



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“Implementación de plan de mantenimiento predictivo mediante
análisis de aceite mejorando la disponibilidad de cargador frontal
Cat 962H en la empresa agroindustrial Agrolmos S.A.”**

Autor:

Bach. Javier Giampierre Garnique Llontop

Asesor:

Ing. Robinson Tapia Asenjo

Lambayeque - Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Implementación de plan de mantenimiento predictivo mediante
análisis de aceite mejorando la disponibilidad de cargador frontal
Cat 962H en la empresa agroindustrial Agrolmos S.A.”**

Autor:

Bach. Javier Giampierre Garnique Llontop

Jurado Examinador:

PRESIDENTE: Mg. Ing. Carlos Yupanqui Rodriguez

SECRETARIO: Dr. Daniel Carranza Montenegro

VOCAL: Ing. Nestor Daniel Puyen Mateo

ASESOR: Ing. Robinson Tapia Asenjo

Lambayeque - Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

“Implementación de plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite mejorando la disponibilidad de cargador frontal Cat 962H en la empresa agroindustrial Agrolmos S.A.”

Contenido

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

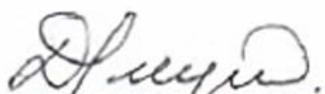
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN.

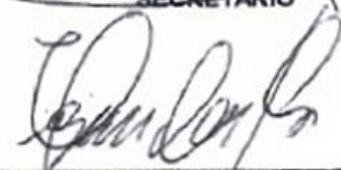
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Autor: Bach. Javier Giampierre Garnique Llontop


M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ
PRESIDENTE


ING. NÉSTOR DANIEL PUYEN MATEO
MIEMBRO


Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
SECRETARIO


ING. ROBINSON TUPIA ASEJO
ASESOR

Lambayeque - Perú

2023

DEDICATORIA

Dedicado para Dios todopoderoso, por llenarme de sabiduría, fortaleza y salud, quien siempre guía mi camino y bendice a mi familia, ayudándome a superar cualquier obstáculo en el camino de la vida.

A las personas a quien más amo, mis padres María Gladys Llontop Senmache y Juan Garnique Llontop por otorgarme su apoyo incondicional y creer siempre en mí, por los grandes valores que me enseñaron y el cual me han convertido en una persona de bien con muchas virtudes.

A mi hermano Henry Jair Garnique Llontop, por ser un gran ejemplo a seguir, brindarme sus consejos y apoyo que sirvió para jamás decaer en cualquier circunstancia.

En especial a Crystel, por siempre apoyarme en momentos que sentía rendirme y por no dejarme solo en los momentos más difíciles.

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios todopoderoso por obsequiarme salud física y mental, teniendo la oportunidad de disfrutar de la vida, a mi familia por ser el pilar y motivación de todos mis objetivos, por confiar y saber entenderme, motivándome a mejorar cada día.

A mi alma mater, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, quien fue siempre la opción para poder desarrollarme profesionalmente en mis 5 años de formación, y a mi prestigiosa facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica que con sus docentes profesionales me guiaron y brindaron los conocimientos necesarios de lo impresionante de esta carrera.

Expreso a su vez, mi agradecimiento a mi asesor de tesis por brindarme su valioso tiempo, experiencia y conocimientos para el proyecto realizado.

A mi familia, quienes me brindan su gran apoyo incondicional, motivándome a seguir mejorando y así lograr alcanzar mis objetivos propuestos.

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo implementar un plan de mantenimiento tipo predictivo mediante análisis de aceite para poder mejorar la disponibilidad mecánica del cargador frontal CAT 962H de la empresa Agroindustrial Agrolmos S.A. en el distrito de Olmos, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque, asimismo, teniendo en cuenta los factores de orden, seguimiento y control de los análisis de aceite permitiendo mejoras continuas en la empresa.

El tipo de investigación empleado fue la aplicada, los datos sobre los resultados de análisis de aceite fueron conseguidos de los programas de servicio de análisis de aceite de Smart Lab y Check Oil de Mobil y Shell respectivamente.

De los resultados se alcanzó lo siguiente: antes de la implementación del plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite la disponibilidad del cargador frontal 962H en el 2021 fue 83.2% y en el 2022 después de la implementación fue de 89.2% evidenciando un incremento del 6% de disponibilidad mecánica.

Se realizó el plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite que consistió en: la identificación del equipo y componentes a analizar, historial y estado general del equipo, muestreo de aceite y envío de muestras, análisis de aceite, interpretación de resultados y análisis de tendencias, determinación de tareas de mantenimiento a aplicar, retroalimentación de históricos. Siguiendo estos procesos de este plan de mantenimiento aumentará la disponibilidad disminuyendo los mantenimientos correctivos no programadas con el objetivo de asegurar el cumplimiento de las operaciones del cargador frontal CAT 962H.

Además, se llevó a cabo el análisis económico mensual para la implementación del plan de mantenimiento predictivo, la cual se consideró un costo inicial de inversión de \$1421.38 y por cada mes un costo de supervisión de \$729.4, también se calculó un beneficio útil por la mayor disponibilidad de la maquinaria, representado por una reducción de 18 horas de parada. Con ello se obtuvo un VAN de \$108.45 y un valor de TIR de 3% mensual, donde significó un gran beneficio económico.

Palabras claves: Plan de mantenimiento, Análisis de aceite, Disponibilidad, Análisis económico.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to implement a predictive type maintenance plan through oil analysis in order to improve the mechanical availability of the CAT 962H front loader of the company Agroindustrial Agrolmos S.A. in the district of Olmos, province of Lambayeque, department of Lambayeque, known, taking into account the factors of order, monitoring and control of oil analysis that will allow continuous improvements in the company.

The type of researcher used was the applied one, the data on the oil analysis results were obtained from the Smart Lab and Check Oil service programs of Mobil and Shell, respectively.

From the results, the following was achieved: before the implementation of the predictive maintenance plan through oil analysis, the availability of the 962H front loader in 2021 was 83.2% and in 2022 after the implementation it was 89.2%, showing an increase of 6% mechanical availability.

The predictive maintenance plan was carried out through oil analysis, which consisted of: the identification of the equipment and components to be analyzed, history and general condition of the equipment, oil test and sending of samples, oil analysis, interpretation of results and trend analysis, determination of maintenance tasks to apply, historical feedback. Following these processes of this maintenance plan, they have availability, reducing unscheduled corrective maintenance in order to ensure compliance with the operations of the CAT 962H front loader.

In addition, the monthly economic analysis was carried out for said implementation, which considered an initial investment cost of \$1421.38 a monthly cost for supervision of \$729.4, the useful benefit was calculated for the greater availability of machinery, for a reduction of 18 hours of stoppage. With this, a NPV of \$108.45 and an IRR value of 3% per month, where it meant a great economic benefit.

