



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Implementación del plan de mantenimiento preventivo de maquinaria agrícola

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico - Eléctrico

Naohachi Valentin Norabuena Kuroda

Asesor(es):
Dr. Ing. José José Manrique Silupú

Piura, enero de 2024



Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Naohachi Valentin Norabuena Kuroda, egresado del Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI N° 70428839.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:
"Implementación del plan de mantenimiento preventivo de maquinaria agrícola"
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis¹ para optar el Título profesional² de Ingeniero Mecánico-Eléctrico.
2. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
 - Dr. Ing. José José Manrique Silupú, identificado con DNI N° 44235652
3. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
4. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
5. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
6. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 10/12/2023.

Firma del autor optante³

¹ Indicar si es tesis, trabajo de investigación, trabajo académico o trabajo de suficiencia profesional.

² Grado de Bachiller, Título profesional, Grado de Maestro o Grado de Doctor.

³ Idéntica al DNI; no se admite digital, salvo certificado.



Dedico este trabajo a mi amada familia, cuyo amor, apoyo y paciencia inquebrantables han sido la base de mi éxito. Gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por ser mi fuente constante de inspiración.

Esta tesis representa el esfuerzo conjunto de muchas personas que me rodearon y me inspiraron a seguir adelante. A todos ustedes, gracias por ser parte de mi viaje.

Agradecimientos

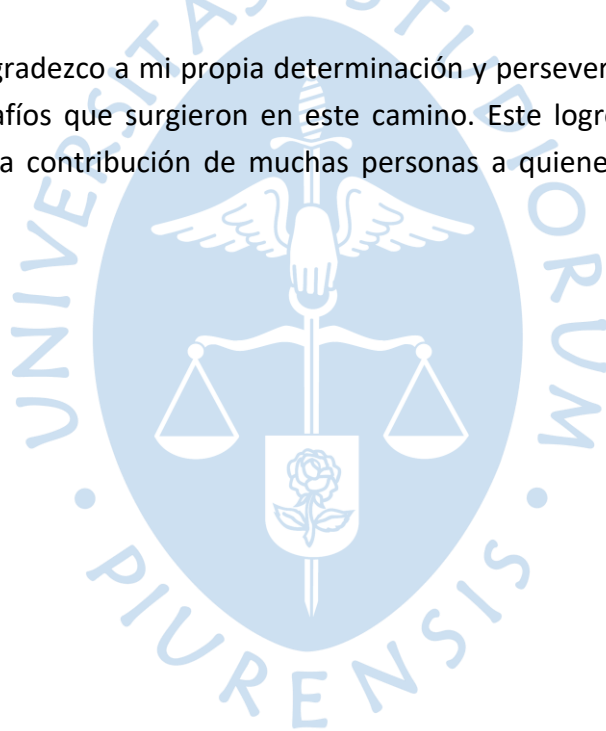
Agradezco sinceramente a todas las personas que contribuyeron de diversas formas a la realización de este proyecto de investigación.

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud al Ingeniero José Manrique, mi asesor, por su orientación experta, paciencia y su dedicación incansable a lo largo de este proceso. Su conocimiento profundo y sus consejos precisos fueron fundamentales para dar forma a esta tesis y para mi crecimiento como Ingeniero Mecánico Eléctrico.

Agradezco a mi familia por su constante apoyo emocional y comprensión durante las largas horas de estudio y trabajo. Sus palabras de aliento fueron mi fuente de motivación.

A mis amigos y compañeros de estudio, gracias por compartir conmigo esta emocionante travesía académica. Sus discusiones, colaboración y amistad fueron invaluable.

Finalmente, agradezco a mi propia determinación y perseverancia por no darme por vencido ante los desafíos que surgieron en este camino. Este logro es el resultado de un esfuerzo colectivo y la contribución de muchas personas a quienes estoy profundamente agradecido.



Resumen

Esta tesis aborda la implementación de un plan de mantenimiento a maquinaria agrícola dentro de una empresa exportadora de uva en el norte peruano, el proyecto se realizará en una flota de 18 máquinas nebulizadoras entre modelos multipropósito, herbicidas y turbos.

El panorama de inicio es un área denominada operaciones la cual está a cargo de mantenimiento de la flota de nebulizadoras así como la programación y supervisión de labores de campo como picado de sarmiento, reconstrucción de líneas en los equipos de plantas con implementos como flecha, grada y bordeador. En cuanto al apartado de mantenimiento se contaba con una filosofía de trabajo enfocada principalmente en lo correctivo y sin llevar historiales que permitan trascender a un análisis de fallas.

El proyecto tiene como punto de partida el análisis de la data de salidas de almacén del año 2022 ya que era el único modo de realizar trazabilidad y poder identificar las principales fallas dentro de la flota con el fin de realizar actividades correctivas de emergencia que permitan romper el ciclo de las fallas más concurrentes, algunas de las que se encontraron fueron rupturas de membrana de pistón de presión, rupturas de membrana de amortiguador de presión, falla en rodamientos de ruedas y falla en válvulas de cámara de presión de bomba.

Las actividades correctivas aplicadas como el cambio de bocamazas, cambio de membranas de acumulación de presión, cambio de membranas de presión de pistón y cambio de válvulas de presión lograron reducir las incidencias diarias y permitieron abrir una ventana en el tiempo del equipo de trabajo para empezar a realizar trabajos preventivos como el cambio de aceite dentro del periodo recomendado.

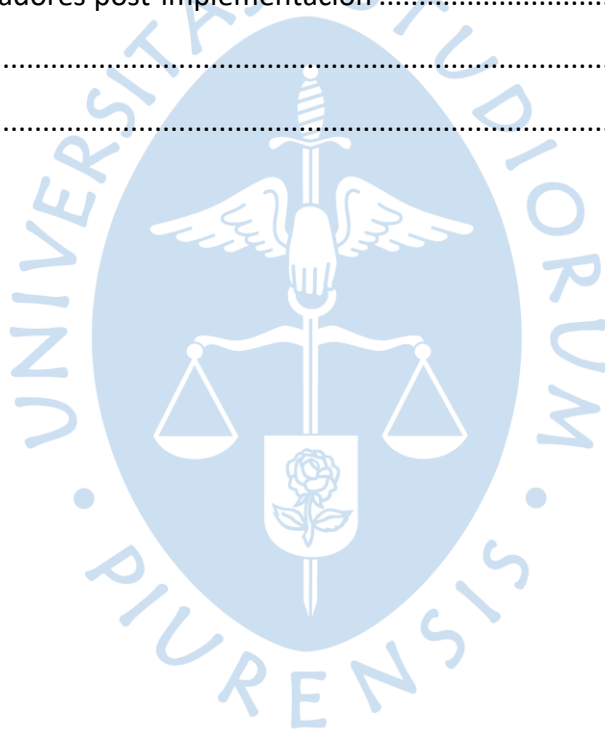
Es a inicios de Julio de 2023 donde inicia la ejecución del plan de mantenimiento en la flota de nebulizadoras las cuales desde el primer mes empiezan a mostrar mejora en los indicadores como el tiempo medio de reparación, tiempo medio entre fallas y la disponibilidad, iniciando la aproximación hacia ese 95% tan deseado.

Tras cuatro meses de ejecución se logró alcanzar en promedio el 95% de disponibilidad en el grupo de maquinaria, si bien algunas permanecen por debajo de mencionado porcentaje hay otras que cuentan con mayor tiempo disponible.

Tabla de contenido

Intruducción	10
Capítulo 1	11
Marco teórico del mantenimiento	11
1.1 Definición del mantenimiento	11
1.2 Objetivos del mantenimiento	11
1.3 Ventajas del mantenimiento.....	12
1.4 Tipos de mantenimiento	12
1.4.1 Mantenimiento preventivo	13
1.4.2 Mantenimiento correctivo.....	13
1.4.3 Mantenimiento predictivo	13
1.5 Mantenimiento preventivo.....	14
1.6 Importancia de la prevención	14
1.7 Indicadores de mantenimiento.....	15
Capítulo 2	17
Diseño, implementación y evaluación del plan de mantenimiento	17
2.1 Antecedentes de la empresa.....	17
2.1.1 Estado de maquinaria	17
2.1.2 Indicadores pre-implementación.....	18
2.2 Identificación de equipos y recursos.....	20
2.2.1 Maquinaria	21
2.2.2 Recurso humano y económico	22
2.3 Análisis de fallas	23
2.3.1 Fallas críticas	23
2.3.2 Fallas menores.....	26
2.4 Subdivisión de maquinaria	27
2.4.1 Chasis.....	28

2.4.2 Sistema de líquido	29
2.4.3 Sistema de aire	30
2.5 Determinación de periodicidad del mantenimiento.....	31
2.5.1 Mantenimiento diario	31
2.5.2 Mantenimiento Mensual.....	32
2.5.3 Mantenimiento Trimestral	33
2.5.4 Mantenimiento Anual	33
2.6 Valorización del plan de mantenimiento	34
2.7 Presupuesto del mantenimiento preventivo y costos	37
2.8 Análisis de indicadores post-implementación	37
Conclusiones.....	40
Referencias.....	41



Lista de tablas

Tabla 1 Actividades de mantenimiento diario	32
Tabla 2 Mantenimiento mensual	32
Tabla 3 Mantenimiento trimestral.....	33
Tabla 4 Mantenimiento anual.....	34



Lista de figuras

Figura 1 Extracto de chat de reporte de incidencias.....	18
Figura 2 Extracto de registro de salidas de almacén 2022.....	18
Figura 3 Extracto de histórico de incidencias.....	19
Figura 4 Detalle de histórico de incidencias.....	19
Figura 5 Nebulizadora multifuncional	21
Figura 6 Nebulizadora turbo.....	22
Figura 7 Nebulizadora herbicida	22
Figura 8 Detalle de posición de membrana de presión.....	23
Figura 9 Detalle de estructura de comando de presión.....	24
Figura 10 Detalle del compensador volumétrico.....	24
Figura 11 Detalle del tiro.....	25
Figura 12 Detalle de toberas	26
Figura 13 Detalle de bomba.....	27
Figura 14 Esquema de nebulizadora multifuncional.....	28
Figura 15 Chasis de nebulizadora.....	28
Figura 16 Sistema de líquido.....	29
Figura 17 Filtro previo a la bomba	29
Figura 18 Comando de presión.....	30
Figura 19 Tanque de nebulizadora.....	30
Figura 20 Sistema de aire.....	31
Figura 21 Plan de mantenimiento preventivo máquina multifuncional.....	35
Figura 22 Plan de mantenimiento de máquina herbicida	36
Figura 23 Plan de mantenimiento de máquina herbicida.....	36
Figura 24 Extracto de archivo de reporte diario	37
Figura 25 Extracto de archivo de reporte diario	37
Figura 26 Extracto de registro histórico por máquina	38
Figura 27 Extracto de indicadores de mantenimiento.....	38

Introducción

El problema por resolver dentro de la empresa es la falta de cultura de mantenimiento preventivo y el pobre manejo de presupuesto. Las máquinas que se tienen en la flota son principalmente nebulizadoras, implementos agrícolas y cuatrimotos, sin embargo, el presente trabajo se centrará en la implementación del plan de mantenimiento preventivo de las nebulizadoras, así como la valorización de este.



Capítulo 1

Marco teórico del mantenimiento

En este capítulo se abordará la teoría del mantenimiento industrial desde un plano general, iniciando en su definición e induciendo la investigación hacia su rama preventiva, en la cual se basa este proyecto.

En la actualidad la palabra mantenimiento está bastante extendida en el vocabulario industrial; sin embargo, esto lleva a la desnaturalización de la definición, lo que a su vez repercute en la poca comprensión del significado real de esta rama de la ingeniería llegando al punto de ver al área encargada de esa función como poco más que reparadores cuando la misión es mucho más trascendental que solo ejecutar reparaciones y poner en funcionamiento algún activo.

1.1 Definición del mantenimiento

Según la norma internacional ISO 24510:2007 el mantenimiento es la “Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión de un activo durante su ciclo de vida con el objetivo de conservarlo o restaurarlo a un estado en el que pueda realizar la función requerida”

Según Francisco Rey Sacristán, autor del libro “Manual del mantenimiento integral en la empresa”, el mantenimiento son las técnicas que aseguran la correcta utilización y el continuo funcionamiento de la maquinaria productiva.

En definitiva, la definición más completa del mantenimiento es que aglomera un conjunto de actividades de control, predicción, revisión, mejoramiento y reparación, que permiten garantizar el funcionamiento y el buen estado de conservación de los equipos e instalaciones. Como síntesis y recortando a la definición a su más profunda esencia el mantenimiento es asegurar que todo activo físico, continúe desempeñando las funciones deseadas.

