celdas de radiador cada 06 meses y cambio de empaquetaduras. • En circunstancias especiales, cambio de "paneles" de radiador cuando el recalentamiento persista.
05	Sistema neumático de accionamiento de frenos.	TJD-TMF-MP05	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento consistente en: Limpieza total y "prueba de burbuja" para determinar fugas en el sistema de frenos neumáticos, cada 03 meses y cambio de zapatas cada 02 años. Esto debe darse durante temporadas de parada programada. • Monitoreo y verificación de estado de o'rings de sellado cada 15 días.
06	Disco embrague. de	TJD-TMF-MP06	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento consistente en: Desmontaje de caja de cambios, Limpieza total y cambio de forro del disco de embrague cada 12 meses y cambio de disco cada 03 años. • Monitoreo y verificación constante de la "carrera" de pedal de embrague y regulaciones oportunas.

07	Rodamientos de las ruedas de los tractores	TJD-TMF-MP07	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis vibracional para evaluar si existen tendencias (espectros indicativos) de falla de los rodamientos. Esto ocurre cada 03 meses y debe monitorearse cada mes mediante estetoscopio mecánico. • Mantenimiento consistente en: Desmontaje de ruedas y tambor, Limpieza total y verificación del estado físico de rodamientos, por lo menos cada 6 meses y cambio de rodajes cada 03 años.
08	Sistema de lubricación de la transmisión de las máquinas.	TJD-TMF-MP08	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de lubricación (pruebas con centrifugación de muestras) para evaluar si existe contaminación en el aceite del sistema de transmisión. • Mantenimiento consistente en: Evacuación y recuperación de aceite mediante "dialización", limpieza total de diferencial, reajuste de pernos de diferencial, rellenar a nivel el aceite. Esto ocurre cada 12 meses y debe monitorearse cada mes.
09	Inyectores de motor de las máquinas.	TJD-TMF-MP09	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobación predictiva de compresión en cada uno de los inyectores de motor para evaluar su eficiencia de atomización. • Mantenimiento consistente en: Desmontaje de inyectores, limpieza total y reajuste de toberas, cada 2000 horas de trabajo efectivas. • Reemplazo de inyectores cada 12000 horas de trabajo efectivas. Esto ocurre cada 03 años.
10	Soportes de motor.	TJD-TMF-MP10	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobación constante de "fatiga" del caucho o material de los soportes de motor. • Cambio de soportes cada 17500 Horas de trabajo efectivas. Esto ocurre aproximadamente cada 04 años. y debe darse durante parada programada.
11	Dirección hidráulica de los tractores.	TJD-TMF-MP11	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación predictiva, mediante equipo de rayo láser, del alineamiento de barra de la dirección y estado del acoplamiento con sector sin-fin. • Mantenimiento consistente en: Desmontaje de caja de la dirección, limpieza total, verificación del "engroche" de tornillo sin fin con el sector, estado de las bocinas del sector, calibración de luces y reajuste, cada 3000 horas de trabajo efectivas.
12	Neumáticos	TJD-TMF-MP12	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobación constante de estado de los neumáticos: Verificación de profundidad de cocada (desgaste en mm), cortes evolutivos en bandas laterales, cortes en banda de rodamiento, protuberancias en bandas laterales, desbalance de rueda. • Verificaciones predictivas: Mediciones de temperaturas en faena de unidades móviles, utilizando el pirómetro., • Mantenimiento consistente en: Inspeccionar circunferencialmente los aseguramientos de las cuerdas en bandas laterales, verificación del estado de vulcanizaciones anteriores, comprobar y corregir desalineamientos de la dirección.

Referencia: Realizado por el autor.

4.4. Nuevos indicadores en condiciones de mejora, luego de proyectar el Plan elaborado, y contrastar con los iniciales

De acuerdo al NPR, se proyecta la solución del 61.54% de todas las fallas críticas existentes de toda la maquinaria pesada JOHN DEERE & MASSEY FERGUSON, existiendo aun el 38.46% de fallas entre deseables y aceptables.