Keywords: Maintenance plan, Oil analysis, Mechanical availability, Economic analysis.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	17
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	19
1.1 Realidad Problemática	19
1.2 Formulación del Problema	20
1.3 Delimitación de la Investigación.....	20
1.3.1 Delimitación Espacial	20
1.3.2 Delimitación Temporal	21
1.3.3 Delimitación Temática.....	21
1.4 Justificación e Importancia de la Tesis	22
1.4.1 Justificación Técnica	22
1.4.2 Justificación Económica.....	23
1.4.3 Justificación Tecnológica	23
1.4.4 Justificación Social.....	23
1.5 Objetivos de la Investigación.....	23
1.5.1 Objetivo General	23
1.5.2 Objetivos específicos.....	24
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25
2.1 Antecedentes de Estudios.....	25
2.1.1 Contexto Internacional.....	25
2.1.2 Contexto Nacional.....	26
2.1.3 Contexto Local.....	27
2.2 Desarrollo de la Temática Correspondiente al Tema Investigado	28
2.2.1 Mantenimiento	28
2.2.2 Tipos de mantenimiento	29
2.2.2.1 Mantenimiento Correctivo.....	29
2.2.2.2 Mantenimiento Preventivo.....	30
2.2.2.3 Mantenimiento Predictivo.....	30
2.2.2.4 Mantenimiento Overhaul o Cero Horas.....	30
2.2.2.5 Mantenimiento en uso.....	30
2.2.3 Mantenimiento Predictivo	31
2.2.3.1 Técnicas de mantenimiento predictivo.....	31
2.2.4 Aceite lubricante.....	41

2.2.4.1 Definición.....	41
2.2.4.2 Composición típica de aceites lubricantes.	42
2.2.4.3 Básicos.	42
2.2.4.4 Categorías de Básicos – Clasificación por API.....	45
2.2.4.5 Aditivos.	45
2.2.4.6 Propiedades de aceites lubricantes.....	47
2.2.4.7 Clasificación de aceites lubricantes.....	50
2.2.5 Métodos de toma de muestra de aceite.	57
2.2.6 Análisis de aceite.....	62
2.2.6.1 Metodología SACODE.....	63
2.2.6.2 Pruebas para análisis de aceite.	64
2.2.7 Límites aceptables.....	69
2.2.7.1 Límites Basados en Metas.....	70
2.2.7.2 Límites de Envejecimiento.	70
2.2.7.3 Límites Estadísticos.....	72
2.2.7.4 Límites condenatorios.....	72
2.2.8 Programas de servicios en análisis de aceite.....	73
2.2.8.1 Programa SOS SM de Caterpillar.....	73
2.2.8.2 Programa Smart Lab de Mobil.....	73
2.2.8.3 Programa CheckOil de Shell.....	74
2.2.9 Metodología de Implementación plan de mantenimiento predictivo.....	74
2.2.9.1 Análisis del sistema bajo estudio.....	75
2.2.9.2 Selección adecuada de parámetros.....	75
2.2.9.3 Recolección de datos.....	75
2.2.9.4 Análisis e interpretación de datos.....	75
2.2.9.5 Evaluación de estado de equipo.....	76
2.2.9.6 Generación de avisos y toma de decisiones.....	76
2.2.9.7 Ordenes de trabajo y retroalimentación.....	76
2.2.10 Motor Diésel.....	77
2.2.11 Indicadores de efectividad de Mantenimiento.....	78
2.2.11.1 TIEMPO PROMEDIO ENTRE PARADAS (MTBF).....	78
2.2.11.2 TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR).	78
2.2.11.3 DISPONIBILIDAD (D).	78

2.2.11.4 UTILIZACION (U).....	79
2.2.11.5 CONFIABILIDAD (C).....	79
2.3 Conceptos generales.....	79
2.3.1 Implementación.....	79
2.3.2 Mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite.....	79
2.3.3 Disponibilidad.....	79
2.3.4 Informe de laboratorio.....	79
2.3.5 Cargador Frontal.....	80
2.4 Definición de términos básicos.....	80
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	81
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	81
3.1.1 Tipo de investigación.....	81
3.1.1.1 Investigación aplicada.....	81
3.1.2 Diseño de investigación.....	81
3.1.2.1 Investigación descriptiva.....	81
3.2 Población.....	81
3.3 Muestra.....	81
3.4 Hipótesis.....	82
3.5 Operacionalización de Variables.....	83
3.6 Métodos y técnicas de Investigación.....	84
3.7 Descripción de los instrumentos utilizados.....	92
3.8 Análisis Estadístico e Interpretación de los Datos.....	93
3.9 Análisis económico.....	94
3.9.1 Cálculo de costo total horario.....	95
CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN.....	98
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	99
5.1 Descripción de la situación actual del Equipo.....	99
5.2 Evaluación general de equipo.....	100
5.3 Condición de análisis de aceite.....	101
5.4 Análisis de aceite de cargador frontal CAT 962H.....	102
5.4.1 Motor.....	103
5.4.1.1 Salud de lubricante.....	103
5.4.1.2 Contaminación.....	107
5.4.1.3 Desgaste.....	108
5.5 Formato de inspección de equipo.....	111

5.6 Exposición de Resultados	114
5.6.1 Tablas de resultados.....	114
5.6.1.1 Índice de efectividad de mantenimiento	114
5.6.1.2 Condición del aceite.....	115
5.6.2. Gráficos	116
5.6.2.1 Tendencia de disponibilidad	116
5.6.2.2 Tendencia de horas de parada	116
5.6.2.3 Estado de aceite	117
5.7 Análisis económico.....	119
5.7.1 Condiciones iniciales	119
5.7.2 Costo por Implementación de Plan de Mantenimiento Predictivo.	120
5.7.3 Costo total horario de la maquinaria.....	121
5.7.4 Beneficio por reducción de horas de parada.....	123
5.7.5 Flujo efectivo neto	124
5.7.6 Cálculo del VAN y TIR	125
5.8 Discusión e interpretación de resultados.....	125
CONCLUSIONES.....	128
RECOMENDACIONES.....	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130
ANEXOS.....	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Campos de Aplicación de la Termografía</i>	36
Tabla 2 <i>Componentes principales del Básico Mineral</i>	43
Tabla 3 <i>Categorías de Aceite Básico API</i>	45
Tabla 4 <i>Índice de viscosidad de varios aceites</i>	49
Tabla 5 <i>Grado de clasificación de viscosidad ISO</i>	51
Tabla 6 <i>Clasificación de viscosidad SAE J300</i>	52
Tabla 7 <i>Grados de viscosidad para lubricantes AGMA</i>	53
Tabla 8 <i>Estándares ILSAC para aceites en motores a gasolina en automóviles de pasajeros</i>	54
Tabla 9 <i>Categorías de servicio API para aceites en motores a gasolina</i>	55
Tabla 10 <i>Categorías de servicio API en motores Diesel</i>	56
Tabla 11 <i>Pruebas mayormente utilizadas en las categorías de análisis de aceite</i>	63
Tabla 12 <i>Parámetros determinados por FTIR con números de onda</i>	66
Tabla 13 <i>Fuentes más frecuentes de metales en el aceite</i>	67
Tabla 14 <i>Estándar ISO 4406:99</i>	68
Tabla 15 <i>Parámetros basados en objetivos y envejecimiento</i>	71
Tabla 16 <i>Límites condenatorios de Caterpillar</i>	73
Tabla 17 <i>Operacionalización de variables</i>	83
Tabla 18 <i>Normativa en pruebas de Análisis de Aceite</i>	92
Tabla 19 <i>Técnica e instrumentos utilizados</i>	93
Tabla 20 <i>Disponibilidad de Cargador Frontal CAT 962H</i>	100
Tabla 21 <i>Componentes del equipo CAT 962H</i>	101