1.2 Objetivos del mantenimiento

El objetivo general del mantenimiento es preservar a la empresa del fallo de sus equipos y todas aquellas consecuencias que éstas pueden generar en el proceso productivo, sin embargo, no basta solo lograr ese hito, sino que esto se debe alcanzar con la mejor eficiencia económica posible de tal manera que las paradas y costos de mantenimiento sean mínimos y se apunte hacia una rentabilidad optima. Si todo eso es logrado con éxito se podrá asegurar la competitividad de la empresa al garantizar alta disponibilidad y confiabilidad cuando el usuario lo requiera, con las condiciones que él necesite y por el tiempo que se solicite. No se puede dejar de lado que acompañando a las estrategias operacionales también se tiene como objetivo cumplir con los requisitos de calidad, seguridad y medio ambiente que la industria propone.

Así como se tiene un objetivo general que engloba la principal misión del mantenimiento también se puede nombrar objetivos específicos que forman parte del proceso y que ayudan a tener claro el camino de una buena práctica operacional, algunos de ellos son:

- Identificar, listar y mapear los activos de la empresa con el fin de poder tener una data de fácil y rápido acceso que no solo permita conocer la cantidad o tipo de activos sino también sus repuestos, datos técnicos y tenerlos ligados a la parte del proceso correspondiente.
- Detallar las actividades del mantenimiento a realizar en cada una de las áreas de la empresa con sus respectivos equipos, ya sea del tipo eléctrico, mecánico, tribológico, instrumentista, metrológico, etc.
- Asignar fechas de inicio, duración, necesidad de horas hombre, repuestos, entre otros datos a las actividades de mantenimiento necesarias, de esa manera se logrará tener una mejor calendarización no solo del área operacional sino también de los requerimientos de materiales.
- Digitalizar la información de historiales, cumplimiento del plan, necesidades adicionales, observaciones, entre otros detalles que surjan tras la realización del trabajo de mantenimiento con el fin de poder generar una trazabilidad y no perder de vista el estado de los equipos.

1.3 Ventajas del mantenimiento

El fruto de una buena programación del mantenimiento en una empresa puede materializarse en diversos efectos positivos en amplios ámbitos del proceso, por ejemplo permiten elevar el estándar de calidad de los productos y poder mantenerlo en el tiempo con un costo más bajo, si se aborda desde el punto de vista logístico se puede traducir en una mayor satisfacción del cliente al poder recibir sus productos en el tiempo acordado y no verse sujeto a retrasos por fallas imprevistas, desde el punto de vista de la seguridad se puede obtener un menor índice de accidentes laborales ya que al estar la maquinaria en mejores condiciones las condiciones subestándar sufren una disminución significativa, finalmente también se puede observar una mayor vida útil de la maquinaria al poder detectar fallas tempranas y desgastes que de no ser corregidas puede tener un mayor índice de gravedad ocasionando así una pérdida de vida útil bastante notable.

1.4 Tipos de mantenimiento

Como ya se ha comentado en apartados anteriores el fin del mantenimiento es poder garantizar la operatividad de la maquinaria utilizada en el proceso productivo de la industria en la que se esté desarrollando, por tanto para lograr ese fin es necesario intervenir en la mayoría de casos antes que ocurra la falla, ese tipo de mantenimiento es llamado preventivo ya que busca prevenir la ocurrencia.

La experiencia permite conocer que no siempre es posible anticiparse, debido a muchos factores como una causa externa a la operación normal del equipo, un accidente por parte del personal o casos donde se precisa dejar en funcionamiento la pieza hasta que su vida útil se consuma en su totalidad, para resolver estos casos se hace uso del mantenimiento correctivo.

Existe un tercer tipo de mantenimiento llamado predictivo el cual se utiliza con herramientas más sofisticadas como ultrasonido, termografía, análisis vibracional, entre otras técnicas que permiten diagnosticar el estado de la pieza a analizar y predecir sus posibles futuras fallas.

1.4.1 Mantenimiento preventivo

Tipo de mantenimiento enfocado en la prevención de la falla mediante el cambio periódico de piezas, la finalidad es anticiparse a la falla y para ello se puede hacer uso de periodos recomendados por el proveedor en los manuales de uso o mediante el análisis del historial de fallas, los detalles de este tipo de mantenimiento se desglosarán en el siguiente apartado.

1.4.2 Mantenimiento correctivo

En el mantenimiento más primitivo de todos ya que nace de la necesidad de corregir la condición del equipo cuando éste ya falló, esto puede llevar a una alta ineficiencia del proceso ya que una prolongada puede ocasionar pérdidas significativas en materia económica para la empresa. Sin embargo, hay ocasiones en las que por diversas causas como el valor del repuesto o el poco impacto de la pieza en el proceso se prefiere estirar la vida útil hasta el límite de la falla para poder intervenir.

Cabe destacar que, aunque se haga un muy buen trabajo preventivo resulta casi inevitable recurrir al correctivo por fallas inopinadas, sin embargo, en ese caso se debe priorizar la mayor eficiencia en la intervención haciéndola de manera rápida y asegurando el buen trabajo para no caer en reparaciones correctivas posteriores.

Una buena cultura de mantenimiento apunta a tener la menor cantidad de mantenimiento correctivo dentro de la operación.

1.4.3 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo tiene como finalidad analizar el estado de los equipos mediante diversos métodos analíticos como el ultrasonido, termografía, análisis vibracional, análisis de aceite. etc.

Es mediante las diversas técnicas utilizadas que se puede diagnosticar posibles fallas futuras debido al desgaste o alguna condición que a simple vista no se pueda visualizar.

El análisis termográfico es utilizado en instalaciones eléctricas para poder determinar puntos calientes los cuales son señal de posibles cortos circuitos; el análisis de aceite es

utilizado en compresores, generadores y transformadores con el fin de encontrar partículas suspendidas que den indicios de desgaste de partes específicas del equipo; el análisis vibracional se puede utilizar en motores eléctricos y compresores con el fin de determinar desalineaciones, desbalances, desgaste de rodamientos, etc.

1.5 Mantenimiento preventivo

Este mantenimiento es la base sobre la cual se edifica la cultura de la producción, sin este no sería posible pensar en las evoluciones como el basado en la confiabilidad, el basado en condición o siquiera la implementación de un sistema de mantenimiento. Al ser la base debe ser sólida y estar muy pensada ya que de esto depende que los tiempos en que la maquinaria está inoperativa sean lo menor posibles.

Su característica principal es la implementación de un plan de trabajo calendarizado en base a periodos de tiempo determinados, este esquema de trabajo es llamado plan de mantenimiento preventivo y está conformado por actividades, tiempos, personal asignado, material requerido, servicios necesarios, etc.

Como consecuencia del plan de mantenimiento preventivo se obtiene el presupuesto de mantenimiento preventivo el cual debe ser sujeto a un análisis financiero con el fin de determinar si en aras de garantizar la operatividad se está incurriendo en gastos demasiado altos.

Como logro de este mantenimiento se obtiene una disminución en el tiempo de parada de maquinaria, orden en la cronología de trabajo del área, trazabilidad de trabajo y cambios de repuestos y estandarización de procesos.

1.6 Importancia de la prevención

En la industria se tiene como objetivo la mayor producción posible, con la mejor calidad posible y al menor costo, para lograr ello una de las cosas más importantes es no incurrir en paradas de proceso.

Como lo describe Francisco Rey en su libro "Manual del mantenimiento integral de la empresa" es desde principios de la década de los 20's del siglo pasado que se empieza a tomar preocupación por disminuir lo que hasta ese momento era llamado mantenimiento por rotura o en términos más modernos mantenimiento correctivo, la principal causa de esta búsqueda era que la industria empezaba a buscar la eficiencia y lamentablemente este tipo de mantenimiento por muy rápido que se realice ya está ocasionando una parada de la línea de producción y muchas veces en los peores momentos posibles.

La importancia de la prevención de fallas en la industria se ha ido haciendo cada vez más importante ya que brinda facilidades como:

- Implementar procesos más continuos como los son trabajos a tres turnos en los que las reparaciones pueden realizarse en los cambios de grupo de trabajo.

- Mantener líneas de producción activas en las que anteriormente en caso de falla se paralizaba no solo la máquina averiada sino todo el grupo asignado a esa labor.
- Mantener los plazos de entrega de producto terminado bajo control ya que al realizar las intervenciones con anticipación y con una programación debida el tiempo que se brindará al área de mantenimiento ya es conocido y puede ser tomado en cuenta para una calendarización adecuada por parte de producción.
- Al tener una intervención periódica a la maquinaria permite mantener un control sobre el desgaste de la misma, permitiendo de esa manera corregir condiciones degradadas y mantener la eficiencia siempre al máximo nivel.
- Junto a la prevención de la falla también viene la correcta programación del personal de mantenimiento, ya que cada colaborador tiene siempre una tarea asignada y se evitan los tiempos muertos o el continuo caos por la prisa de atención de mantenimientos correctivos.
- Al mantener la prevención en la operación de mantenimiento es más fácil garantizar la existencia de un almacén abastecido con los repuestos necesarios.

1.7 Indicadores de mantenimiento

Así como es de vital importancia implementar la prevención dentro de la cultura de mantenimiento también es muy importante el poder tener indicadores que permitan llevar un control de la gestión que refleje la eficiencia y debe las áreas en las que se debe tomar medidas para mejorar. Dentro de la industria hay una gran gama de indicadores ya que diferentes rubros requieren distintas maneras de medir su gestión, sin embargo hay indicadores base que toda empresa debe utilizar, son los siguientes:

- Tiempo promedio para reparar (MTTR): Es el tiempo que le toma al área de mantenimiento solucionar una avería presentada dentro del tiempo de operatividad, se debe apuntar a que sea lo más bajo posible.

$$M_{ttr} = \frac{\text{tiempo total de repacion (horas)}}{\text{número de fallas}}$$

- Tiempo promedio entre fallas (MTBF): Este indicador define el tiempo promedio que pasa entre una falla y la siguiente, se debe apuntar a que sea el mayor posible.

$$M_{tbf} = \frac{\text{Horas en operación (horas)}}{\text{número de fallas}}$$

- Disponibilidad: Es el indicador que define que porcentaje del tiempo total que la maquinaria debería estar operativa realmente lo está, se debe apuntar a ser

lo más cercano al 100% sin embargo para muchas industrias es aceptable con tener un 95% en adelante.

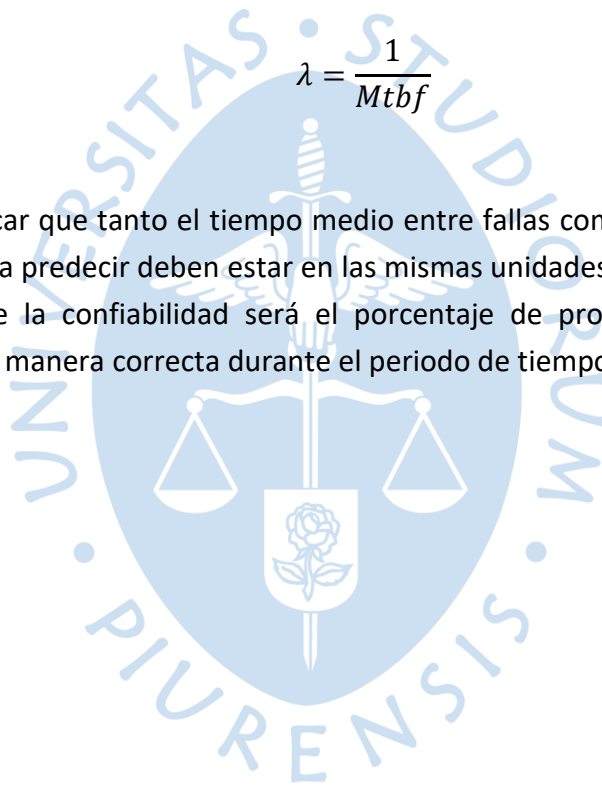
$$\text{Disponibilidad} = \frac{Mtbf}{Mtbf + Mttr} * 100$$

- Confiabilidad: Es el indicador que refleja que tan probable es que el equipo funcione de manera correcta en un periodo futuro de tiempo.

$$\text{Confiabilidad} = e^{-\lambda * t} * 100$$

$$\lambda = \frac{1}{Mtbf}$$

Cabe destacar que tanto el tiempo medio entre fallas como el periodo de tiempo que se desea predecir deben estar en las mismas unidades y que el resultado de la ecuación de la confiabilidad será el porcentaje de probabilidad que el activo funcione de manera correcta durante el periodo de tiempo "t".



Capítulo 2

Diseño, implementación y evaluación del plan de mantenimiento

En este capítulo se abordará la implementación técnica del plan de mantenimiento preventivo en la flota de nebulizadoras y herbicidas mediante el análisis de fallas y asesorado por opiniones del proveedor para la designación de los periodos de tiempo pertinentes para cada sección de la máquina, asimismo se realizará un análisis de resultados basados en la evolución de los principales indicadores como el tiempo medio para reparar, el tiempo medio entre fallas y la disponibilidad, de esta manera se buscará demostrar los beneficios de la implementación.