Tabla 18: Determinación de indicadores post mejora

MAQUINA	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
JOHN DEERE 7220J - 053	326.69	33.31	90.75	90.97
JOHN DEERE 7220J - 054	323.72	36.28	89.92	88.25
JOHN DEERE 7225J - 068	317.19	42.81	88.11	85.80
JOHN DEERE 7230J - 088	327.36	32.64	90.93	85.38
JOHN DEERE 7230J - 090	318.07	41.93	88.35	85.77
MASSEY FERGUSON 7415 -064	320.69	39.31	89.08	94.00
MASSEY FERGUSON 7415 - 065	308.44	51.56	85.68	91.45
MASSEY FERGUSON 7415 - 074	319.51	40.49	88.75	96.96
MASSEY FERGUSON 7415 - 079	308.67	51.33	85.74	94.21
MASSEY FERGUSON 7515 - 034	314.87	45.13	87.46	85.90
Total	3185.21	414.79	88.48	89.87

Referencia: Realizado por el autor

Comentario: Para obtener el primer resultado, por ejemplo:

- $MTTR = 86.62 * 0.3846 = 33.31 \text{ Horas/mes}$: $[MTTR \text{ inicial} * (R + A)]$
- $MTBF = (86.62 - 33.31) + 273.38 = 326.69 \frac{\text{Horas}}{\text{mes}}$
 $= [MTTR \text{ inicial} - MTTR \text{ actual}] + MTBF \text{ inicial}$
- $C(t) = e^{-\mu * ttp/100}$

Usando el mismo método se han calculado el MTTR, MTBF y C(t) de cada máquina.

4.5. Estudio de costos de la inversión para la implementación del Plan de mantenimiento, materia del presente trabajo y determinar el beneficio económico y el retorno de la inversión.

4.5.1. Beneficios económicos en reducción de horas perdidas.

Tabla 19: Beneficio debido a la reducción de horas perdidas.

MAQUINAS	MTTR actual (Horas/año)	MTTR mejora (Horas/mes)	Ahorro horas perdida (Horas mes)	Costos de operación (US\$/horas)	Ahorro (US\$/mes)
JOHN DEERE 7220J - 053	86.62	33.31	53.30	30	1599.12
JOHN DEERE 7220J - 054	94.33	36.28	58.05	30	1741.58
JOHN DEERE 7225J - 068	111.30	42.81	68.49	30	2054.82
JOHN DEERE 7230J - 088	84.87	32.64	52.23	30	1566.81
JOHN DEERE 7230J - 090	109.03	41.93	67.10	30	2012.97
MASSEY FERGUSON 7415 -064	102.22	39.31	62.90	30	1887.12
MASSEY FERGUSON 7415 - 065	134.05	51.56	82.49	30	2474.83
MASSEY FERGUSON 7415 - 074	105.28	40.49	64.79	30	1943.74
MASSEY FERGUSON 7415 - 079	133.47	51.33	82.14	30	2464.06
MASSEY FERGUSON 7515 - 034	117.33	45.13	72.21	30	2166.21
Total	1078.50	414.79	663.71	30	19911.27

Referencia: Realizado por el autor.

Se determinó que el beneficio económico y ahorro por disminución de fallas es:

$$B_{\text{ahorro fallas}} = 19911.27 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}} \approx 238935.24 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}$$

4.5.2. Costo por implementación del mantenimiento predictivo.

Tabla 20: Costos en mantenimiento predictivo en la maquinaria

ACCIÓN	FRECUENCIA	COSTO UNITARIO (US\$)	COSTO TOTAL (US\$/año)
Análisis de aceite	120 veces/año	15.00	1800
Análisis de vibraciones a los rodamientos	120 veces/año	15.00	1800
Análisis termo gráfico	120 veces/año	10.00	1200
Total			4800.00

Referencia: Realizado por el autor.