Tabla 22 <i>Condiciones del análisis de aceite</i>	102
Tabla 23 <i>Índices de efectividad de mantenimiento antes de aplicar el plan de mantenimiento</i>	114
Tabla 24 <i>Índices de efectividad de mantenimiento luego de aplicar el plan de mantenimiento</i>	115
Tabla 25 <i>Condición del aceite del cargador frontal CAT 962H</i>	115
Tabla 26 <i>Datos de cargador frontal CAT 962H</i>	119
Tabla 27 <i>Condiciones de trabajo de la maquinaria</i>	119
Tabla 28 <i>Datos generales económicos</i>	120
Tabla 29 <i>Costo por implementación de plan de mantenimiento predictivo</i>	121
Tabla 30 <i>Costo por posesión de maquinaria</i>	122
Tabla 31 <i>Costo por operación de maquinaria</i>	122
Tabla 32 <i>Costo por producción de maquinaria</i>	123
Tabla 33 <i>Reducción de horas de parada</i>	123
Tabla 34 <i>Flujo efectivo neto</i>	124
Tabla 35 <i>Cálculo de VAN Y TIR</i>	125
Tabla 36 <i>Resumen de índices de efectividad de mantenimiento del antes</i>	126
Tabla 37 <i>Resumen de índices de gestión de mantenimiento del después</i>	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Delimitación espacial de Agrolmos</i>	21
Figura 2 <i>Evolución del mantenimiento Industrial</i>	28
Figura 3 <i>Analizador de vibraciones</i>	31
Figura 4 <i>Espectro de desplazamiento para la norma MIL-STD-167-1</i>	33
Figura 5 <i>Clasificación del Nivel de Gravedad de Vibración según AZIMA DLI</i>	33
Figura 6 <i>Equipos de Monitoreo para Análisis por Vibraciones</i>	34
Figura 7 <i>Cámara termográfica</i>	35
Figura 8 <i>Termogramas en diferentes campos de aplicación</i>	37
Figura 9 <i>Medidor de ultrasonido</i>	39
Figura 10 <i>Equipo Boroscopio</i>	40
Figura 11 <i>Fabricación de aceites lubricantes</i>	41
Figura 12 <i>Índice de Viscosidad: Viscosidad vs Temperatura</i>	48
Figura 13 <i>Tapa antipolvo de válvula</i>	58
Figura 14 <i>Extracción de muestra para limpieza de válvula</i>	58
Figura 15 <i>Llenado de muestra de aceite por sonda</i>	59
Figura 16 <i>Medición de manguera con varilla</i>	60
Figura 17 <i>Introducción de manguera en bomba de vacío</i>	60
Figura 18 <i>Instalación de frasco en bomba de vacío</i>	61
Figura 19 <i>Extracción de muestra de aceite por bomba de vacío</i>	61
Figura 20 <i>Registro de datos en la etiqueta</i>	62
Figura 21 <i>Viscosímetro Capilar en U</i>	65

Figura 22 <i>Límites basados en objetivos</i>	70
Figura 23 <i>Cambio de aceite basado en condición</i>	71
Figura 24 <i>Enfoque de límites estadísticos</i>	72
Figura 25 <i>Pasos para implementación de mantenimiento predictivo</i>	77
Figura 26 <i>Motor Diésel CAT</i>	77
Figura 27 <i>Metodología de Trabajo para el mantenimiento predictivo Análisis de Aceite</i>	85
Figura 28 <i>Deficiencias de mantenimiento predictivo</i>	99
Figura 29 <i>Tendencia de la viscosidad de aceite motor</i>	103
Figura 30 <i>Tendencia de la oxidación de aceite motor</i>	104
Figura 31 <i>Tendencia del TBN de aceite motor</i>	105
Figura 32 <i>Tendencia de Hollin de aceite motor</i>	106
Figura 33 <i>Tendencia de Silicio de aceite motor</i>	107
Figura 34 <i>Tendencia de potasio de aceite motor</i>	108
Figura 35 <i>Tendencia de Índice PQ de aceite motor</i>	108
Figura 36 <i>Tendencia de hierro de aceite motor</i>	109
Figura 37 <i>Tendencia de aluminio de aceite motor</i>	110
Figura 38 <i>Tendencia de cobre de aceite motor</i>	110
Figura 39 <i>Formato de servicio de mantenimiento predictivo</i>	112
Figura 40 <i>Tendencia de disponibilidad</i>	116
Figura 41 <i>Tendencia de horas de parada</i>	117
Figura 42 <i>Estado anterior de análisis de aceite</i>	117
Figura 43 <i>Estado posterior de análisis de aceite</i>	118

INTRODUCCIÓN

En la presente tesis se tiene como fin poder implementar un plan de mantenimiento tipo predictivo mediante el análisis de aceite para mejorar la disponibilidad mecánica que se tenía anteriormente del cargador frontal 962H de la empresa Agroindustrial Agrolmos S.A., en el distrito de Olmos, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque. El desarrollo aspira a conocer que el mantenimiento predictivo de maquinarias pesadas actualmente tiene un rol importante para las empresas Agroindustriales, siendo considerado el cargador frontal como un equipo de carguío vitalmente importante para las labores diarias proyectadas, programando con antelación lo mantenimientos así no se tenga impacto negativo en la producción con paradas inesperadas y en consecuencia la disponibilidad de la maquinaria, es así que dicha tesis consigna una serie de capítulos que se exponen a continuación.

En el primer capítulo, se describe el desarrollo de los contextos internacional, nacional y local al implementar un plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite, además se pauta el problema y se proyecta los objetivos de la investigación.

Por ello, en el segundo capítulo se abarcó los precedentes y estudios relacionados al plan de mantenimiento predictivo, describiendo diferentes conceptos, con el objetivo de analizar, comparar e implementar esta técnica al contexto nacional.

Además, se explica las bases teóricas de un análisis de aceite y la disponibilidad mecánica para la maquinaria en estudio.

En el tercer capítulo, se ha propuesto la hipótesis siguiente:

“Mediante la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo basándonos en los resultados de análisis de aceite se mejorará la disponibilidad de los cargadores frontales CAT 962H en la empresa Agroindustrial Agrolmos S.A.”