2.1 Antecedentes de la empresa

La empresa en cuestión presenta una metodología de trabajo mixta entre mantenimiento y producción, denominando al área encargada como operaciones. Al tener un área responsable de ambos sectores la dedicación o atención que se le puede brindar al mantenimiento es limitada ya que el encargado en jefe debe cumplir los roles de planificador, programador y supervisor de las labores relacionadas al plan.

2.1.1 Estado de maquinaria

La empresa cuenta con maquinaria agrícola como nebulizadoras, herbicidas, implementos agrícolas, motos lineales y cuatrimotos. Como foco de estudio esta implementación se centra en el mantenimiento preventivo de las nebulizadoras y herbicidas. El estado original de la maquinaria era operativo en su mayoría, sin embargo, esta operatividad estaba sujeta a una constante necesidad de trabajos correctivos los cuales en muchas ocasiones eran de baja confiabilidad debido a la falta de repuestos o mal criterio ingenieril sobre la necesidad de reparaciones mayores.

En cuanto al apartado de gestión y prevención no se contaba con un plan de mantenimiento preventivo ni historiales de ordenes de trabajo, tampoco se contaba con una calendarización de labores ni seguimiento de labores por lo que la empresa no cuenta con información de la eficiencia con la que trabajaba la parte técnica del área.

En cuanto al apartado económico se contaba con un límite de gasto de 48 mil dólares americanos al año, lo que distribuido entre las 19 máquinas materia de este proyecto resulta en 1263 dólares anuales, monto que como se expondrá más adelante resulta insuficiente debido al alto costo de los repuestos.

En síntesis, la sección dedicada al mantenimiento de la maquinaria se encontraba sin dirección clara a nivel gestión, operando solo a nivel correctivo y sin visión o filosofía alguna.

2.1.2 Indicadores pre-implementación

Como se explicó previamente, la empresa no contaba con un historial de trabajos realizados o de repuestos cambiados, de la misma manera no se tenía un registro de tiempos de parada. Dadas las circunstancias se optó por utilizar el reporte de falla por parte del área usuario en el canal de comunicación WhatsApp, el cual es enviado de manera diaria y gracias a que se contaba con el historial del chat grupal se logró acceder a la información del año 2022. Asimismo, se realizó la descarga de las salidas de almacén destinadas a nebulizadoras ya que es necesario consignar el código de identificación de la nebulizadora para cual se está retirando el repuesto.

Figura 1

Extracto de chat de reporte de incidencias

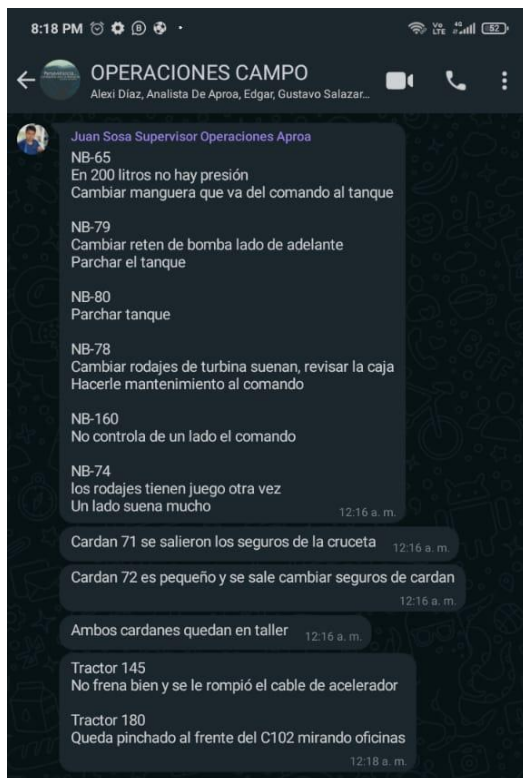


Figura 2

Extracto de registro de salidas de almacén 2022

NOMBRE MAQ	SEM	FECHA	MAQ. ESP	SIST. NOMBRE	PU	Valores	
						CANT	USD
NEBULIZADORA	1	03/01/2022				52	\$ 106
		04/01/2022	NEB-66	PORTABOQUILLA DOBLE BARRA PARRONAL C	26.0	1	\$ 26
			NEB-74	LLAVE MARIPOSA A ESFERA G 1/2' M-M	11.3	4	\$ 45
		06/01/2022	NEB-64	MANOMETRO DE 0 -40 BAR -0-600 PSI	37.0	1	\$ 37
	2	12/01/2022	NEB-72	KIT COMPENSADOR VOLUMETRICO APS 121-	31.8	1	\$ 32
		13/01/2022	NEB-70	PARCHE VIPAL VD01	1.1	2	\$ 2
			NEB-71	PARCHE VIPAL VD01	1.1	1	\$ 1
		14/01/2022	NEB-66	MANOMETRO DE 0 -40 BAR -0-600 PSI	37.0	1	\$ 37

Una vez obtenida ambas datas se realizó el cruce en búsqueda de coincidencias entre las fallas reportadas y los repuestos consignados. Los indicadores que se van a calcular son el tiempo medio entre fallas, el tiempo medio para reparar y con ambos se podrá obtener la confiabilidad. Para poder realizar el cálculo de dichos indicadores es necesario saber el tiempo que se tarda en levantar cada tipo de falla y al no tener información sobre ese factor se recurrió a la experiencia propia durante estos meses de implementación.

Figura 3

Extracto de histórico de incidencias

SEM	FECHA	MAQ.	INCIDENCIA	ACTIVIDAD	TIEMPO (H)	MATERIAL	CANT.	P/U	TOTAL
1	4/01/2022	NEB-74	LLAVE MARIPOSA ROTA	CAMBIO DE LLAVE MARIPOSA	1	LLAVE MARIPOSA A ESFERA G 1/2" M-M	4.0	11.3	45.2
1	4/01/2022	NEB-66	PORTABOQUILLA ROTA	CAMBIO DE PORTABOQUILLA	0.5	PORTABOQUILLA DOBLE BARRA PARRONAL DE BRONCE B-120	1.0	26.0	26.0
1	6/01/2022	NEB-75	LLAVE MARIPOSA ROTA	CAMBIO DE LLAVE MARIPOSA	1	LLAVE MARIPOSA A ESFERA G 1/2" M-M	2.0	11.3	22.6
1	6/01/2022	NEB-64	MANOMETRO DESCALIBRADO	CAMBIO DE MANOMETRO	0.5	MANOMETRO DE 0-40 BAR-0-600 PSI	1.0	37.0	37.0
1	6/01/2022	NEB-75	PORTABOQUILLA ROTA	CAMBIO DE PORTABOQUILLA	0.5	TUBO 3/8"45 P/PORTABOQUILLA 3/8 C/TUERCA	1.0	20.5	20.5
2	12/01/2022	NEB-72	COMPENSADOR VOLUMETRICO ROTO	CAMBIO DE COMPENSADOR VOLUMETRICO	0.5	KIT COMPENSADOR VOLUMETRICO APS 121-145	1.0	31.8	31.8
2	13/01/2022	NEB-70	NEUMATICO PINCHADO	PARCHADO DE NEUMATICO	1	PARCHE VIPAL VD01	2.0	1.1	2.2
2	13/01/2022	NEB-71	NEUMATICO PINCHADO	PARCHADO DE NEUMATICO	1	PARCHE VIPAL VD01	1.0	1.1	1.1
2	14/01/2022	NEB-66	MANOMETRO DESCALIBRADO	CAMBIO DE MANOMETRO	0.5	MANOMETRO DE 0-40 BAR-0-600 PSI	1.0	37.0	37.0
3	15/01/2022	NEB-64	COMPENSADOR VOLUMETRICO ROTO	CAMBIO DE COMPENSADOR VOLUMETRICO	0.5	KIT COMPENSADOR VOLUMETRICO APS 121-145	1.0	31.8	31.8
3	15/01/2022	NEB-70	MEMBRANA DE ACUMULACION DE PRESION ROTA	CAMBIO DE MEMBRANA DE ACUMULACION DE PRESION	1	MEMBRANA ACUMULACION DE PRESION IDS 1501	1.0	11.58	11.6
3	15/01/2022	NEB-70	PORTABOQUILLA ROTA	CAMBIO DE PORTABOQUILLA	0.5	TUBO 3/8"45 P/PORTABOQUILLA 3/8 C/TUERCA	1.0	20.5	20.5
3	15/01/2022	NEB-71	PORTABOQUILLA ROTA	CAMBIO DE PORTABOQUILLA	0.5	TUBO 3/8"45 P/PORTABOQUILLA 3/8 C/TUERCA	1.0	20.5	20.5
3	15/01/2022	NEB-72	PORTABOQUILLA ROTA	CAMBIO DE PORTABOQUILLA	0.5	TUBO 3/8"45 P/PORTABOQUILLA 3/8 C/TUERCA	1.0	20.5	20.5
3	15/01/2022	NEB-74	PORTABOQUILLA ROTA	CAMBIO DE PORTABOQUILLA	0.5	TUBO 3/8"45 P/PORTABOQUILLA 3/8 C/TUERCA	1.0	20.5	20.5
3	17/01/2022	NEB-79	RODAMIENTOS DE TURBINA CON JUEGO	CAMBIO DE RODAMIENTOS DE TURBINA	4	RODAMIENTO 6007-LLU-C3/AS	2.0	5.228	10.5
3	18/01/2022	NEB-73	CÁMARA DE NEUMATICO DESTRUIDA	CAMBIO DE CÁMARA DE NEUMATICO	1	CAMARA 11L 15	1.0	26.52	26.5
3	19/01/2022	NEB-77	ABRAZADERA DE MANGUERA DE AIRE ROTA	CAMBIO DE ABRAZADERA DE MANGUERA DE AIRE	0.5	ABRAZADERA 104-112	2.0	4.2	8.4

Figura 4

Detalle de histórico de incidencias

MAQ.	INCIDENCIA	ACTIVIDAD	TIEMPO (H)
NEB-74	LLAVE MARIPOSA ROTA	CAMBIO DE LLAVE MARIPOSA	1
NEB-66	PORTABOQUILLA ROTA	CAMBIO DE PORTABOQUILLA	0.5
NEB-75	LLAVE MARIPOSA ROTA	CAMBIO DE LLAVE MARIPOSA	1
NEB-64	MANOMETRO DESCALIBRADO	CAMBIO DE MANOMETRO	0.5
NEB-75	PORTABOQUILLA ROTA	CAMBIO DE PORTABOQUILLA	0.5
NEB-72	COMPENSADOR VOLUMETRICO ROTO	CAMBIO DE COMPENSADOR VOLUMETRICO	0.5

Una vez obtenida la información y organizada en tabla se procede a obtener el tiempo total de trabajo del año 2022 para lo cual se toman las horas laborales las cuales se pueden calcular de la siguiente manera:

*horas por año = semanas * dias laborables de la semana * horas laborables del dia*

$$\text{horas por año} = 52 * 5 * 16 = 4160$$

$$\text{horas por año} = 4160 \text{ horas}$$

Como resultado se obtienen 4160 horas laboradas en el año 2022, cabe resaltar que se toman 16 horas laborables del día debido a que los trabajos se realizan en doble turno de 8 horas cada uno.

El siguiente paso es calcular el tiempo medio entre fallas, para la cual se utilizará el número total de incidencias partido entre las horas laboradas, este indicador servirá para saber cada cuanto tiempo se presentaba una falla. El número total de incidencias presentadas en el año 2022 asciende a 862.

$$Mtbf = \frac{\text{Horas en operación (horas)}}{\text{número de fallas}}$$

$$Mtbf = \frac{4160}{862}$$

$$Mtbf = 6.5 \text{ horas}$$

El siguiente indicador en ser calculado será el tiempo medio de reparación, para lo cual es necesario promediar el tiempo que los técnicos tardaban en realizar el levantamiento de una incidencia, eso se extraerá de la siguiente manera:

$$Mtrr = \frac{\text{tiempo total de repacion (horas)}}{\text{número de fallas}}$$

$$Mtrr = \frac{1140}{862}$$

$$Mtrr = 1.3 \text{ horas}$$

Ahora que ya se han calculado los indicadores base se puede realizar el cálculo de la disponibilidad, la cual permite interpretar cuanto por ciento del tiempo total de operación que debería tener la máquina realmente está en capacidad para poder realizar la labor de manera óptima. El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{Mtbf}{Mtbf + Mtrr} * 100$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{6.5}{6.5 + 1.3} * 100$$

$$\text{Disponibilidad} = 83.3\%$$

Dados los resultados se obtiene que la disponibilidad de la maquinaria era de un 83.3%, lo que comparado con el estándar de la industria es bastante bajo dado que 90% se considera como bueno y por encima del 95% es hacia donde una gestión debería apuntar. Adicional a ello este número permite dirigir la atención hacia el factor que se debe disminuir, en este caso es el tiempo medio de reparación, ese indicador tiene la posibilidad de decrecer tanto si el número de incidencias disminuye o por el contrario si el tiempo promedio para reparar se reduce.