4.5.3. Costos para la implementación del mantenimiento preventivo

Tabla 21: Costos en mantenimiento preventivo en maquinaria

DESCRIPCION	Cantidad	Intervalo	Precio Unitario	Precio TOTAL
MOTOR				
ACEITE VDS4 (Bidón de 19 l)	52 l	500	117.80	1178.00
FILTRO DE ACEITE	1	500	28.00	280.00
FILTRO ACEIT LONGL	1	500	24.39	243.90
FILTRO DE COMBUSTIBLE	1	500	58.46	584.60
FILTRO DE AIRE PRIMARIO	1	2000	153.91	1539.10
FILTRO DE AIRE SECUNDARIO	1		121.27	1212.70
FILTRO SEPARADOR DE AGUA	1	500	108.82	1088.20
FILTRO DE AIRE - RESPIRADERO DEPOSITO DE COMB.	1	2000	27.11	271.10
REFRIGERANTE JD/MF VCS (20 LTS) AMARILLO	65 l	6000	95.76	987.60
TRANSMISION DE POTENCIA				
ACEITE PARA CAJA REDUCTORA DE LAS ORUGAS 80W90 (Bidón de 20 l)	40 l	2000	105.80	1058.00
ACEITE PARA CAJA DE ENGRANAJES DE GIRO 80W90 (Bidón de 20 l)	12 l	1000	50.40	504.00

CABINA				
FILTRO CONDUCTO DE AIRE DE VENTILACIÓN	1	2000	53.90	539.00
FILTRO AIRE DE ACONDICIONADO	1		74.29	742.90
SISTEMA HIDRAULICO				
ACEITE HIDRÁULICO SUPER ISO VG68 (Cilindro de 208 l)	350 l	2000	1011.02	10110.20
CARTUCHO	2	1000	240.90	2409.00
ELEMENTO	1	1000	42.21	422.10
CARTUCHO	1	1000	93.70	937.00
ELEMENTO DE RESPIRADERO	1	2000	293.28	2932.80
TOTAL:			2701.02	81030.60

Referencia: Realizado por el autor.

4.5.4. Beneficio útil:

Tabla 22: Resumen de los costos de mantenimiento

Ahorro en horas perdidas	+ 238935.24 US\$/año
Costos predictivos	- 4800.00 US\$/año
Costos preventivos	- 81030.60 US\$/año
Beneficio útil	153104.64 US\$/año

Referencia: Realizado por el autor

Tabla 23: Inversión en activos fijos.

ACTIVOS FIJOS	UNIDAD	VALOR UNITARIO (US\$)	VALOR TOTAL (US\$)
Vibrómetro PCE-VD 3	1	8500.00	8500.00
Cámara termográfica PCE-TC 31.	1	5800.00	5800.00
Banco de aceite para análisis PODS	1	26000.00	26000.00
Instrucción al personal	20	150	3000.00
Costo total			43300.00

Referencia: Realizado por el autor.

4.5.5. Retorno operacional de la inversión (R.O.I.)

$$R. O. I. = \frac{INVERSION\ INICIAL}{BENEFICIO\ UTIL}$$
$$R. O. I. = \frac{43300}{153104.64}$$

R. O. I. = 0.3 años ≈ 4 meses.

V. DISCUSIÓN

En base al desarrollo de la investigación, se puede decir que ha quedado demostrado el mejoramiento del sistema, mediante la estrategia del RCM, consiguiéndose establecer indicadores antes y después de la mejora; asimismo, se han determinado las principales fallas denominadas críticas, se ha aplicado el AMEF para la obtención de planes de mantenimiento y se ha presentado la metodología del NPR para determinar la prioridad de riesgos.

A continuación, en forma de debate a los resultados de esta investigación, tomaremos como referencia a nuestros antecedentes considerados, para la correspondiente contrastación:

En la investigación de (Suniaga, 2010), determinó una mejora en los indicadores de disponibilidad en el rango de 5% respecto a sus condiciones iniciales; para ello aplicó el plan de mantenimiento preventivo utilizando el AMEF en maquinaria pesada en general. Habida cuenta que su diseño ha sido experimental, el principal derrotero mostrado fue el tiempo prolongado para esperar resultados reales y consecuente espera para efectuar el estudio; mientras que en la presente investigación pre-experimental se han proyectado resultados en corto tiempo, sin esperar finalizar el período del mantenimiento anual y nuestros indicadores se acercan a lo real prescrito por el antecedente de Suniaga, pues tenemos variaciones del antes vs. el después para disponibilidad del 18.44%, superior al referente.