Al iniciar la investigación por intermedio de una perspectiva aplicada estableciendo una variable independiente y dependiente, las cuales son el plan de mantenimiento mediante análisis de aceite y la disponibilidad mecánica respectivamente, además la población se demarca por el total de maquinaria utilizado de forma específica en las actividades realizadas por la empresa Agroindustrial Agrolmos S.A. en el distrito de Olmos, donde los datos se obtienen mediante un método de investigación sintético que utiliza la técnica de análisis de contenido para su posterior análisis estadístico de estos datos, adicionalmente se efectuó el análisis económico para demostrar el beneficio que conlleva.

En el cuarto capítulo, se lleva a efecto la implementación del plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite enfocándose en determinar la disponibilidad mecánica para el cargador frontal en estudio.

En el quinto capítulo, se da inicio con el diagnóstico situacional de la maquinaria, calculando la disponibilidad antes de la implementación del plan de mantenimiento predictivo, continuando con los resultados de análisis de aceite de las muestras tomadas del sistema motor, elaborando un plan de acción para mejorar los estados en atención y acción de los resultados obtenidos, a través del plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite, concluyendo con el cálculo de la disponibilidad mecánica después de la implementación del cargador frontal 962H, reflejando una reducción de horas de parada, donde se rescató un beneficio útil del cual fue necesario para el análisis en lo económico, alcanzando resultados positivos a través del Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Rendimiento para la implementación del plan de mantenimiento predictivo estudiado.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Realidad Problemática

En los últimos años, la realidad del mantenimiento de maquinarias en empresas del mundo revela que deben de hacer frente al aumento constante de costos de operación y de mantenimiento, además de planes de mantenimientos inadecuados e ineficientes para cada maquinaria, por lo que las empresas están implementado nuevos modelos y tipos de mantenimiento con el objetivo de aumentar la eficiencia operativa y reducir costos (CXP Group, 2018).

En la actualidad el 93% de las empresas tienen procesos poco eficientes de mantenimiento, por lo que aún resta mucho por mejorar, siendo el tiempo de inactividad no planificado, los fallos repentinos de los equipos y una infraestructura inadecuada los principales retos a superar. Muchas veces se prefiere invertir en una nueva flota de vehículos, pero olvidan que el mantenimiento es vital para lograr un mayor uso y una vida útil más larga de la maquinaria, debido a esta problemática el 55% de las empresas está empezando con la implementación de un mantenimiento predictivo, en especial mediante análisis de aceite con el objetivo de mejorar los procesos de mantenimiento (CXP Group, 2018).

La empresa de la cual se realizó este estudio cuenta con cargador frontal registrado con un código interno, los historiales de fallas son registrados en el Software SAP a fin de generar una orden de trabajo (OT) con las tareas y trabajos a realizar.

Como la empresa no cuenta con un plan de mantenimiento predictivo basado en resultados de análisis de aceite, la disponibilidad de la máquina no es la necesaria para poder llevar un proceso de producción eficiente, puesto que entre los meses de noviembre y diciembre de 2021 el número de avisos por averías inesperadas ha sido en aumento, es por esto que la disponibilidad de la maquinaria fue de 83.2% estando por debajo del estándar de la meta corporativa establecida de 85%, debido a que se tiene un deficiente procedimiento de muestreo de aceite, además no se tiene un personal capacitado para el mantenimiento predictivo, y no se realiza el seguimiento de los resultados del laboratorio para mejorar los estados en atención y acción obtenidos en los análisis de aceite, esta problemática y conociendo la importancia de la implementación de este tipo de mantenimiento, así se implementará un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite que cumpla las recomendaciones por el fabricante, además de mejorar la disponibilidad del cargador frontal CAT 962H.

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo la implementación de un plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite permite mejorar la disponibilidad del cargador frontal CAT 962H en la empresa Agroindustrial Agrolmos S.A.?

1.3 Delimitación de la Investigación

1.3.1 Delimitación Espacial

El presente trabajo de investigación se encuentra localizado a 116 km al norte de Chiclayo y a 44 km al oeste de la ciudad de Olmos, provincia de Lambayeque, ubicado en el departamento de Lambayeque.

Coordenadas UTM WGS84:

-Este: 603920.7995733261 m

-Norte: 9327137.86106323 m

Figura 1

Delimitación espacial de Agrolmos



Fuente: Google Earth, 2021

1.3.2 Delimitación Temporal

La presente tesis se desarrolló en un periodo de tres meses cronológicos.

1.3.3 Delimitación Temática

El eje principal de esta investigación está denotado, en el contexto actual de la necesidad de aumentar la disponibilidad del cargador frontal CAT 962H, a través de la implementación de un plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite, con el objetivo de mejorar la gestión de mantenimiento de cada maquinaria, logrando evitar fallas inesperadas y horas de trabajo perdidas en taller, que producen ineficiencia en el proceso productivo.

1.4 Justificación e Importancia de la Tesis

1.4.1 Justificación Técnica

Hoy en día es de suma importancia gestionar un buen plan de mantenimiento, en todo equipo que requiera un chequeo frecuente, aumentando la confiabilidad y eficiencia en cada labor. El análisis de aceite proyecta fallas futuras debido a líneas de tendencia y los historiales obtenidos en los análisis, logrando aumentar la capacidad de acción en los equipos y mejorando su disponibilidad (Dominguez, 2018)

Esta implementación aportará en el aumento de la producción de la maquinaria, generando una gran confiabilidad del equipo, aplicando una buena gestión de mantenimiento, siendo aprovechado en la flota de línea amarilla de la empresa de Agrolmos, pudiendo lograr lo siguiente:

-Al analizar el aceite en el cargador frontal y comparándolo con los límites establecidos se asegura tomar decisiones más certeras para lograr aumentar la disponibilidad de la máquina (Dominguez, 2018).

-Se logra la confiabilidad del equipo, detectando fallas antes que sucedan y puedan interrumpir el proceso, dando el tiempo de reemplazar el equipo de ser necesario y seguir con la programación requerida.

-Al alertar el estado de aceite luego de su respectivo análisis, se tomarán medidas oportunas para evitar fallas inoportunas a través de un seguimiento a los componentes en estado de precaución, buscando como objetivo principal que el estado se encuentre en condiciones normales para mejorar la disponibilidad de la máquina.

1.4.2 Justificación Económica

La implementación de análisis de aceite como mantenimiento predictivo garantiza el aumento de disponibilidad de la máquina, lo que implica directamente en la economía de la empresa, puesto que los costos por cambio de un equipo son mayores que los costos por su mantenimiento, además significa más horas de trabajo por cada máquina, menos horas de para por mantenimientos correctivos inesperados y alargar su vida útil.

1.4.3 Justificación Tecnológica

A través de la implementación de análisis de aceite y su posterior resultado de laboratorio se logra aumentar la posibilidad de prever fallas antes que sucedan, dando el tiempo de reemplazar la maquinaria para su mantenimiento respectivo y evitando el retraso del proceso. Esto tendrá un gran interés por la aplicación mediante este tipo de mantenimiento predictivo a diferentes empresas dentro de sus departamentos de mantenimiento.