Para poder conocer las incidencias que aquejan la maquinaria se realizará un análisis de fallas, esto se verá a detalle en las siguientes secciones.

2.2 Identificación de equipos y recursos

Una parte importante de la implementación de un plan de mantenimiento es tener presente el recurso con el que se cuenta, de tal manera que no se aspiren a estrategias que resulten inviables en caso de contar con un limitado recurso económico o humano, asimismo es igual de importante reconocer la funcionalidad de la maquinaria y su funcionamiento para tener una comprensión íntegra de las falencias que se puedan llegar a presentar, por ello en

esta sección se presentará las unidades con las cuales se está realizando esta implementación y cuáles son sus principales usos.

2.2.1 Maquinaria

La flota de nebulizadoras se puede dividir en multifuncional, turbos y herbicida. Las nebulizadoras multifuncional son utilizadas para aplicaciones foliares de nutrición y de sanidad.

El mayor punto beneficioso es la capacidad de direccionar el flujo de líquido hacia una zona específica de la planta lo que sumado a las mangueras de aire que dirigen el viento generado en la turbina a las toberas permite realizar una distribución focalizada del producto, adicional a ello al tener 36 puntos de salida diferentes llamados boquillas permite realizar aplicaciones que penetren mejor las superficies entre vayas en el racimo. Sin embargo, un punto débil es su gran número de piezas lo cual incrementa su costo de mantenimiento y su probabilidad de falla.

Figura 5

Nebulizadora multifuncional



Nota: Extraído de <https://chaski.com.pe/product/nebulizador-multifuncional>

Las nebulizadoras turbo son un modelo utilizado para aplicaciones foliares también pero especialmente para las cuales no necesitan de una distribución dirigida debido a su nula capacidad de articulación de las toberas de salida. Su diseño es bastante simple y al no contar con el conjunto de dirección de aire su mantenimiento es mucho menos complicado y por consiguiente más económico.

Figura 6

Nebulizadora turbo



Nota: Extraído de <https://chaski.com.pe/product/nebulizador-multifuncional>

Las nebulizadoras herbicidas son un tipo de máquina designada específicamente a la aplicación con el fin de terminar con la hierba en los surcos de siembra del campo debido a la competencia de nutrientes que existe entre la planta invasora y vid. Éstas son de fabricación propia de la empresa y son fruta de la adaptación de nebulizadoras originalmente turbo.

Figura 7

Nebulizadora herbicida



2.2.2 Recurso humano y económico

Como equipo de trabajo la empresa cuenta con un supervisor de operaciones, dos mecánicos y dos ayudantes los cuales están asignados a las labores de mecánico de motos, mecánico de nebulizadoras, ayudante soldador y ayudante de llantas. En cuanto al recurso

económico se cuenta con un presupuesto de 60 mil dólares con los cuales se debe cumplir los requerimientos de toda el área de operaciones, por tanto, lo destinado al mantenimiento es menor a ese monto.

2.3 Análisis de fallas

El proceso de análisis de fallas es de vital importancia ya que permite saber cuáles son las más comunes y las de mayor consecuencia para la operatividad, dada la data obtenida del año 2022 y 2023 se procederá a separarlas entre las críticas y las no críticas siendo las primeras causantes de la parada inmediata de la maquinaria en cuanto ocurre, mientras que la segunda permite que la máquina siga operando aunque sea a una menor capacidad o tras una breve reparación sin ocasionar una parada.

2.3.1 Fallas críticas

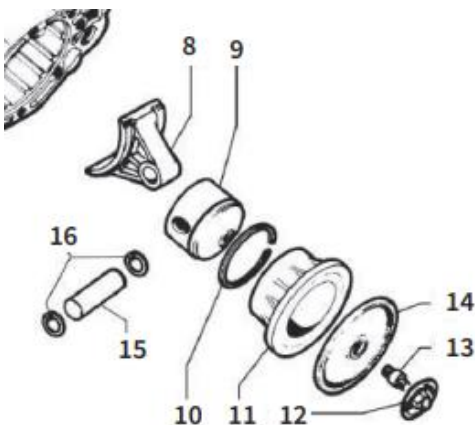
Dentro del análisis de fallas se encontró diferencias entre aquellas que significan una parada de operación de manera definitiva hasta que el área técnica brinde el soporte y otras en las que se puede continuar la operación a menor capacidad. Las fallas críticas fueron identificadas por cada sector de la máquina y serán nombradas a continuación.

A) Bomba:

- Ruptura de membrana de presión: Significa que el producto químico se está mezclando con el aceite de la bomba y eso puede producir quemaduras en la planta, dañándola irreparablemente.

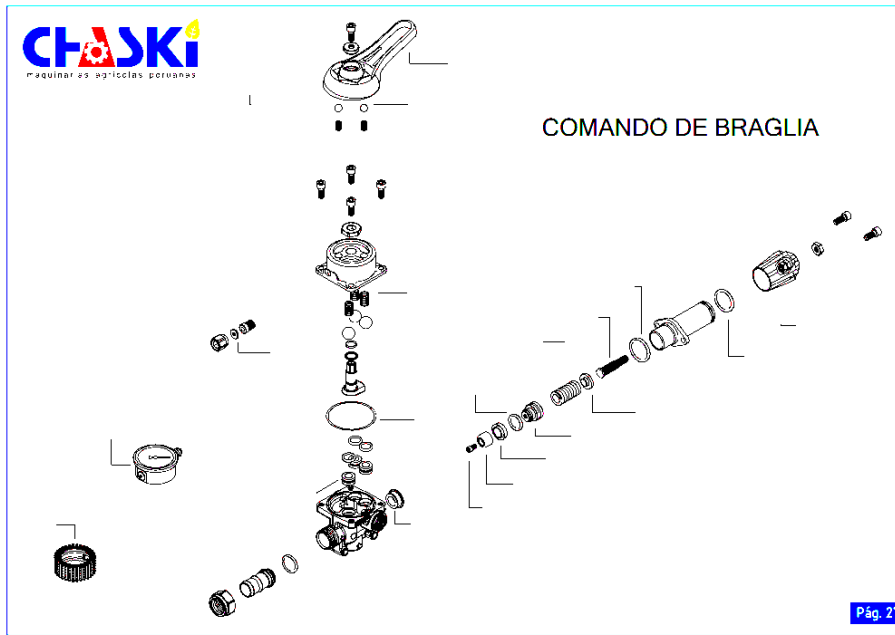
Figura 8

Detalle de posición de membrana de presión

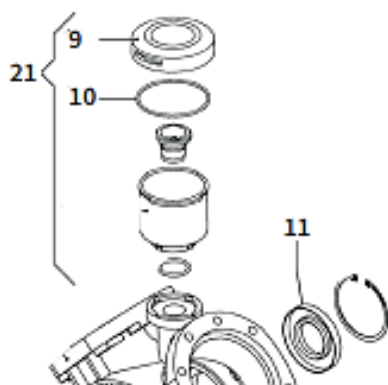


Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica

- Ruptura de membrana de comando de presión: Significa que el regulador de presión pierde la capacidad de controlar la presión a la que se expulsa el producto y por tanto la aplicación se vuelve inviable.

Figura 9*Detalle de estructura de comando de presión**Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica*

- Ruptura de compensador volumétrico: Significa que el vaso acrílico encargado de contener el aceite mientras está en funcionamiento la bomba ha sufrido daños y el lubricante se está perdiendo por lo que es peligroso operar de esa manera

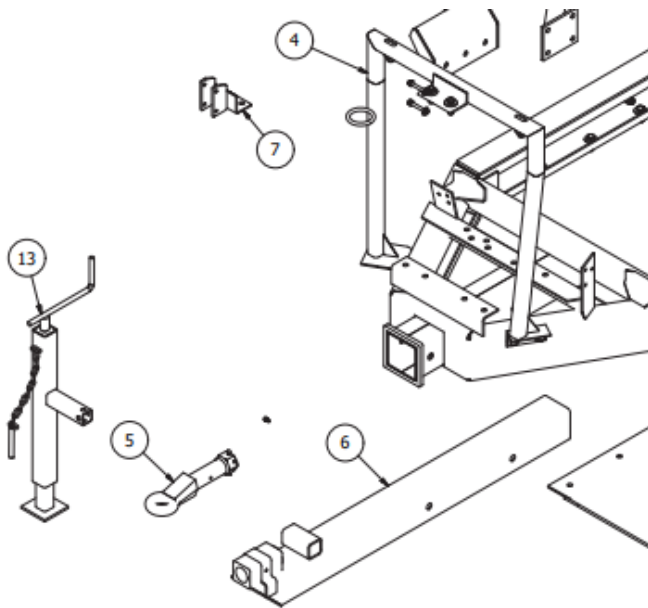
Figura 10*Detalle del compensador volumétrico**Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica*

B) Chasis

- Ruptura de tiro: Significa que el tiro de la nebulizadora ha sufrido daño y su remolque por el tractor es imposible lo que la deja inmovilizada y por ende fuera de servicio, piezas 5 y 6 del detalle.

Figura 11

Detalle del tiro



Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica

- Ruptura de soportes de bomba, caja multiplicadora o toberas: Significa que ha habido una ruptura en alguno de los soportes y por tanto la estabilidad de la nebulizadora está comprometida, se debe suspender la aplicación por seguridad ante posibles desprendimientos.
- Ruptura de rodamientos de ruedas: Significa que la rueda ha perdido alguno de los dos rodamientos y por ende no puede continuar movilizándose ya que podría generar la expulsión de la rueda.
- Rupturas estructurales: Significa que la nebulizadora presenta daños en la estructura lo que podría generar el seccionamiento de la máquina.

C) Tanque

- Ruptura de tanque: Significa que el tanque ha sufrido daños considerables y que no es capaz de retener el líquido en su interior, por lo que resulta imposible la aplicación.
- Ruptura de conexiones de salida: El tanque cuenta con conexiones de salida hacia la bomba y hacia el exterior para poder drenar los restos de productos, si alguna de estas conexiones falla el líquido no será capaz de llegar a la bomba y por ende la aplicación resultará inviable.

D) Turbina

- Ruptura de embrague de turbina: Significa que el embrague no puede cumplir más su función y no es capaz de transmitir el torque desde la caja multiplicadora hacia el propulsor.
- Ruptura de eje superior de caja multiplicadora: Significa que la caja multiplicadora ha sufrido daños en el eje transmisor y es incapaz de transmitir el torque desde la bomba hacia el propulsor.
- Ruptura de articulación cardánica entre bomba y caja multiplicadora: Significa que el cardán que conecta la bomba con la caja multiplicadora ha sufrido daños y no es capaz de transmitir el torque por lo que el sistema de aire queda sin potencia e incapaz de generar la corriente de aire para impulsar las gotas de producto.

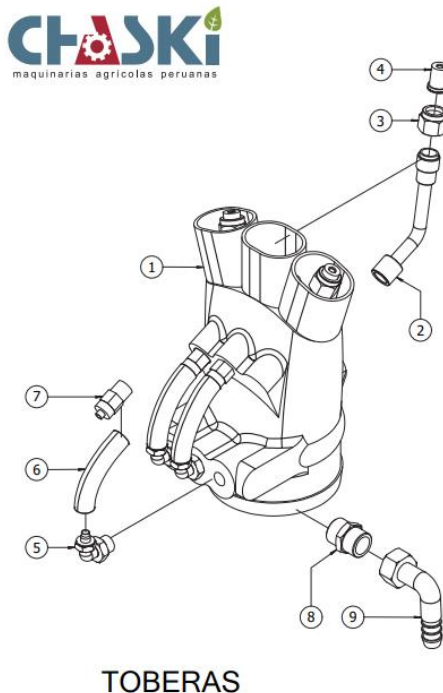
2.3.2 Fallas menores

En el caso de fallas menores son aquellas que no generan una parada en la máquina y permiten la operación. Algunas de estas son:

- Ruptura de porta boquilla: Significa que uno de los 32 porta boquillas ha sufrido daños sin embargo se puede anular y continuar aplicando con los 31 restante, en la siguiente figura se observa la estructura de las toberas.