Para contrastar con la investigación de (Casachagua, 2017), aplicó herramientas del RCM en elementos críticos de excavadoras, concluyó determinando un incremento en disponibilidad del 81% al 90% (9% de mejora); en la presente tesis se ha demostrado rangos aún mayores para este indicador, pues el incremento es del 70.04% al 88.48% (18.44% en mejora). Esta amplia mejora en el presente estudio obedece a la metodología combinada del AMEF y NPR utilizada para determinar y corregir los efectos de fallas no sólo en elementos críticos de la maquinaria; sino en sistemas completos tales como los de lubricación, refrigeración, frenos, dirección, sistemas hidráulicos, etc.

Comparativamente con la investigación de (Rivera, 2011), es de resaltar la diferencia de metodologías utilizadas, pues éste se aboca a la aplicación de un plan

de gestión de mantenimiento experimental utilizando herramientas del ACR y TPM, para la conservación de maquinaria pesada de alquiler, donde mide resultados de incremento de productividad porcentual (45% de mejora); en el presente estudio, no se escatiman limitaciones de cumplimiento de operatividad de las máquinas para tercero, sino que es de importancia la confiabilidad y buen estado permanente de la maquinaria para cubrir expectativas de desempeño de las unidades y tener productividad arriba del 90%, reflejada en los indicadores de disponibilidad y confiabilidad post mejora.

Por otro lado, en discusión con el tema desarrollado por (Ayay, 2014), en el que realiza una evaluación económica del plan de mantenimiento preventivo y predictivo referente a maquinaria pesada de la empresa Multiservicios D&A S.A.C., donde llega a determinar que para el tratamiento del 51% de sus fallas indeseables le corresponde una inversión de 73 8900 nuevos soles y un beneficio de 101 605.50 nuevos soles, lo cual representa una recuperación en 260 días; la presente investigación tipifica los términos económicos respecto a la implementación del plan de mantenimiento para el tratamiento del 61.54% de fallas indeseables, le corresponde una inversión de 43 300 US\$ (aproximadamente 147 200 nuevos soles) y un beneficio de 153 104.64 US\$ (aproximadamente 520 555.78 nuevos soles), lo cual representa una recuperación en 4 meses (120 días aprox.). Este resultado, mejor a todas luces, se debe a que en materia de equipos pesados de gran tonelaje el gasto en mantenimiento es mayor; pero la recuperación por su desempeño es bastante sensible a tiempos muy cortos.

Finalmente, en contrastación con la investigación de (Linares, 2014) en la que tipifica un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores de una flota de camiones Scania, llega a determinar mejoras en sus indicadores: disponibilidad, aumento en 4%; confiabilidad, aumento en 10%; que representa un PRI de 87 días de acuerdo a su inversión inicial de 20 300 US\$ y beneficio de 70 897 US\$. En la presente investigación se ha estudiado máquinas de mayor envergadura, por lo tanto, los resultados también son más relevantes y significativos, pues la disponibilidad arroja una mejora en 18.44% y una confiabilidad cercana al 99%, top en este indicador. Además, los parámetros económicos son mucho más sensibles y tenemos un PRI de 120 días, pero con un beneficio de 153 104.64 US\$, con mucho mayor representatividad.