1.4.4 Justificación Social

La implementación del mantenimiento predictivo aporta conocimiento en el grupo de ingenieros y técnicos dentro del área de mantenimiento, mejora la relación entre hombre y máquina, pudiendo detectar fallas con antelación, conocer cada equipo a profundidad lo que significa entender de qué manera funciona cada equipo. Además, implica mejorar la gestión de mantenimiento lo que conlleva una mayor motivación en el personal y aumentar el sentido de compromiso por el trabajo.

1.5 Objetivos de la Investigación

1.5.1 Objetivo General

Mejorar la disponibilidad mecánica a través de la implementación de un plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite del cargador frontal CAT 962H en la empresa Agroindustrial Agrolmos S.A.

1.5.2 *Objetivos específicos*

- a. Evaluar e Interpretar los resultados de análisis de aceite mediante la técnica SACODE, a partir de la recolección de muestras de aceite según método de extracción de vacío, determinando límites que permitan controlar la condición del sistema motor del Cargador Frontal CAT 962H.
- b. Especificar la guía necesaria para el correcto control e implementación del plan de mantenimiento predictivo mediante el análisis de aceite.
- c. Determinar la disponibilidad del equipo luego de implementado el mantenimiento.
- d. Determinar la disponibilidad de cargador frontal CAT 962H mediante los indicadores de mantenimiento.
- e. Determinar los beneficios económicos a través del uso del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa interna de Rendimiento (TIR), basado en el aumento de la disponibilidad y los costos totales de posesión, operación y producción del cargador frontal CAT 962H.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de Estudios

2.1.1 Contexto Internacional

Calderón y López (2016) realizaron un estudio desarrollado sobre “Plan de monitoreo y control a través de los análisis de aceite para motor y transmisión de vehículos articulados Mercedes para la empresa Sistemas Operativos Móviles - SOMOS K.S.A.”. Proyecto de grado para obtener el título de ingeniera mecánica, Bogotá, 2016.

Concluye que: El análisis de aceite, permite considerablemente encontrar la presencia de partículas y/o sustancias diferentes a las recomendadas convencionalmente, lo cual permite predecir posibles averías que se puedan presentar en las maquinarias (Calderón y López, 2016).

Consideran que, la viscosidad es un factor determinante, ya que es muy elevada y no puede ser cuantificada en algunos casos, evidenciando una avería interna indicando que el motor necesariamente tiene que ser intervenido de manera urgente (Calderón y López, 2016).

Menciona que, mediante el seguimiento por condición se presenta la detección de averías prematuros, factor importante que permite la toma de acciones, disminuyendo la probabilidad de averías; asimismo, teniendo en cuenta los resultados de laboratorio con su apropiada interpretación y análisis de aceite, proporcionan al departamento de mantenimiento la ayuda para la generación de planes de acción tomando medidas preventivas y correctivas, y así garantizando la confiabilidad de dichas maquinarias (Calderón y López, 2016).

Arévalo (2015) en su investigación “Propuesta de mejora para el mantenimiento del equipo pesado de la constructora COANDES S.A. basado en un análisis de aceite usado en los motores de combustión interna diesel”. Para obtener el grado de ingeniero mecánico automotriz, Cuenca, 2015.

Concluye: Es muy importante identificar las causas de averías teniendo en cuenta las condiciones ambientales y operativas donde se desarrolla la maquinaria, ya que maquinarias similares trabajando en condiciones iguales se podría tratar utilizando los mismos criterios, caso contrario con maquinarias idénticas trabajando en condiciones desiguales no necesitarán el mismo desarrollo de mantenimiento (Arévalo, 2015).

Considerando que, una herramienta versátil es el análisis de aceite usado, aplicándose para percatarse de las causas de averías en casi todo tipo de motores que utilicen lubricantes derivados del petróleo, teniendo en cuenta el idóneo conocimiento técnico en la interpretación de resultados de dichos análisis planteando una metodología para el proceso involucrado (Arévalo, 2015).

Monroy (2013) en el proyecto “Determinación de la rutina de mantenimiento predictivo como resultado del análisis de muestras de aceite usado para un motor de combustión interna marca John Deere modelo 6081”. Para la obtención del título de ingeniero mecánico, Guatemala, 2013.

Concluye: La implementación de un mantenimiento predictivo se genera con la recopilación de antecedentes estadísticos, para el seguimiento de estado en los equipos evaluados, usando los análisis de aceite, realizando indicadores para predecir fallas; así también, recomienda darle importancia a la toma de decisiones en la disminución o aumento de los servicios que se le realice a un motor de combustión interna (Monroy, 2013).

2.1.2 Contexto Nacional

Carmona (2021) en el proyecto “Aplicación del análisis de aceite para incrementar la disponibilidad mecánica de los cargadores de bajo perfil R1300G de la empresa COMICIV, Kolpa 2018”. Para obtener el título de Ingeniero Industrial, Huancayo, 2021.

En su investigación concluye: La implementación del análisis de aceite autorizó optimizar las actividades logísticas y actividades del mantenimiento preventivo al planificarse con anticipación las

solicitudes de pedidos de repuestos, así también, en gastos operativos se apreció una gran reducción para el área de mantenimiento, y principalmente se logró incrementar la disponibilidad mecánica en promedio 3.85% (Carmona, 2021).

Portocarrero y Rabanal (2019) en el estudio “Mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX en una empresa de transporte de carga”. Para obtener el título de Ingeniero Mecánico, Callao, 2019.

Concluye que: Con la realización del plan de mantenimiento predictivo dado en análisis de aceite se logró en los remolcadores aumentar la disponibilidad; mejorando en el remolcador R581, R652 y R654 su disponibilidad promedio en 6.7%, 9.7% y 12.8% respectivamente, después de haber aplicado dicho plan (Portocarrero y Rabanal, 2019).

2.1.3 Contexto Local

López (2019) en el proyecto “Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para el área de preparación de caña en la empresa azucarera Agrolmos”. Para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista, Olmos, Lambayeque, 2019.

Donde concluye que: En los equipos dentro del área de preparación de caña, aplicando el plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, utilizando el Análisis Modal de Efecto-Falla (AMEF), se determinó que en el equipo más resaltante como el desfibrador se obtuvo como valor máximo de Índice Prioritario de Riesgo, un valor de 245. Además, recomienda realizar un monitoreo constante de la disponibilidad donde comprendan los tiempos de demoras en suministros, logística, retrasos, considerando la disposición de equipos necesarios de prueba, repuestos, suficiencia de personal y herramientas (López, 2019).