Figura 12

Detalle de toberas

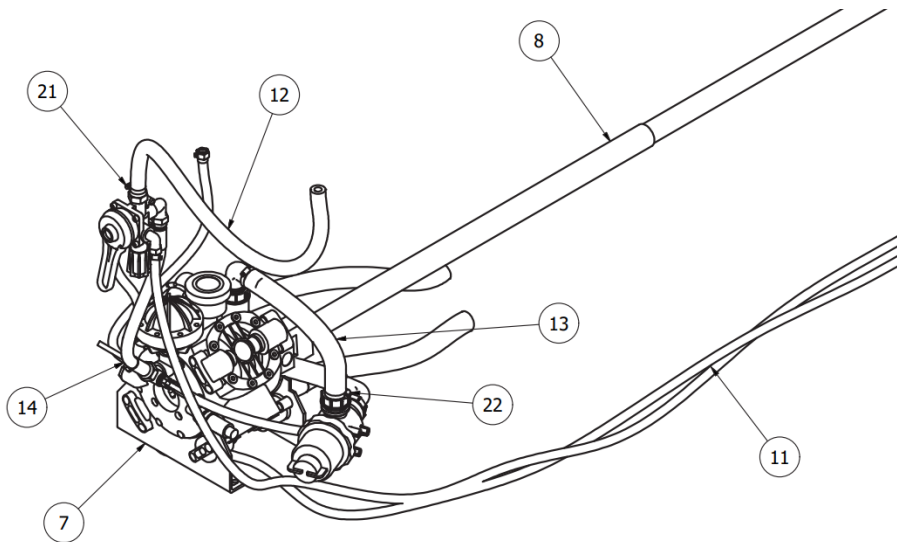


Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica

- Ruptura de manguera de succión: Significa que alguna de las mangueras de succión de la bomba presenta una perforación sin embargo tras una breve intervención con caucho es posible reparar temporalmente la sección y continuar con la aplicación.

Figura 13

Detalle de bomba



Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica

2.4 Subdivisión de maquinaria

Las nebulizadoras se pueden dividir en diferentes secciones con el fin de poder analizar a detalle las diferentes fallas que puedan presentar, los principales sistemas son el sistema de líquidos y el de aire, adicional a ello se tiene el chasis y tanque, que aunque no formen parte directa de alguno de los sistemas anteriores son muy importantes en el correcto funcionamiento.

Figura 14*Esquema de nebulizadora multifuncional*

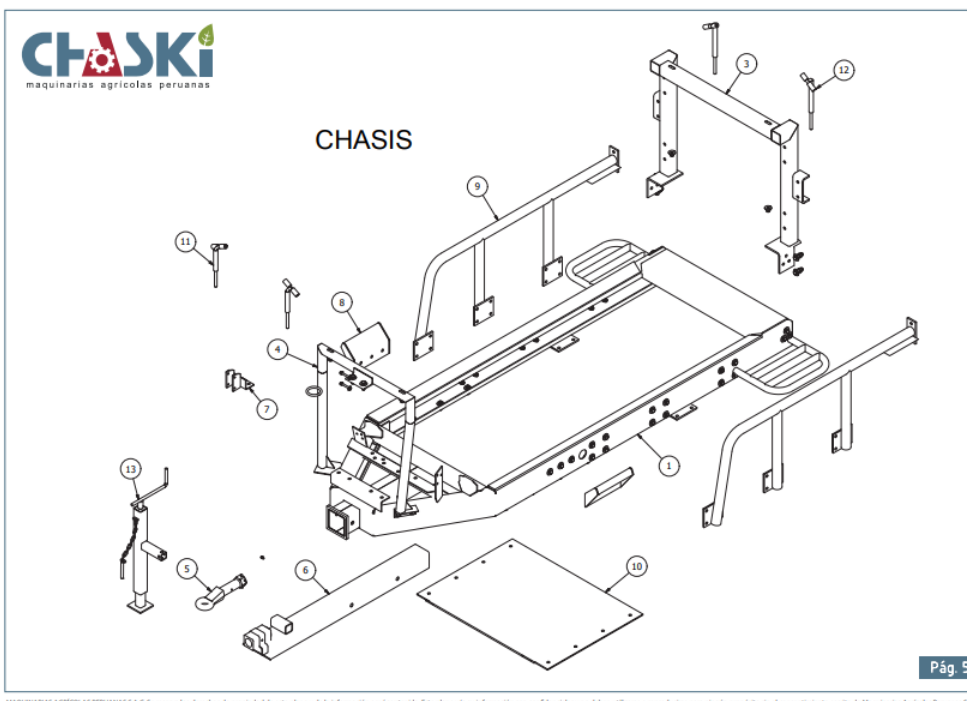
CHASKI NEB 8TB
Multifuncional Mecánica



Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica

2.4.1 Chasis

Es la sección estructural de la nebulizadora, soporta el peso del tanque de 2000 litros y es la plataforma de montaje de otras partes de la máquina como la bomba y la caja multiplicadora.

Figura 15*Chasis de nebulizadora*

MAQUINARIAS AGRÍCOLAS PERUANAS S.A.C. Se reserva los derechos de propiedad de este plano y de la información aquí contenida. Este plano y/o su información son confidenciales y no deben utilizarse o reproducirse para ningún propósito sin el consentimiento escrito de Maquinarias Agrícolas Peruanas S.A.C.

Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica

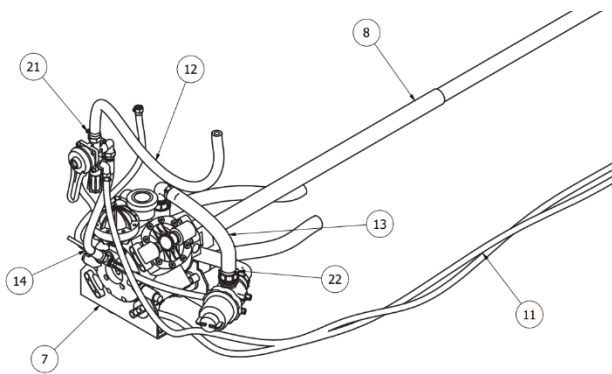
2.4.2 Sistema de líquido

El sistema de líquido está formado por elementos que tienen participación importante con el químico a aplicar, iniciando en el tanque que es donde se da la mezcla del agua con los insecticidas, fertilizantes, acaricidas entre otros. La siguiente etapa es la de filtrado con el fin de retener cualquier plástico o impureza presente en el tanque para así luego llegar a la bomba, la cual puede estar conformada por 3 o 4 pistones según el modelo de la nebulizadora y que es la que mediante la potencia recibida del tractor a través de un cardan impulsa la mezcla hasta a 50 psi de presión.

La siguiente etapa es la de control, que es en la que la mezcla pasa por un comando en el cual se regula la presión a la que se va a inyectar el líquido a las toberas, de la presión depende el caudal que salga por las boquillas de cada portaboquillas, éste caudal está especificado en tablas que el proveedor entrega en su catálogo.

Figura 16

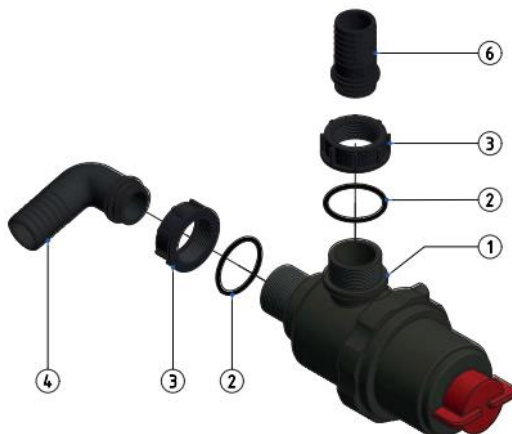
Sistema de líquido



Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica

Figura 17

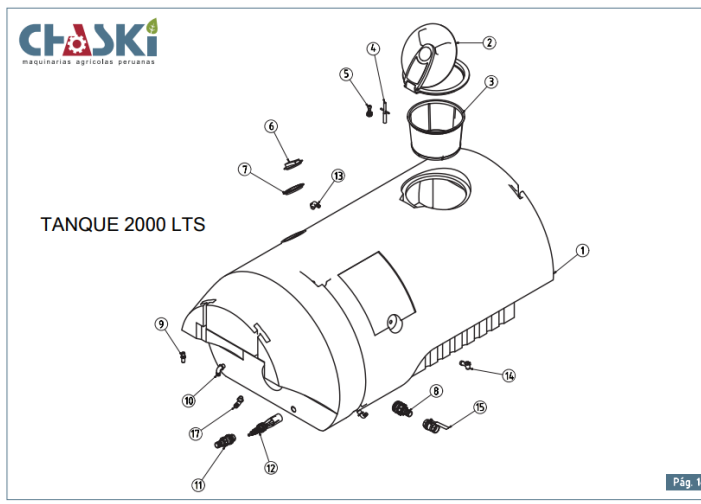
Filtro previo a la bomba



Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica

Figura 18*Comando de presión*

Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica

Figura 19*Tanque de nebulizadora*

Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica

2.4.3 Sistema de aire

Es el sistema encargado de la generación de corrientes de viento que sumadas a la presión de salida del líquido lograrán impulsar el producto a mayor distancia y con mejor cubrimiento. Está conformado por una caja multiplicadora que recibe la potencia mediante un cardán proveniente de la bomba para incrementar la velocidad angular y proveer por intermedio de un embrague el torque necesario a la turbina.

Figura 20*Sistema de aire*

Nota. Extraído de Manual de partes multifuncional mecánica

2.5 Determinación de periodicidad del mantenimiento

Según el estado analizado tras los primeros meses de intervención de la maquinaria se pudo determinar la periodicidad de los mantenimientos en base a la frecuencia en las fallas presentadas, adicional a ello se solicitó la asesoría del proveedor fabricante de las nebulizadoras con el fin de tener un manual abalado por ellos, pero sin embargo no se contaba con ello debido a la falta de demanda por parte de las empresas compradoras por ese tipo de documentación.

A pesar de ello la empresa fabricante se mostró colaborativa y envió a su encargado de la zona con el fin de asesorar el desarrollo de un plan base que busque solucionar las principales fallas que sus propios clientes reportan.

Finalmente, y con ayuda del historial consolidado se pudo identificar las fallas más recurrentes y de esa manera poder atacarlas antes que se produzcan, por todo ello se detalla a continuación las actividades desarrolladas en cada uno de esos periodos.

2.5.1 Mantenimiento diario

Este mantenimiento está dirigido a la lubricación de las partes móviles que puedan generar desgaste y en consecuencias fallas recurrentes, la revisión del nivel de aceite en bomba ya que de no ser el correcto puede ocasionar daños graves en los pistones, membranas y válvulas. Asimismo, también se realiza la limpieza del filtro de succión ya que en caso de encontrarse saturado puede llegar a obstaculizar el paso del líquido hacia la bomba. Debido a la alta carga laboral se creyó conveniente incluir las siguientes actividades.

Tabla 1*Actividades de mantenimiento diario*

ITEM	SECCIÓN	TAREA	DIARIO
1	BOMBA	VERIFICACIÓN DEL NIVEL DE ACEITE DEL VASO	X
2	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTRO DE SUCCIÓN	X
3	CHASIS	LUBRICACIÓN DE CRUCETAS	X

2.5.2 Mantenimiento Mensual

En este mantenimiento lo que se busca es prevenir el desgaste en la bomba y asegurarse que todos los demás elementos están trabajando de manera adecuada mediante inspecciones y ajustes de abrazaderas de manguera de presión, limpieza y lubricación del comando con su respectiva inspección que permita advertir sobre algún tipo de desgaste prematuro y finalmente se revisa el ajuste de ruedas debido al posible desgaste presente en bocamazas y rodamientos por lo hostil de los caminos y la falta de suspensión en la estructura, por ello se realizan las siguientes actividades.

Tabla 2*Mantenimiento mensual*

ITEM	SECCIÓN	TAREA	MENSUAL
4	TANQUE	LIMPIEZA E INSPECCIÓN DE CANASTILLA DE TANQUE	X
5	TANQUE	INSPECCIÓN DE TANQUE / PARCHAR DE SER NECESARIO	X
6	BOMBA	LIMPIEZA EXTERNA DE BOMBA	X
7	BOMBA	CAMBIO DE ACEITE DE BOMBA	X
8	BOMBA	AJUSTE DE MANGUERAS DE LIQUIDO O CAMBIO DE ABRAZADERA	X
9	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTRO DE LINEA	X
10	BOMBA	INSPECCIÓN Y LIMPIEZA DE VALVULA TRIPLE VIA	X
11	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTRO DE SUCCIÓN	X
12	BOMBA	DESARME, LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN DEL AGITADOR DE TANQUE	X
13	BOMBA	LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN DE COMANDO	X
14	TURBINA	AJUSTE DE MANGUERAS DE AIRE O CAMBIO DE ABRAZADERA	X
15	TURBINA	INSPECCIÓN DE TOBERAS	X
16	TURBINA	INSPECCIÓN DE ESTADO DE PORTABOQUILLAS / CAMBIO SI ES NECESARIO	X
17	CHASIS	AJUSTE Y LUBRICACIÓN DE RUEDAS	X
18	CHASIS	AJUSTE O CAMBIO DE PERNOS DE CASTILLO	X

2.5.3 Mantenimiento Trimestral

En este mantenimiento se busca regresar la máquina a su estado de mayor operatividad durante la campaña debido a que no se cuenta con el tiempo para realizar un mantenimiento anual, pero se necesita realizar el cambio de piezas específicas.