VI. CONCLUSIONES.

- En la evaluación inicial, se determina los indicadores de mantenimiento de los tractores, los cuales alcanzan un valor de la disponibilidad mínima de 62.76% así como un máxima de 76.43%, arrojando un promedio de las 10 máquinas del 70.04%; confiabilidad mínima de 70.37% y máxima de 92.89%, arrojando un promedio para las 10 máquinas de 85.63%; resultados dependientes del MTBF de 2521.50 y MTTR de 1078.50 horas en total por las diez máquinas.
- Del proceso de estudio de la criticidad de los diez tractores, en base a los criterios establecidos por el método aplicado, se determinó que las fallas preponderantes generales son 13, identificadas para cada unidad en el cuadro respectivo.
- Aplicando el AMEF, se trabajaron las fallas críticas para cada tractor determinando a través del NPR que ocho fallas (61.54%) son indeseables, tres fallas (23.08%) son posibles de convertirlas a deseables y dos fallas (15.38%) son consideradas adecuadas o aceptadas.
- Se ha determinado que, después de la aplicación del plan preventivo propuesto, utilizando la estrategia del RCM, los tractores agrícolas estudiados tienen una disponibilidad mínima de 85.68% y una máxima de 90.93%, arrojando un promedio de las 10 máquinas del 88.48%; confiabilidad mínima de 85.38% y máxima de 96.96%, arrojando un promedio para las 10 máquinas de 89.87%; resultados dependientes del MTBF de 3185.21 y MTTR de 414.79 horas en total por las diez máquinas.
- Del análisis económico referente a la aplicación del plan preventivo propuesto para la maquinaria agrícola, se requiere una inversión inicial de 43 300.00 US\$, para obtener un beneficio útil de 153 104.64 US\$, con un ROI de 4 meses, lo cual se considera positivo para la empresa.

VII. RECOMENDACIONES.

Los operadores y personal técnico de la empresa azucarera, involucrados en el funcionamiento de la maquinaria agrícola estudiada, deberán ser instruidos y concientizados en la mejora que se realiza de acuerdo a la ejecución de esta planificación de mantenimiento a la flota de tractores agrícolas, para así poder identificar continuamente los puntos críticos de esta maquinaria y establecer posibles planes de mejora continua.

Se recomienda efectuar por lo menos en forma anual, todas las actividades que comprendan la realización de un AMEF, haciendo énfasis en los equipos críticos de las máquinas agrícolas estudiadas, además de cumplir estrictamente con lo establecido en las fichas de registro del AMEF, frecuentemente.

Es muy importante, el recomendar la realización del seguimiento continuo e inspecciones inopinadas, utilizando las herramientas de mantenimiento predictivo solicitadas en la presente investigación; de esta manera aumentaremos los indicadores de mantenimiento y la obtención de valores aceptables o positivos, respecto a la disminución de tiempos perdidos por mantenimiento y reflejados en mejores estándares de costos e inversiones.

Se recomienda emplear otras técnicas o estrategias de generación de buenas prácticas o mejoras calculadas o sustentadas experimentalmente o con la ayuda de programas informáticos o software PDM especializados en gestión del mantenimiento.

Se sugiere como futuros trabajos de investigación el obtener mayor cantidad de datos para lograr modelar la distribución normal o probabilística y así mejorar el cálculo de la confiabilidad para la no ocurrencia de fallas correctivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Améndola, Luis. (2002). Modelos mixtos de confiabilidad. segunda. España, Valencia. Datastream, 2002. ISBN 978-84-940628-2-7.

Ávila Espinosa, Rubén. (1992). *Fundamentos del mantenimiento - Guías Económicas, Técnicas y Administrativas.* Primera reimpresión. Cd. de México: Limusa Grupo Noriega Editores primera reimpresión, 1992. ISBN 968-18-2528-4.

Ayay (2014). *Diseño y evaluación técnica económica de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo fundamentado en el análisis de modos y efectos de fallas para reducir los costos del mantenimiento de la maquinaria pesada en la empresa Multiservicios D&A S.A.C.,* Universidad Cesar Vallejo, Trujillo - Perú, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica (EIM)

Casachagua (2017). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora CAT 336 de la empresa Ecosem Smelter S.A.* Universidad Nacional Del Centro Del Perú (Huancayo - Perú)

Galeano, Fredy (2016). Indicadores de gestión de mantenimiento. [En línea] 18 agosto de 2016. [Citado el: 20 junio de 2017]. <https://prezi.com/wqp20e5dqakw/indicadores-de-gestion-de-mantenimiento/>

Gonzalez, Javier (2010). Auditoria del Mantenimiento e Indicadores de Gestion. 2da Edición. España, Madrid 2010. ISBN 978-84-92735-33-4

Lean Solutions. (2015). AMEF, Análisis de Modo y Efecto de la Falla. [En línea] 15 Mayo de 2015 [Citado el: 10 Junio de 2017] <http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/>.