2.2 Desarrollo de la Temática Correspondiente al Tema Investigado

2.2.1 Mantenimiento

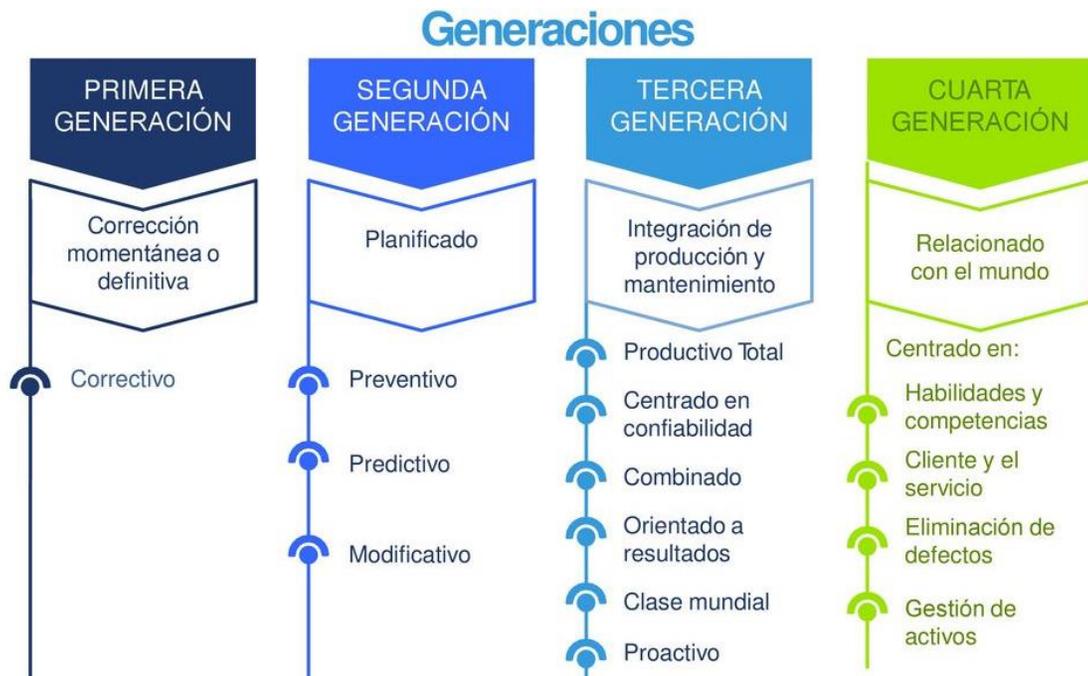
Es una aplicación de la ingeniería que permite mantener un sistema o equipo en condición segura y operativa, de tal forma que cumplan las funciones requeridas para las cuales fueron designados y diseñados o restablecer dicha condición cuando ésta deje de funcionar (Aguila, 2018).

Conjunto de actividades que suponen una combinación de prácticas técnicas, administrativas y de gestión para la obtención del máximo aprovechamiento de los recursos en una empresa, además de su máxima disponibilidad, alta confiabilidad y seguridad, dentro de un marco económico (Toledo, 2017).

A nivel mundial, el mantenimiento ha evolucionado desde sus inicios; así se muestra en la Figura 2 algunos de los aspectos que han cambiado a través del tiempo.

Figura 2

Evolución del mantenimiento Industrial



Fuente: (Pertuz, 2018)

2.2.2 Tipos de mantenimiento

De acuerdo a las exigencias que actualmente existe dentro de la industria, radica la norma UNE-EN 13306, admitido en 28 países de la UE y dado como referencia en Asia, Norteamérica, África, Oceanía y Latinoamérica, acentuando la importancia de la estandarización de conceptos y de los tipos de mantenimiento, donde se obtendrá una mejor interpretación (Padilla, 2021).

Así se distinguen 5 tipos de mantenimiento, diferenciándose por la condición de actividades que comprenden:

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Overhaul o Cero Horas
- Mantenimiento en uso

2.2.2.1 Mantenimiento Correctivo.

Son todas las actividades ejecutadas para corregir las causas de una avería en un equipo o maquinaria y que no pueden ser planificadas a tiempo, presentando costos de reparación y el no presupuesto de pedidos por el cambio de piezas que se vaya a utilizar, por lo que dejan de proporcionar la calidad y seguridad de servicio por las que fueron asignadas. En este tipo de mantenimiento se divide en dos enfoques (Toledo, 2018).

- **Mantenimiento Paliativo.** Tiene como objetivo reparar temporalmente la falla, aunque no quede eliminada la fuente que provocó la avería.
- **Mantenimiento Curativo.** Tiene como objetivo sustituir y/o eliminar las causas que produjo la avería o falla, a fin de resolver el problema definitivamente.

2.2.2.2 Mantenimiento Preventivo.

Son aquellas actividades periódicas programadas por ciertas necesidades en maquinarias o equipos operativos, ejecutando las adecuadas acciones de mantenimiento (ajustes, mediciones y correcciones) siguiendo las recomendaciones del fabricante, buscando así tener una eficiencia económica y la mayor disponibilidad que se requiere, reduciendo la probabilidad de averías y paros no previstos (Peña, 2021).

2.2.2.3 Mantenimiento Predictivo.

Conjunto de actividades aplicadas técnicamente cuyo objetivo es de proporcionar información idónea sobre la condición de cada equipo o maquinaria para predecir y detectar posibles fallos que puedan generar inoperatividad en los equipos durante su funcionamiento, realizando acciones preventivas, reduciendo costos en los tradicionales métodos de mantenimiento correctivo y preventivo (Zambrano y Pérez, 2021).

2.2.2.4 Mantenimiento Overhaul o Cero Horas.

Mantenimiento que tiene como objetivo, la revisión general de la maquinaria dejándolo a cero horas de funcionamiento, y realizar una reconstrucción general del equipo (Reparación de motor, renovaciones y reparaciones mayores), cambiando completamente los componentes de desgaste y así garantizar el buen funcionamiento en un determinado tiempo a partir de cero horas (Zambrano y Pérez, 2021).

2.2.2.5 Mantenimiento en uso.

Mantenimiento básico que se representa principalmente en efectuar tareas como ajuste de tuercas, limpieza, lubricación e inspecciones visuales, realizados por el mismo usuario u operador teniendo un entrenamiento conciso, y de ello tomar datos de lo más representativo teniendo un historial del sistema y evitando posibles fallas (Zambrano y Pérez, 2021).

2.2.3 Mantenimiento Predictivo

Mantenimiento basado en la condición, cuyo objetivo es predecir una parada no programada por la avería de algún componente dentro del sistema en el equipo o maquinaria, y así el componente pueda ser sustituido con un programa de mantenimiento antes de que deje de funcionar, por tal motivo consiste en una serie de valores que mediante el monitoreo, seguimiento, medición y control de parámetros permiten diagnosticar fallos, tomando acciones y extendiendo la vida útil del equipo.

2.2.3.1 Técnicas de mantenimiento predictivo. Dentro de este tipo de mantenimiento, se mencionan las técnicas de diagnóstico más utilizadas en la industria:

❖ **Análisis de vibraciones:**

Esta técnica se basa en la identificación del funcionamiento de máquinas que giran en su propio eje a través del comportamiento de vibraciones, del cual se pueden detectar problemas mecánicos como desbalance, desalineamientos, solturas mecánicas, resonancia, engranajes anómalos y defectos en rodamientos. Asimismo, es importante definir los puntos donde se realizarán las mediciones en la máquina, teniendo el adecuado equipo analizador para el estudio, como el Analizador de Vibraciones donde se visualiza la medida de parámetros y el espectro de vibración como se muestra en la Figura 3 (Sánchez, 2017).