Se prioriza el cambio de rodamientos de turbina que son los que presentan mayor velocidad de giro y no cuentan con método alguno de lubricación, también se realiza el cambio de aceite de la caja multiplicadora ya que por su naturaleza necesita mantenerse en óptimas condiciones tribológicas y se aprovecha para revisar el eje superior que al realizar la transformación de torque a velocidad es más propenso a la deformación de sus dientes helicoidales.

Finalmente se realiza el cambio de rodamientos de las ruedas debido a que tras tres meses de ardua labor las canastillas empiezan a presentar desgaste y acompañado a la nula amortiguación del sistema todos los impactos son recibidos por esta pieza, al reemplazarlos se asegura el reinicio de la vida útil y evitar así cualquier incidente de desacoplamiento de la rueda en plena aplicación, evento que de ocurrir puede resultar catastrófico ya que significa la pérdida total de control de una máquina con una masa considerable.

Tabla 3

Mantenimiento trimestral

ITEM	SECCIÓN	TAREA	TRIMESTRAL
19	TANQUE	INSPECCIÓN Y LIMPIEZA DE LLAVE DE DESCONCHE DE TANQUE	X
20	TANQUE	CAMBIO DE MANGUERA DE NIVEL DE TANQUE	X
21	TURBINA	CAMBIO DE ACEITE DE CAJA	X
22	TURBINA	CAMBIO DE RODAMIENTOS DE HELICE	X
23	CHASIS	CAMBIO DE CRUCETAS DE CARDAN EXTERNO E INTERNO	X
24	CHASIS	CAMBIO DE RODAMIENTOS DE RUEDAS	X
25	BOMBA	INSPECCIÓN DE MANGUERAS DE PRESIÓN	X
26	BOMBA	CAMBIO DE LLAVES DE PASO DE REGLETA	X
27	CHASIS	CAMBIO DE MANGUERAS DE AIRE	X
28	CHASIS	INSPECCIÓN DE JUEGO DE HORQUILLAS EN AMBOS CARDANES	X

2.5.4 Mantenimiento Anual

En este mantenimiento el objetivo es regresar la máquina a su estado más cercano al original, tras un año de trabajo hay desgaste considerable en secciones que pueden resultar en fallas críticas como la bomba, caja y turbina.

En la bomba se utiliza el kit preventivo que es básicamente cambio de membranas, cambio de amortiguador de presión, cambio de válvulas y retenes. Por parte del comando lo

que se cambia es la membrana y sellos. En cuanto a la caja se le realiza cambio de rodamientos y retenes.

Tabla 4

Mantenimiento anual

ITEM	SECCIÓN	TAREA	ANUAL
29	TANQUE	CAMBIO DE MANGUERAS DE SUCCIÓN DE TANQUE	X
30	TURBINA	CAMBIO DE RODAMIENTOS Y RETENES DE CAJA	X
31	BOMBA	CAMBIO DE RACORES EN GENERAL	X
32	BOMBA	CAMBIO DE KIT PREVENTIVO DE BOMBA	X
33	BOMBA	CAMBIO DE PERNOS DE BASE DE BOMBA Y TRABAR	X
34	BOMBA	CAMBIO DE KIT DE COMANDO	X
35	BOMBA	CAMBIO DE MANOMETRO	X
36	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTROS DE LINEA	X
37	CHASIS	CAMBIO DE FUNDA Y CADENA DE CARDAN EXTERIOR	X
38	CHASIS	REPARACIÓN Y PINTADO DE CHASIS	X
39	CHASIS	PINTADO DE TANQUE	X
40	CHASIS	LIMPIEZA O CAMBIO DE REGLETAS	X
41	TANQUE	CAMBIO DE LLAVE DE DESCONCHE	X
42	TURBINA	CAMBIO DE EMBRAGUE DE HELICE	X
43	BOMBA	CAMBIO DE MANGUERAS DE PRESIÓN	X
44	CHASIS	CAMBIO DE NEUMATICOS	X

2.6 Valorización del plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento consta de cuatro frecuencias y cada una lleva ligadas a su recurrencia determinadas actividades, las mismas que al ser valorizadas en cuanto a repuestos y tiempos puede entregar el costo que representa para la empresa el mantenimiento de cada una de sus máquinas.

En el caso de las nebulizadoras multifuncional el costo de plan de mantenimiento se puede detallar entre repuestos y mano de obra, lo cual entrega un monto de 5046 dólares en piezas y 681 dólares en cuestión de horas hombre dedicadas, haciendo un total de 5727 dólares por cada máquina multifuncional.

Figura 21

Plan de mantenimiento preventivo máquina multifuncional

PLAN DE MANTENIMIENTO DE NEBULIZADORAS													
ITEM	SECCIÓN	TAREA	DIARIO	MENSUAL	TRIMESTRAL	ANUAL	TIEMPO	PERSONAL	HH	COSTO P	COSTO M	FRECUENCIA	TOTAL
1	BOMBA	VERIFICACIÓN DEL NIVEL DE ACEITE DEL VASO	X	X	X	X	0.02	1	0.02	0.06	0	312	18.72
2	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTRO DE SUCCIÓN	X	X	X	X	0.02	1	0.02	0.06	0	312	18.72
3	CHASIS	LUBRICACIÓN DE CRUCETAS	X	X	X	X	0.02	1	0.02	0.06	0.55	312	190.32
4	TANQUE	LIMPIEZA E INSPECCIÓN DE CANASTILLA DE TANQUE		X	X	X	0.16	1	0.16	0.48	0	12	5.76
5	TANQUE	INSPECCIÓN DE TANQUE / PARCHAR DE SER NECESARIO		X	X	X	0.3	1	0.3	0.90	0	12	10.8
6	BOMBA	LIMPIEZA EXTERNA DE BOMBA		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	12	18
7	BOMBA	CAMBIO DE ACEITE DE BOMBA		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	10.63	12	145.5
8	BOMBA	AJUSTE DE MANGUERAS DE LIQUIDO O CAMBIO DE ABRAZADERA		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	1.2	12	32.4
9	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTRO DE LINEA		X	X	X	0.5	2	1	3.00	0	12	36
10	BOMBA	INSPECCIÓN Y LIMPIEZA DE VALVULA TRIPLE VIA		X	X	X	0.75	1	0.75	2.25	0	12	27
11	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTRO DE SUCCIÓN		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	12	18
12	BOMBA	DESARME, LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN DEL AGITADOR DE TANQUE		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	12	18
13	BOMBA	LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN DE COMANDO		X	X	X	1	1	1	3.00	0	12	36
14	TURBINA	AJUSTE DE MANGUERAS DE AIRE O CAMBIO DE ABRAZADERA		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	4.4	12	70.8
15	TURBINA	INSPECCIÓN DE TOBERAS		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	12	18
16	TURBINA	INSPECCIÓN DE ESTADO DE PORTABOQUILLAS / CAMBIO SI ES NECESARIO		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	81.08	12	990.96
17	CHASIS	AJUSTE Y LUBRICACIÓN DE RUEDAS		X	X	X	1	1	1	3.00	5.5	12	102
18	CHASIS	AJUSTE O CAMBIO DE PERNOS DE CASTILLO		X	X	X	1	1	1	3.00	1.5	12	54
19	TANQUE	DESARME, INSPECCIÓN Y LIMPIEZA DE LLAVE DE DESCONCHE DE TANQUE			X	X	1	1	1	3.00	0	4	12
20	TANQUE	CAMBIO DE MANGUERA DE NIVEL DE TANQUE			X	X	1	0.5	0.5	1.50	4.9	4	25.6
21	TURBINA	CAMBIO DE ACEITE DE CAJA			X	X	1	0.5	0.5	1.50	13.2	4	58.8
22	TURBINA	CAMBIO DE RODAMIENTOS DE HELICE			X	X	2	1	2	6.00	19.8	4	103.2
23	CHASIS	CAMBIO DE CRUCETAS DE CARDAN EXTERNO E INTERNO			X	X	1.5	2	3	9.00	101.6	4	442.4
24	CHASIS	CAMBIO DE RODAMIENTOS DE RUEDAS			X	X	1	2	2	6.00	34.3	4	161.2
25	BOMBA	INSPECCIÓN DE MANGUERAS DE PRESIÓN			X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	4	6
26	BOMBA	CAMBIO DE LLAVES DE PASO DE REGLETA			X	X	1	2	2	6.00	59.76	4	263.04
27	CHASIS	CAMBIO DE MANGUERAS DE AIRE			X	X	1	1	1	3.00	96	4	396
28	CHASIS	INSPECCIÓN DE JUEGO DE HORQUILLAS EN AMBOS CARDANES			X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	4	6
29	TANQUE	CAMBIO DE MANGUERAS DE SUCCIÓN DE TANQUE				X	2	1	2	6.00	19.11	1	25.11
30	TURBINA	CAMBIO DE RODAMIENTOS Y RETENES DE CAJA				X	3	1	3	9.00	73.74	1	82.74
31	BOMBA	CAMBIO DE RACORES EN GENERAL				X	2	1	2	6.00	8.94	1	14.94
32	BOMBA	CAMBIO DE KIT PREVENTIVO DE BOMBA				X	4	1	4	12.00	255	1	267
33	BOMBA	CAMBIO DE PERNOS DE BASE DE BOMBA Y TRABAR				X	0.5	1	0.5	1.50	1.2	1	2.7
34	BOMBA	CAMBIO DE KIT DE COMANDO				X	1	1	1	3.00	90	1	93
35	BOMBA	CAMBIO DE MANOMETRO				X	0.25	1	0.25	0.75	30.45	1	31.2
36	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTROS DE LINEA				X	1	1	1	3.00	0	1	3
37	CHASIS	CAMBIO DE FUNDA Y CADENA DE CARDAN EXTERIOR				X	0.5	1	0.5	1.50	75	1	76.5
38	CHASIS	REPARACIÓN Y PINTADO DE CHASIS				X	6	1	6	18.00	0	1	18
39	CHASIS	PINTADO DE TANQUE				X	6	1	6	18.00	0	1	18
40	CHASIS	LIMPIEZA O CAMBIO DE REGLETAS				X	1	2	2	6.00	158	1	164
41	TANQUE	CAMBIO DE LLAVE DE DESCONCHE				X	0.5	1	0.5	1.50	50.78	1	52.28
42	TURBINA	CAMBIO DE EMBRAGUE DE HELICE				X	1	1	1	3.00	319	1	322
43	BOMBA	CAMBIO DE MANGUERAS DE PRESIÓN				X	1	1	1	3.00	188.2	1	191.2
44	CHASIS	CAMBIO DE PNEUMATICOS				X	2	1	2	6.00	258	1	264

En el caso de las nebulizadoras turbo el costo se ve visiblemente reducido debido a la ausencia de la turbina y toberas, así como los conductos para el direccionamiento. A continuación, se muestra el plan de mantenimiento para las nebulizadoras de tipo turbo. El monto de mantenimiento es de 2904 dólares en canto a repuestos y a 609 dólares en mano de obra haciendo un total de 3513 dólares.