Linares. (2014). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores de camiones. Scania para aumentar su disponibilidad y reducir los costos de operación en la empresa Bustruck S.A.C.* Universidad Cesar Vallejo, Trujillo-Perú, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica (EIM)

López, Guillermo. (2009). *Cálculo financiero aplicado: un enfoque profesional.* Buenos Aires : La Ley, 2009. 9870308821.

Martínez, Juan. (2014)- *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L en Barranquilla Colombia.*

Mcd. Vicente Moreno (2017). *Manual guía para el desarrollo del análisis de modo y efecto de falla. Sistema Integral Modelo Pachuca Centro De Excelencia Médica En Altura By Fifa. MEXICO.*

Moubray, John Mitchell. (2004). *RCM Reliability Centered Maintenance -* Industrial Press Inc. [ed.] Guilford and Rob Lockhart Biddles Limited. [Trad.] Sueiro

y Asociados - Argentina Ellman. Primera en castellano. Leicestershire: Aladon Limited, 2004. pág. 433. ISBN 09539603-2-3.

Norma SAE JA 1011 (2011). Guide to the Reability – Centered Maintenance (RCM) Standard. [En línea] 22 agosto de 2011. [Citado el: 11 Julio 2017]. www.sae.org

Olives, Ramón (2010). Mantenimiento preventivo [En línea] 14 abril 2010 [Citado el 18/06/2010]. http://treball.gencat.cat/web/.content/09__seguretat_i_salut_laboral/publicacions/i_matges/qp_manteniment_preventiu_cast.pdf

Orrego, Juan (2013). Análisis de criticidad. [En línea] 22 diciembre de 2013. [Citado el: 2 junio de 2017]. <https://es.slideshare.net/mantonline/anlisis-de-criticidad-presentation>

Renovetec. (2009). Ingeniería del Mantenimiento. Plan de mantenimiento basado en el RCM . [En línea] Renove Tecnología S.L, 10 de Enero de 2009. [Citado el: 13 de Julio de 2017.] <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>

Rivera. (2011). *Sistema de Gestión del Mantenimiento Industrial en Lima- alquiler de maquinaria pesada.* incluye una serie de estrategias alineadas a la misión y visión de la empresa

Suniaga. (2010). *Diseño del programa de mantenimiento preventivo a la maquinaria pesada perteneciente a la empresa Venezuela Heavy Industries S.A. (Vhicoa.* Universidad Nacional Experimental De Guayana (Guayana – Guayana)

Universidad Tecnológica de Pereyra (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. [En línea] 30 mayo de 2006. [Citado el: 3 Julio de 2017]. revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/download/6513/3787

ANEXOS

Anexo 1: Determinación de equipos críticos de las máquinas agrícolas

No.	TIPO DE DEFECTO	Frecuencias	Consecuencia	Criticidad
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
TOTAL				

Fuente: Propia del autor

Obteniendo los datos de frecuencias estructuradas, los porcentajes relativos

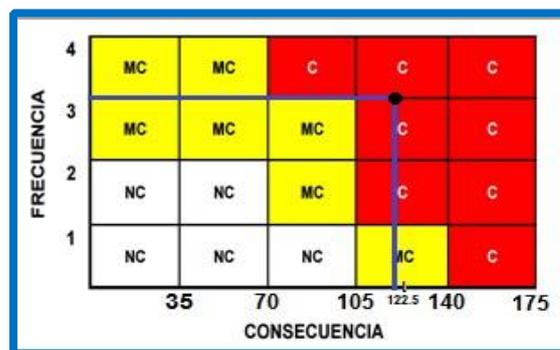


Figura- Intersección de la falla según la frecuencia y consecuencia

Anexo 2: Criterios de evaluación del análisis de criticidad

Frecuencia de fallas	
Elevado mayor a 40 fallas/año	4
Promedio 20-40 fallas/año	3
Buena 10-20 fallas/año	2
Excelente menos de 10 fallas/año	1
Impacto Operacional	
Parada total del equipo	10
Parada parcial del equipo y repercute a otro equipo o subsistema	7-9
Impacta a niveles de producción o calidad	5-6
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1
Flexibilidad Operacional	
No existe opción igual o equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1
Costo de mantenimiento	
Mayor o igual a US\$ 400 (incluye repuestos)	2
Inferior a US\$ 400 (incluye repuestos)	1
Impacto a Seguridad Ambiente e Higiene	
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor e incidente menor	4-5
Cuasiaccidente o incidente menor	2-3
Desvío	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Fuente: Améndola, 2012