Figura 3

Analizador de vibraciones



Fuente: (Fluke, 2022)

-Metodología

Es importante saber que el análisis de vibraciones está basado en el nivel de vibraciones y se rige a través de los siguientes principios básicos (Vassileva, 2007):

- El nivel de vibraciones presente una maquina en correcto estado de operación se establece como un patrón de referencia.
- Cualquier anomalía, que no cumpla el patrón de referencia, es detectable a través de los equipos de medición.

A partir de ello, en el análisis por vibraciones, al obtener valores distintos a los parámetros a condiciones normales expuestas en el patrón de referencia, el estado de la maquina se encuentra condiciones desfavorables de operación de la máquina. Ello es denominado como Severidad de Vibraciones.

-Estimación de Severidad de Vibración

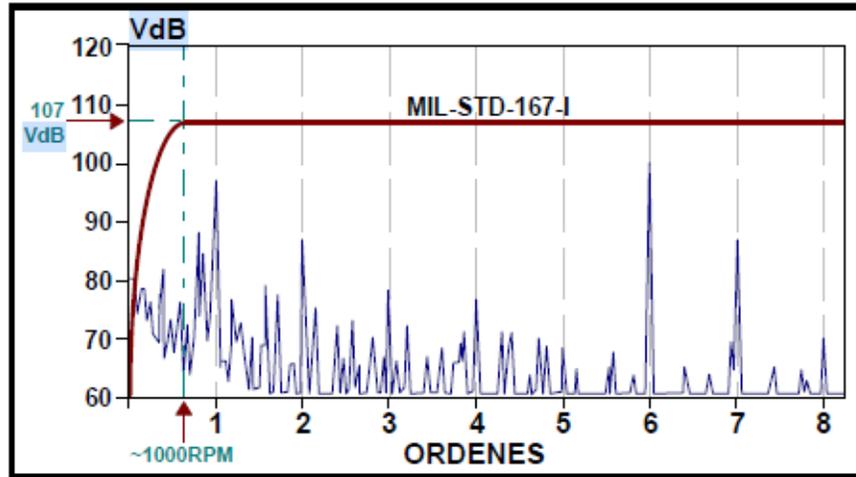
Para White, G (2010) la severidad o gravedad de las vibraciones presentes en un maquina debe ser determinada a través de un largo periodo de mediciones. Sin embargo, indica que se pueden usar las normas absolutas como guía.

-MIL-STD-167-1 Y MIL-STD-167-2

Normativas usadas como referencia o guía para determinar niveles aceptables de vibración de una maquina sencilla (motores de bombas eléctricas). Utilizan un espectro de desplazamiento en el cual establece que, pasados las 1200 RPM, se origina una velocidad constante de 107 VdB, mostrado en la Figura 4. La norma MIL-STD-167-1 cubre todas la maquinas rotativas y la norma MIL-STD-167-2, las maquinas reciprocas y sistemas de propulsión y flechas.

Figura 4

Espectro de desplazamiento para la norma MIL-STD-167-1



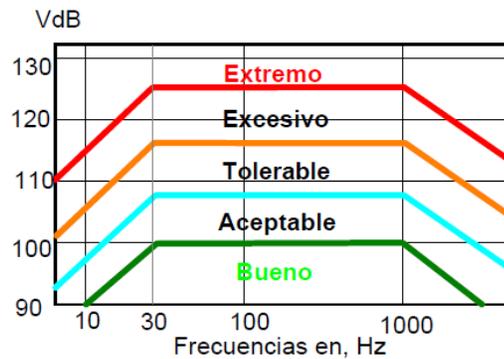
Fuente: (White Glen, 2010)

-Normas Comerciales (Gráfico Azima DLI de Gravedad de Vibración en Maquinaria)

AZIMA DLI expone un gráfico, el cual consiste en clasificar los niveles de vibración en las distintas maquinarias, según la frecuencia que presentan. La Figura 5 nos muestra el gráfico en mención.

Figura 5

Clasificación del Nivel de Gravedad de Vibración según AZIMA DLI



Fuente: (White Glen, 2010)

-Instrumentos de Medida

Según García, Ávila y Morales (2018), existen grupos dentro de los mantenimientos predictivos a través de análisis por vibraciones. Tenemos a las **Mediciones Periódicas de Espectros y Valores Globales** donde podemos encontrar a los equipos tales como: Vibrómetros de valor global (analógicos y digitales) y Analizadores de frecuencia (analógicos de banda de ajuste y digitales FFT en tiempo real). Por otro lado, está la **Monitorización en Continuo de Vibraciones**, la cual consiste en sistemas automatizados que utilizan colectores portátiles (sensores) para reunir datos en tiempo real y un software, para el almacenamiento, visualización y análisis de los datos.

Figura 6

Equipos de Monitoreo para Análisis por Vibraciones



Fuente. Elaboración Propia

❖ **Termografía:**

Técnica cuyo estudio es el comportamiento de la temperatura, donde la generación de calor muestra una señal anticipada de falla en máquinas electromecánicas, indicando si funciona correctamente. La energía desprendida en las máquinas va en modo de ondas electromagnéticas, y mediante la cámara termográfica nos ayuda a visualizar y analizar una imagen de radiación infrarroja con base a cada cambio de temperatura, como se aprecia en la Figura 7 (Sánchez, 2017).

Figura 7

Cámara termográfica



Fuente: (Fluke, 2022)

-Monitoreo de condición con Termografía

La termografía nos permite realizar temprana detección de fallas o verificar las condiciones de una máquina con la finalidad de anticiparse en la aparición de una falla. Por ello, la termografía tiene diferentes campos de aplicación, expuestos en la **Tabla 1**.

Tabla 1*Campos de Aplicación de la Termografía*

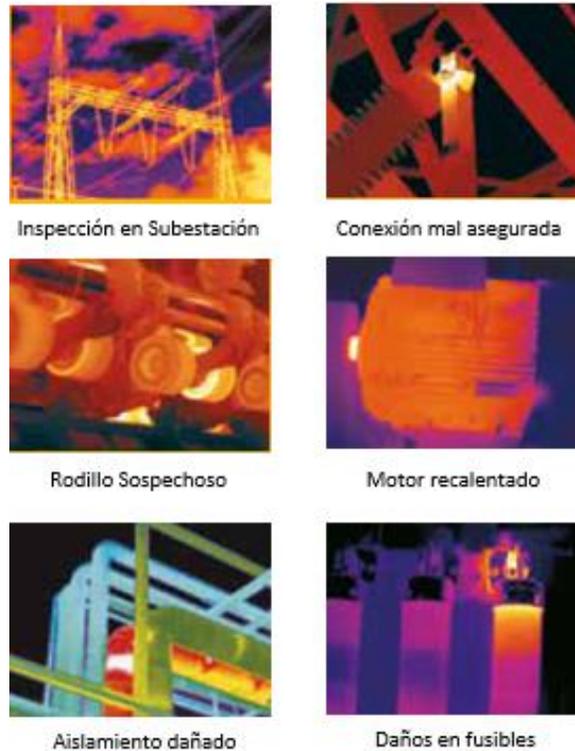
Campos de Aplicación	Descripción
Sistemas Eléctricos	En Instalaciones de alta tensión se pueden detectar: Oxidación de interruptores de alta tensión, Conexiones recalentadas, Conexiones mal aseguradas, Defectos de aislamientos. En Instalaciones de baja tensión: Conexiones corroídas o de alta resistencias, Malas conexiones y daños internos, Daños internos en los fusibles
Instalaciones Mecánicas	Las averías mecánicas que pueden ser detectadas son: Problemas de lubricación, Recalentamientos, Sobrecargas, Errores de alineación, Rodillos y rodamientos en mal estado, etc.
Tuberías	Las averías que pueden ser detectadas son: Fugas en bombas, tuberías y válvulas; Averías en aislamientos, Obstrucciones, etc
Instalaciones refractarias y petroquímicas	En el uso de hornos y calderas, se pueden detectar: Materias refractaria dañado, conductos obstruidos en intercambiadores de calor, perdida de aislamiento en equipos, etc.
Otras aplicaciones	Detección de llamas, Detección de nivel de depósitos, Inspección de materiales, localización de puntos calientes, etc.