Figura 22

Plan de mantenimiento preventivo de máquina turbo

PLAN DE MANTENIMIENTO DE NEBULIZADORAS													
ITEM	SECCIÓN	TAREA	DIARIO	MENSUAL	TRIMESTRAL	ANUAL	TIEMPO	PERSONAL	HH	COSTO P	COSTO M	FRECUENCIA	TOTAL
1	BOMBA	VERIFICACIÓN DEL NIVEL DE ACEITE DEL VASO	X	X	X	X	0.02	1	0.02	0.06	0	312	18.72
2	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTRO DE SUCCIÓN	X	X	X	X	0.02	1	0.02	0.06	0	312	18.72
3	CHASIS	LUBRICACIÓN DE CRUCETAS	X	X	X	X	0.02	1	0.02	0.06	0.55	312	190.32
4	TANQUE	LIMPIEZA E INSPECCIÓN DE CANASTILLA DE TANQUE		X	X	X	0.16	1	0.16	0.48	0	12	5.76
5	TANQUE	INSPECCIÓN DE TANQUE / PARCHAR DE SER NECESARIO		X	X	X	0.3	1	0.3	0.90	0	12	10.8
6	BOMBA	LIMPIEZA EXTERNA DE BOMBA		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	12	18
7	BOMBA	CAMBIO DE ACEITE DE BOMBA		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	10.63	12	145.5
8	BOMBA	AJUSTE DE MANGUERAS DE LÍQUIDO O CAMBIO DE ABRAZADERA		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	1.2	12	32.4
9	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTRO DE LÍNEA		X	X	X	0.5	2	1	3.00	0	12	36
10	BOMBA	INSPECCIÓN Y LIMPIEZA DE VALVULA TRIPLE VIA		X	X	X	0.75	1	0.75	2.25	0	12	27
11	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTRO DE SUCCIÓN		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	12	18
12	BOMBA	DESARME, LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN DEL AGITADOR DE TANQUE		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	12	18
13	BOMBA	LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN DE COMANDO		X	X	X	1	1	1	3.00	0	12	36
14	TURBINA	INSPECCIÓN DE ABRAZADERAS NIQUELADAS		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	12	18
15	TURBINA	INSPECCIÓN DE ESTADO DE RAMALES / CAMBIO SI ES NECESARIO		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	46.64	12	577.68
16	CHASIS	AJUSTE Y LUBRICACIÓN DE RUEDAS		X	X	X	1	1	1	3.00	5.5	12	102
17	CHASIS	AJUSTE O CAMBIO DE PERNOS DE CASTILLO		X	X	X	1	1	1	3.00	1.5	12	54
18	TANQUE	DESARME, INSPECCIÓN Y LIMPIEZA DE LLAVE DE DESCONCHE DE TANQUE		X	X	X	1	1	1	3.00	0	4	12
19	TANQUE	CAMBIO DE MANGUERA DE NIVEL DE TANQUE		X	X	X	1	0.5	0.5	1.50	4.9	4	25.6
20	TURBINA	CAMBIO DE ACEITE DE CAJA		X	X	X	1	0.5	0.5	1.50	13.2	4	58.8
21	TURBINA	CAMBIO DE RODAMIENTOS DE HELICE		X	X	X	2	1	2	6.00	25.2	4	124.8
22	CHASIS	CAMBIO DE CRUCETAS DE CARDAN EXTERNO E INTERNO		X	X	X	1.5	2	3	9.00	101.6	4	442.4
23	CHASIS	CAMBIO DE RODAMIENTOS DE RUEDAS		X	X	X	1	2	2	6.00	34.3	4	161.2
24	BOMBA	INSPECCIÓN DE MANGUERAS DE PRESIÓN		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	4	6
25	CHASIS	INSPECCIÓN DE JUEGO DE HORQUILLAS EN AMBOS CARDANES		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	4	6
26	TANQUE	CAMBIO DE MANGUERAS DE SUCCIÓN DE TANQUE		X	X	X	2	1	2	6.00	19.11	1	25.11
27	TURBINA	CAMBIO DE RODAMIENTOS Y RETENES DE CAJA		X	X	X	3	1	3	9.00	73.74	1	82.74
28	BOMBA	CAMBIO DE RACORES EN GENERAL		X	X	X	2	1	2	6.00	8.94	1	14.94
29	BOMBA	CAMBIO DE KIT PREVENTIVO DE BOMBA		X	X	X	4	1	4	12.00	255	1	267
30	BOMBA	CAMBIO DE PERNOS DE BASE DE BOMBA Y TRABAR		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	1.2	1	2.7
31	BOMBA	CAMBIO DE KIT DE COMANDO		X	X	X	1	1	1	3.00	90	1	93
32	BOMBA	CAMBIO DE MANOMETRO		X	X	X	0.25	1	0.25	0.75	30.45	1	31.2
33	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTROS DE LÍNEA		X	X	X	1	1	1	3.00	0	1	3
34	CHASIS	CAMBIO DE FUNDA Y CADENA DE CARDAN EXTERIOR		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	75	1	76.5
35	CHASIS	REPARACIÓN Y PINTADO DE CHASIS		X	X	X	6	1	6	18.00	0	1	18
36	CHASIS	PINTADO DE TANQUE		X	X	X	6	1	6	18.00	0	1	18
37	TANQUE	CAMBIO DE LLAVE DE DESCONCHE		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	50.78	1	52.28
38	BOMBA	CAMBIO DE MANGUERAS DE PRESIÓN		X	X	X	1	1	1	3.00	188.2	1	191.2
39	CHASIS	CAMBIO DE NEUMÁTICOS		X	X	X	2	1	2	6.00	258	1	264

Finalmente se detalla el plan de mantenimiento preventivo de la nebulizadora herbicida la cual presenta un menor número de actividades y por ende un menor costo, con un monto en repuestos de 2640 dólares y de 562 dólares en mano de obra, ascendiendo el total a 3203 dólares al año por máquina.

Figura 23

Plan de mantenimiento de máquina herbicida

PLAN DE MANTENIMIENTO DE NEBULIZADORAS													
ITEM	SECCIÓN	TAREA	DIARIO	MENSUAL	TRIMESTRAL	ANUAL	TIEMPO	PERSONAL	HH	COSTO P	COSTO M	FRECUENCIA	TOTAL
1	BOMBA	VERIFICACIÓN DEL NIVEL DE ACEITE DEL VASO	X	X	X	X	0.02	1	0.02	0.06	0	312	18.72
2	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTRO DE SUCCIÓN	X	X	X	X	0.02	1	0.02	0.06	0	312	18.72
3	CHASIS	LUBRICACIÓN DE CRUCETAS	X	X	X	X	0.02	1	0.02	0.06	0.55	312	190.32
4	TANQUE	LIMPIEZA E INSPECCIÓN DE CANASTILLA DE TANQUE		X	X	X	0.16	1	0.16	0.48	0	12	5.76
5	TANQUE	INSPECCIÓN DE TANQUE / PARCHAR DE SER NECESARIO		X	X	X	0.3	1	0.3	0.90	0	12	10.8
6	BOMBA	LIMPIEZA EXTERNA DE BOMBA		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	12	18
7	BOMBA	CAMBIO DE ACEITE DE BOMBA		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	10.63	12	145.5
8	BOMBA	AJUSTE DE MANGUERAS DE LÍQUIDO O CAMBIO DE ABRAZADERA		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	1.2	12	32.4
9	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTRO DE LÍNEA		X	X	X	0.5	2	1	3.00	0	12	36
10	BOMBA	INSPECCIÓN Y LIMPIEZA DE VALVULA TRIPLE VIA		X	X	X	0.75	1	0.75	2.25	0	12	27
11	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTRO DE SUCCIÓN		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	12	18
12	BOMBA	DESARME, LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN DEL AGITADOR DE TANQUE		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	12	18
13	BOMBA	LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN DE COMANDO		X	X	X	1	1	1	3.00	0	12	36
14	TURBINA	INSPECCIÓN DE ABRAZADERAS NIQUELADAS		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	12	18
15	TURBINA	INSPECCIÓN DE ESTADO DE RAMALES / CAMBIO SI ES NECESARIO		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	46.64	12	577.68
16	CHASIS	AJUSTE Y LUBRICACIÓN DE RUEDAS		X	X	X	1	1	1	3.00	5.5	12	102
17	CHASIS	AJUSTE O CAMBIO DE PERNOS DE CASTILLO		X	X	X	1	1	1	3.00	1.5	12	54
18	TANQUE	DESARME, INSPECCIÓN Y LIMPIEZA DE LLAVE DE DESCONCHE DE TANQUE		X	X	X	1	1	1	3.00	0	4	12
19	TANQUE	CAMBIO DE MANGUERA DE NIVEL DE TANQUE		X	X	X	1	0.5	0.5	1.50	4.9	4	25.6
20	CHASIS	CAMBIO DE CRUCETAS DE CARDAN EXTERNO		X	X	X	1.5	2	3	9.00	101.6	4	442.4
21	CHASIS	CAMBIO DE RODAMIENTOS DE RUEDAS		X	X	X	1	2	2	6.00	34.3	4	161.2
22	BOMBA	INSPECCIÓN DE MANGUERAS DE PRESIÓN		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	4	6
23	CHASIS	INSPECCIÓN DE JUEGO DE HORQUILLAS DE CARDAN EXTERNO		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	0	4	6
24	TANQUE	CAMBIO DE MANGUERAS DE SUCCIÓN DE TANQUE		X	X	X	2	1	2	6.00	19.11	1	25.11
25	BOMBA	CAMBIO DE RACORES EN GENERAL		X	X	X	2	1	2	6.00	8.94	1	14.94
26	BOMBA	CAMBIO DE KIT PREVENTIVO DE BOMBA		X	X	X	4	1	4	12.00	255	1	267
27	BOMBA	CAMBIO DE PERNOS DE BASE DE BOMBA Y TRABAR		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	1.2	1	2.7
28	BOMBA	CAMBIO DE KIT DE COMANDO		X	X	X	1	1	1	3.00	90	1	93
29	BOMBA	CAMBIO DE MANOMETRO		X	X	X	0.25	1	0.25	0.75	30.45	1	31.2
30	BOMBA	LIMPIEZA DE FILTROS DE LÍNEA		X	X	X	1	1	1	3.00	0	1	3
31	CHASIS	CAMBIO DE FUNDA Y CADENA DE CARDAN EXTERIOR		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	75	1	76.5
32	CHASIS	REPARACIÓN Y PINTADO DE CHASIS		X	X	X	6	1	6	18.00	0	1	18
33	CHASIS	PINTADO DE TANQUE		X	X	X	6	1	6	18.00	0	1	18
34	TANQUE	CAMBIO DE LLAVE DE DESCONCHE		X	X	X	0.5	1	0.5	1.50	50.78	1	52.28
35	BOMBA	CAMBIO DE MANGUERAS DE PRESIÓN		X	X	X	1	1	1	3.00	188.2	1	191.2
36	CHASIS	CAMBIO DE NEUMÁTICOS		X	X	X	2	1	2	6.00	258	1	264

2.7 Presupuesto del mantenimiento preventivo y costos

Según la cantidad de máquinas en la flota se puede realizar el cálculo de la inversión necesaria para poder implementar el plan de mantenimiento preventivo a la totalidad de las unidades, este resumen se muestra a continuación.

Figura 24

Costos de mantenimiento por familia de máquina

FAMILIA	UNIDADES	INV. MAT. TOT	INV. PER. TOT	INV. TOTAL
MULTIPROPOSITO	12	\$ 60,548	\$ 8,172	\$ 68,720
TURBO	4	\$ 11,614	\$ 2,436	\$ 14,050
HERBICIDA	2	\$ 5,280	\$ 1,125	\$ 6,405

Teniendo el monto anual por familia de máquina se puede realizar la suma, la cual asciende a 89175 dólares americanos por el tiempo total de un año, teniendo en cuenta una desviación del 10% para trabajos correctivos menores se puede pactar el presupuesto de mantenimiento preventivo en la suma total de 98093 dólares.

2.8 Análisis de indicadores post-implementation

Tras la implementación del plan de mantenimiento se empezó a llevar un registro de actividades que permiten analizar el trabajo diario realizado, en este reporte se indica las actividades, repuestos, responsable y tiempo de cada intervención, con ello se puede alimentar el histórico de cada máquina llevando a cabo así el levantamiento de data en campo que permita analizar los indicadores de cada unidad.