En el siguiente Gráfico, “Matriz de Criticidad” se muestra la intersección de la consecuencia y la frecuencia de falla ponderada dando como resultado una falla media crítica para el elemento 7

Anexo 3: Formato Análisis Modal de Efecto y Falla

ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLO (A.M.E.F) <input type="checkbox"/> DISEÑO <input checked="" type="checkbox"/> PROCESO <input type="checkbox"/> MEDIOS						Planta de Producción de Azúcar				
						Fecha:				
AREA:	CALDEROS					Preparado por:				
DEPARTAMENTO:	GENERACIÓN DE VAPOR					Revisado por:				
EQUIPO:						Aprobado O.T.:				
Descripción del proceso	Falla Funcional	Modo de Fallas	Efecto de las fallas	Consecuencia	Causas de las fallas	N° AMEF:				Acciones Proactivas
						Gravedad	Ocurrencia	Detección	IPR	

Referencia: Realizado por el autor

Anexo 5: Criterios para evaluación del NPR

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Detección	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Fuente: Améndola, 2012

Las características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo):

NPR > 200 Fallas Inaceptables (I).

125 < NPR ≤ 200 Fallas reducibles deseables (R).

NPR ≤ 125 Fallas Aceptables (A).

Anexo 6: Tareas propuestas a realizar en el plan de mantenimiento

NUMERO DE FICHA..... TECNICO.....

MODELO DE MAQUINA..... FECHA.....

TURNO..... AREA.....

TAREAS	REALIZA- DO (SI O NO)	DESCRIPCION DE LA AVERIA	OBSERVACIONES DEL EQUIPO PARA SU CORRECTO CONTROL	RECOMENDACIONE S
Reemplazo del sistema eléctrico de gobierno de cardán				
Reemplazo de las bombas hidráulicas en Tándem				
Verificación del sistema hidráulico de accionamiento de pistones de alta presión				
Limpieza total del sistema de refrigeración de motor.				
Monitoreo del sistema de neumático de accionamiento de frenos.				
Monitoreo y verificación del disco de embrague.				
Análisis vibracional de rodamientos de las ruedas de los tractores				
Análisis del sistema de				

lubricación de la transmisión de las máquinas.				
Reemplazo de los inyectores de motor de las máquinas.				
Comprobación de los soportes de motor.				
Verificación de la dirección hidráulica de los tractores.				
Verificación de los neumáticos				
Otros				

Referencia: Realizado por el autor

Anexo 7: Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR DE MEDIDA (Horas)	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION
<i>Variable independiente: Plan de mantenimiento preventivo</i>	Mantenimiento que ayuda a preservar los equipos en el tiempo durante condiciones de funcionamiento establecidas (Ávila, 1992)	Tiempo medio de un activo de cada parada por fallo o avería operacional, (frecuencia con que ocurre cada parada).	MTBF	$\frac{\text{Tpo. total, de operación}}{\text{Nro. de fallas}}$	Razón
		Tiempo medio que la maquina esta inoperativa hasta haber reparado la falla o avería del equipo.	MTTR	$\frac{\text{Tpo. total de reparación}}{\text{Nro. de fallas}}$	Razón
		También llamado ratio Fallas/H	Taza de fallas	$\mu = \frac{1}{MTBF}$	Porcentaje
		También llamado ratio (N° Veces)/H	Taza de reparación	$\lambda = \frac{1}{MTTR}$	Porcentaje