Figura 25

Extracto de archivo de reporte diario

FECHA	TIPO	ID	MTH	DESCRIPCIÓN	RETRABAJADO	TÉCNICO	SERVICIO	TIEMPO (H)	REPUESTO	OBSERVACIÓN
6-Nov	NB	78	COR	NEUMÁTICOS CON AJUSTE. POSIBLE PROBLEMA DE RODAJES	SI	LEO	CAMBIO DE AMBOS RODAJES EN AMBOS LADOS	2	2 RODAJES 30209 Y 2 RODAJES 30206	REQUIERE CAMBIO DE BOCAMAZAS
6-Nov	NB	74	COR	RODAJES CON SONIDO EXTRAÑO	SI	LEO	CAMBIO DE AMBOS RODAJES EN AMBOS LADOS	2	2 RODAJES 30209 Y 2 RODAJES 30206	REQUIERE CAMBIO DE BOCAMAZAS
6-Nov	NB	63	COR	CRUCETA DE CARDAN CENTRAL EN MAL ESTADO	NO	LEO	CAMBIO DE AMBAS CRUCETAS DE CARDAN CENTRAL Y JUGO LADO BOMBA	3	2 CRUCETA 302 X 80 Y 1 JUGO	-
6-Nov	NB	63	COR	ABRAZADERA SUPERIOR DE ARCO DERECHO EN MAL ESTADO	NO	LEO	CAMBIO DE ABRAZADERA SUPERIOR DE ARCO DERECHO	0.5	1 ABRAZADERA NIQUELADA 1/4	-
6-Nov	TR	180	COR	NEUMÁTICO DELANTERO DERECHO PINCHADO	NO	CASTILLO	PARCHADO DE NEUMÁTICO	2	-	-
6-Nov	TR	218	COR	NEUMÁTICO TRASERO DERECHO PINCHADO	NO	CASTILLO	PARCHADO DE NEUMÁTICO	2	-	-
6-Nov	TR	116	COR	NEUMÁTICO DELANTERO DERECHO PINCHADO	NO	CASTILLO	PARCHADO DE NEUMÁTICO	2	-	-
6-Nov	TR	183	COR	TDF NO DESACTIVA	NO	DUJAO	CALIBRACIÓN DE BOMBIN DE TDF	1	-	-
6-Nov	TR	183	COR	EMBRAGUE DURO	NO	DUJAO	CAMBIO DE CABLE DE EMBRAGUE	1	-	-
6-Nov	NB	80	COR	DIAL DE TIRO DESGASTADO	NO	JOSE	CAMBIO DE TIRO COMPLETO	4	-	-
6-Nov	CM	24	COR	ALTERNADOR CON FALLA A TIERRA	NO	ROGER	REBOBINADO DE ALTERNADOR Y AISLAMIENTO	8	SERVICIO DE REBOBINADO DE ALTERNADOR	REQUIERE COMPRA DE VENTILADOR
6-Nov	NB	64	COR	NEUMÁTICO DERECHO PINCHADO	NO	CASTILLO	PARCHADO DE NEUMÁTICO	1	-	-
6-Nov	CT	3	COR	LLANTA DERECHA PINCHADA	NO	CASTILLO	PARCHADO DE NEUMÁTICO	1	-	-
6-Nov	NB	74	PRO	FABRICACIÓN DE SOPORTE DE TANQUE	NO	JOSE	FABRICACIÓN DE SOPORTE DE TANQUE	4	-	REQUIERE CAMBIO DE SOPORTE DE TANQUE
7-Nov	NB	50	COR	PROTABOQUILLA QUEBRADA	NO	LEO	CAMBIO DE PORTABOQUILLA	0.5	TUBO PORTABOQUILLA	-
7-Nov	NB	50	COR	RODAJES CON SONIDO EXTRAÑO	NO	LEO	AJUSTE DE RODAJES	0.5	-	SE RECOMIENDA CAMBIAR TUBERIA TEFLONADA POR CASTILLO
7-Nov	NB	70	COR	ABRAZADERAS DE BARRA DE CASTILLO LADO IZQ FLOJO	NO	LEO	AJUSTE DE ABRAZADERAS	-	-	-
7-Nov	NB	70	COR	AJUSTAR TOBERA DE 5 SALIDAS LADO DERECHO	NO	LEO	AJUSTE DE TOBERAS	-	-	-

Con la información del archivo que se muestra en la imagen anterior se procede a llenar el historial de intervenciones de las máquinas donde se separa entre las correctivas de las preventivas y se plasma también las observaciones que son encontradas para poder programar su saneamiento en el próximo preventivo y así evitar tener paradas no programadas con una consecuencia de baja de disponibilidad. En este archivo también se hace

el cálculo de los indicadores de cada máquina para poder resumirlos en un cuadro general y poder tener tanto los indicadores específicos como los generales del área.

Figura 26

Extracto de registro histórico por máquina

NBSO	
DÍAS	1
PROX. MITO	MENSUAL
PROXIMO MITO	7-Nov
HOY	19-Nov
DÍAS RESTANTES	-12

HORAS DE LABOR	352
TIEMPO DE REPARACIÓN	1
INCIDENCIAS	2
MTBF	176
MTTR	0.5
DISPONIBILIDAD	99.7%

TIPO	FECHA	DESCRIPCIÓN	TIEMPO (H)
CORRECTIVO	14/07/2023	SE LE SOLDÓ SEGURO DELANTERO DE CARDAN CENTRAL	1
CORRECTIVO	2/08/2023	SE AJUSTO PERNOS DE LA BOMBA	1
CORRECTIVO	24/08/2023	SE PARCHÓ CARACOL	4
CORRECTIVO	24/08/2023	SE CAMBIÓ RODAMIENTOS DE TURBINA	4
CORRECTIVO	7/10/2023	CAMBIO DE PORTABOQUILLA	0.5
CORRECTIVO	7/10/2023	SE AJUSTO RODAMIENTOS	0.5

NÚM	OBSERVACIÓN
1	SE RECOMIENDA CAMBIAR TUERCA TEFLONADA POR CASTILLO
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

FECHA	DESCRIPCIÓN
15-Jul	MANTENIMIENTO PREVENTIVO MENSUAL
25-Ago	MANTENIMIENTO PREVENTIVO TRIMESTRAL
20-Set	MANTENIMIENTO PREVENTIVO MENSUAL
21-Oct	MANTENIMIENTO PREVENTIVO MENSUAL

Una vez obtenidos los indicadores de toda la flota se procede a resumirlos en el cuadro general de gestión de mantenimiento, el cual se presenta a continuación.

Figura 27

Extracto de indicadores de mantenimiento

ID	JULIO			AGOSTO			SETIEMBRE			OCTUBRE		
	MTTR	MTBF	DIS	MTTR	MTBF	DIS	MTTR	MTBF	DIS	MTTR	MTBF	DIS
NB160	5.63	67.23	92.3%	5.34	70.59	93.0%	4.81	77.65	94.2%	4.33	85.42	95.2%
NB80	4.95	64.43	92.9%	4.70	67.65	93.5%	4.23	74.42	94.6%	3.81	81.86	95.6%
NB79	4.73	70.97	93.8%	4.49	74.51	94.3%	4.04	81.96	95.3%	3.64	90.16	96.1%
NB78	5.40	82.17	93.8%	5.13	86.28	94.4%	4.62	94.91	95.4%	4.16	104.40	96.2%
NB77	5.18	85.91	94.3%	4.92	90.20	94.8%	4.42	99.22	95.7%	3.98	109.14	96.5%
NB76	4.95	60.23	92.4%	4.70	63.24	93.1%	4.23	69.56	94.3%	3.81	76.52	95.3%
NB74	5.63	73.30	92.9%	5.34	76.96	93.5%	4.81	84.66	94.6%	4.33	93.13	95.6%
NB73	4.73	62.56	93.0%	4.49	65.69	93.6%	4.04	72.26	94.7%	3.64	79.48	95.6%
NB72	6.08	75.63	92.6%	5.77	79.42	93.2%	5.19	87.36	94.4%	4.67	96.09	95.4%
NB71	5.40	50.89	90.4%	5.13	53.43	91.2%	4.62	58.78	92.7%	4.16	64.65	94.0%
NB70	5.18	71.43	93.2%	4.92	75.00	93.8%	4.42	82.50	94.9%	3.98	90.75	95.8%
NB66	5.85	73.30	92.6%	5.56	76.96	93.3%	5.00	84.66	94.4%	4.50	93.13	95.4%
NB65	4.95	67.70	93.2%	4.70	71.08	93.8%	4.23	78.19	94.9%	3.81	86.01	95.8%
NB64	5.63	72.83	92.8%	5.34	76.47	93.5%	4.81	84.12	94.6%	4.33	92.53	95.5%
NB63	4.50	81.70	94.8%	4.28	85.79	95.3%	3.85	94.37	96.1%	3.46	103.80	96.8%
NB62	4.95	64.88	92.9%	4.70	68.12	93.5%	4.23	74.93	94.7%	3.81	82.42	95.6%
NB50	5.40	67.23	92.6%	5.13	70.59	93.2%	4.62	77.65	94.4%	4.16	85.42	95.4%
NB33	4.50	71.90	94.1%	4.28	75.49	94.6%	3.85	83.04	95.6%	3.46	91.35	96.3%
PA09	4.95	57.43	92.1%	4.70	60.30	92.8%	4.23	66.33	94.0%	3.81	72.96	95.0%
			93.0%			93.6%			94.7%			95.6%

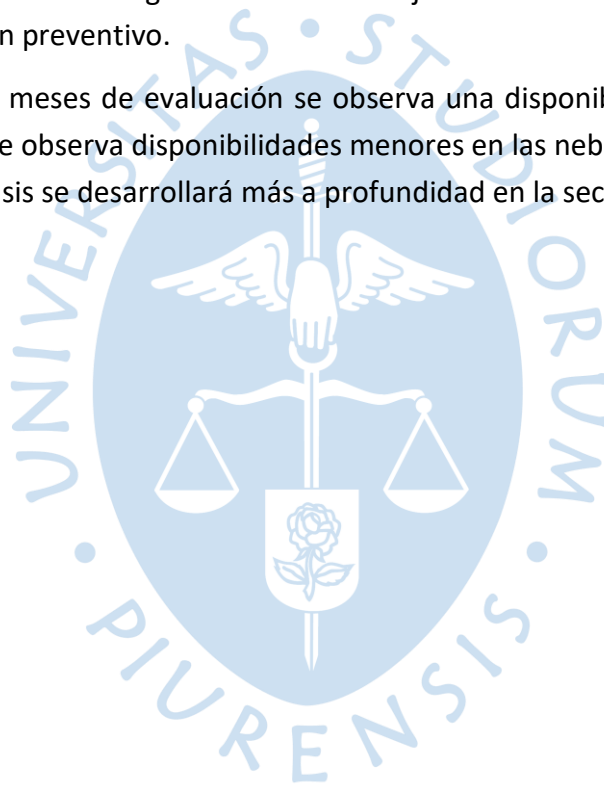
Como se puede observar en la tercera columna de cada mes, desde julio se logra ver un incremento de la disponibilidad en la flota, el incremento de aproximadamente 10% con respecto al año pasado se justifica mediante las acciones correctivas de emergencia aplicadas al momento de recibir la responsabilidad del área.

Algunas de estas medidas correctivas son:

- Cambio de bocamazas con el fin de solucionar de manera definitiva el problema con el ajuste de rodamientos.
- Renovación de neumáticos con el fin de terminar con las pinchaduras por mal estado de los mismos
- Cambio de articulaciones cardánicas con el fin de solucionar el problema de cardanes atorados en las tomas de fuerza.
- Cambio de comando control de presión con el fin de terminar con problemas de falta oscilaciones en la pulverización o incapacidad para llegar a la presión requerida para un entregar un determinado caudal.

Estas acciones tuvieron lugar desde febrero a junio de 2023 en el cual ya se pensaba en implementar el plan preventivo.

Tras de cuatro meses de evaluación se observa una disponibilidad mayor al 95% en promedio, asimismo se observa disponibilidades menores en las nebulizadoras más antiguas, sin embargo, ese análisis se desarrollará más a profundidad en la sección de conclusiones.



Conclusiones

Se implemento con éxito un plan de mantenimiento en la flota de nebulizadoras de una empresa agrícola dedicada a la exportación de uva logrando mejoras significativas a nivel operacional así como económico.

Se logró el incremento de la disponibilidad de la flota de nebulizadoras desde un 83% inicial a un 95% en promedio general, teniendo así un 12% de mejora en un lapso de 9 meses.

Se ha sincerado las cifras sobre el presupuesto de mantenimiento, en un inicio se venía trabajando de manera empírica simplemente replicando lo gastado el año anterior, ahora tras la implementación se ha logrado asignar un costo específico sobre cada repuesto necesario por actividad así como el costo de mano de obra por el tiempo necesario en cada intervención. El monto de los años anteriores era de 48 mil dólares al año mientras que ahora se sinceró a 98 mil dólares, lo que deja en evidencia una clara sub inversión en materia de mantenimiento.

La misma metodología empleada en esta implementación se puede aplicar en una mejora del mantenimiento de motos y cuatrimotos los cuales son el segundo sector mas grande dentro de toda la maquinaria presente en la empresa.

Se recomienda el cambio en la estructura del organigrama con el objetivo de organizar de mejor manera al equipo de trabajo, empezando por crear el puesto de jefe de mantenimiento, siguiendo con la creación del puesto de planificador de mantenimiento y reasignando las labores netamente operacionales como la programación de personal para picado de sarmiento, aplicación, cosecha, entre otros a las respectivas áreas solicitantes, de tal manera que el equipo de mantenimiento se dedique netamente a brindar el soporte técnico y asegurar el buen funcionamiento de la flota.

Referencias

- Chang, E. (2006). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento preventivo para una pequeña empresa del rubro de minería para reducción de costos del servicio de alquiler [Tesis de título profesional]. UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS.
- Dávila, M., García, V., & Valera, C. (2012). Estrategias para el mejoramiento de la planificación del mantenimiento de las plantas petroquímicas en el estado de Zulia. Maracaibo: Universidad Rafael Bellosó.
- García Monsalve, G., González S, H., & Cortés M, E. (2009). Metodología de mantenimiento con posible aplicación en el sector agroindustrial. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 4(2), 137-150.
- ISO. (2007). ISO 24510:2007 Activities relating to drinking water and wastewater services — Guidelines for the assessment and for the improvement of the service to users. <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:24510:ed-1:v1:en>
- Olarte c., w., botero a., m., & cañón a., b. (2010). importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. scientia et technica, xvi (44), 354-356.
- Valencia, I. (2020). Conceptos básicos del mantenimiento. En Marco teórico de la ingeniería del mantenimiento. Universidad Autónoma San Francisco.