Fuente: Propia del investigador

Tabla 24: Variable dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR DE MEDIDA	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION
Variable dependiente: disponibilidad operacional	<p>La disponibilidad es la seguridad que se tiene a un equipo y/o componente para su desempeño correcto, en un tiempo dado. Se suele utilizar fichas técnicas para su control. (Fernández, 2015)</p>	Capacidad de realizar un trabajo bajo ciertas condiciones durante un intervalo de tiempo	Confiabilidad	$R_t = (e^{-\mu t/100}) * 100$	Razón
		Porcentaje de tiempo de un equipo en funcionamiento.	Disponibilidad	$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	Razón
		Cantidad de fatiga para preservar funcionamiento en el trabajo o bien para reponer después que se haya presentado la falla.	Mantenibilidad	$M_t = (1 - e^{-\frac{\lambda t}{100}} * 100)$	Razón

Fuente: Propia del investigador

Anexo 8: Instrumentos de validación

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS DE EVALUACION								Observaciones (Si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique).
	Suficiencia ¹		Claridad ²		Coherencia ³		Relevancia ⁴		
	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	
1									
2									
3	✓		✓		✓		✓		
4									
Aspectos generales							Si	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.							✓		
Los ítems permiten lograr la obtención de data importante para la investigación.							✓		
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiere añadir ítems.							✓		
VALIDEZ									
Procede su aplicación					✓	No procede su aplicación			
Procede su aplicación atendiendo a las observaciones que se adjuntan									

¹**Suficiencia:** Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtener la medición de ésta.

²**Claridad:** El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.

³**Coherencia:** El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.

⁴**Relevancia:** El ítem es esencial o importante, es decir debe ser incluido.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres: Bolaños Grau Elmer Alfredo.
 Institución donde labora: Certificadors Andinos S.A.C.
 Cargo: Gerente de Planta.

ELMER BOLAÑOS
 INGENIERO MECANICO
 LIC 94350

Firma y sello del experto

DNI N° 18100737

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS DE EVALUACION								Observaciones (Si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Suficiencia ¹		Claridad ²		Coherencia ³		Relevancia ⁴		
	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	
1	X		X		X		X		
2									
3									
4									
Aspectos generales							Si	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.							X		
Los ítems permiten lograr la obtención de data importante para la investigación.							X		
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiere añadir ítems.							X		
VALIDEZ									
Procede su aplicación							X	No procede su aplicación	
Procede su aplicación atendiendo a las observaciones que se adjuntan									

¹**Suficiencia:** Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtener la medición de ésta.

²**Claridad:** El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.

³**Coherencia:** El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.

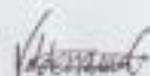
⁴**Relevancia:** El ítem es esencial o importante, es decir debe ser incluido.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres: *Valdeirama Campos, Edwin Ronald*

Institución donde labora: *Universidad César Vallejo*

Cargo: *Profesor*



Firma y sello del experto

ONI N° *11023113*

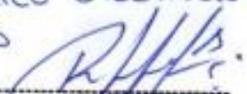
CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Cantidad ³		
	Si	No	Si	No	Si	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4							
Aspectos generales					Si	No	
Los instrumentos contiene instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.					X		
Los items permiten lograr la obtención de data importante para la investigación.					X		
Los items son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir items.					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

- ¹ Corresponde al concepto teórico formulado de las variables y/o dimensiones.
² Los items están apropiados para representar los indicadores y variables.
³ No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

Apellidos y nombres: *Alayo Miguel Raúl Fernando*
 Profesión: *Ing. Mecánico Electricista*
 Especialidad: *Mecánico*


 Raúl Fernando Alayo Miguel
 ING. MECANICO ELECTRICISTA
 R. C.I.P. N° 197083
 Firma del experto.

C.I.P.: 197083

DECLARATORÍA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR

Yo, Vega Avalos Andy Joel; con DNI: 46605882, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompañan al trabajo de investigación / tesis: **"Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, basado en el AMEF para aumentar la disponibilidad de la maquinaria agrícola de una empresa azucarera de la Región La Libertad"**

Así mismo declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

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

Trujillo, 03 noviembre de 2021



VEGA AVALOS ANDY JOEL
DNI: 46605882