Fuente: (FLIR Systems AB, 2011)

En la **Figura 8** se muestran tomas (Termogramas) realizadas por cámaras termográficas en los diferentes campos de aplicación.

Figura 8

Termogramas en diferentes campos de aplicación.



Fuente: (FLIR Systems AB, 2011)

-Parámetros principales para la captura de imagen – Termograma

Según Yañez & Martínez (2009), cuando se realiza la captura de la imagen térmica, la configuración de la cámara térmica es crucial establecer tres parámetros para obtener un informe óptimo de la imagen térmica o Termograma. Dichos parámetros son los siguientes:

- **Rango de Temperatura:** Limitar este parámetro es de vital importancia para evitar la saturación del equipo. Según el modelo de cámara puedes optar por controlar el diafragma mecánico o botón para los sistemas antiguos, intercalar filtros para

limitar la cantidad de radiación que llega al detector o limitando su sensibilidad cuando se trate de sistemas electrónicos.

- **Enfoque óptimo:** el ángulo de captura puede variar las mediciones realizadas, pero cuando existen grandes diferencias es debido a un mal enfoque. Por ello se recomienda tener en cuenta las distancias mínimas de trabajo, especificadas por la máquina y evitar realizar tomas perpendicularmente al equipo para evitar un reflejo y provocar datos erróneos en los informes.
- **Composición:** Hace referencia a como se presenta la máquina o equipo en la imagen térmica, se recomienda evitar alejarse mucho o acercarse demasiado por seguridad y para evitar recortes de las piezas. La distancia óptima estará especificada según la cámara termográfica a utilizar.

-Limitaciones

La termografía no es tan eficiente para encontrar la causa del sobrecalentamiento en equipos mecánicos, pues la pieza o componente que lo origina muchas veces no es visible directamente por la cámara termográfica, y solo se puede localizar la zona de influencia, debido a la transmisión de calor que se produce a través de los materiales (Aldana, D. & Muñoz, C., 2017).

❖ Análisis por ultrasonido:

Estudio de ondas de sonido con elevada frecuencia generadas por las máquinas indicando que existe algún tipo de problema, el sonido producido mayor a 20 kHz sólo puede ser captado en detectores ultrasónicos o medidores de ultrasonido que convierten las ondas ultrasónicas en ondas oíbles. Este instrumento se muestra en la Figura 9 (Sánchez, 2017).

Figura 9

Medidor de ultrasonido



Fuente: (Olympus, 2021)

❖ **Ensayos no destructivos:**

Fundamentado en principios físicos donde nos permite aplicar ciertos ensayos sobre un objeto, verificando su calidad sin cambiar su origen ni propiedades, permitiendo analizar y encontrar propiedades o discontinuidades de los materiales sin corregir sus condiciones de uso (Calderón y Scarpati, 2018).

❖ **Análisis por Boroscopio:**

O análisis por videoscopio, técnica de inspección remota que permite la visualización de los componentes internos dentro de un sistema de la maquinaria para la detección de diferentes tipos de averías. Consiste en introducir la sonda que tiene microcámaras de alta resolución y así inspeccionar con video y/o foto el punto crítico en cuestión sin la necesidad de desmontar el equipo o maquinaria, así observa en la Figura 6, facilitando la toma de decisiones asertivas (Miranda, 2020).

Figura 10

Equipo Boroscopio



Fuente: (Olympus, 2021)

❖ **Análisis de aceite:**

Mediante esta técnica se determina el estado operacional del equipo o maquinaria en función del estudio de las propiedades físicas y químicas del utilizado lubricante, Además, nos permite verificar el nivel de contaminación y/o degradación del aceite a través de una secuencia de pruebas realizadas en laboratorios especializados, mediante la extracción de una muestra de acuerdo a sus respectivos sistemas de la maquinaria. El nivel de contaminación del aceite lubricante se relaciona con la presencia de materias extrañas y partículas de desgaste, asimismo para disponer de la tendencia de desgaste se garantizará una serie de análisis continuos y periódicos, teniendo un control estadístico de desgaste normal, sucesivo o acelerado. Por consiguiente, esta técnica es un correcto indicador para saber el estado en que se encuentra la maquinaria (Sánchez, 2017).

2.2.4 Aceite lubricante.

2.2.4.1 Definición.

El aceite lubricante es toda sustancia colocada en medio de superficies en movimiento con el propósito de reducir la fricción, contribuir con el enfriamiento absorbiendo calor de partes de elevada fricción a otras zonas (transferencia de calor), sellar el espacio entre diferentes componentes, limpiar los componentes, separar contaminantes, transmitir potencia (sistemas hidráulicos), optimizar la eficiencia de operación y aumentando la confiabilidad de la maquinaria. Importante tener el conocimiento que, de ensuciarse el aceite, se portará como abrasivo entre los componentes, obteniendo un desgaste continuo de estos. Continuamente existen mejoras en la industria de lubricantes cuando así los requieran nuevas maquinarias, descubriendo nuevos procesos. Está producida por la mezcla de básicos y aditivos como se visualiza en la Figura 11, que le otorgan características particulares exigido para una aplicación determinada (Afton Chemical, 2018).

Figura 11

Fabricación de aceites lubricantes



Fuente: (Páramo, 2018)

2.2.4.2 Composición típica de aceites lubricantes.

Compuesta por básicos más aditivos, donde se aplican aceites adecuados para maquinarias Industriales y Automotrices (Páramo, 2018)

- **Aceites Industriales.**

95 al 99% básico y del 1 al 5% de Aditivos, aplicadas en chumaceras de motores eléctricos, turbinas de vapor, turbinas marítimas e hidroeléctricas (**Turbinas R&O**), en reductores industriales de engranes cerrados tipo helicoidal, recto y cónicos (**Engranes EP**), en bombas de engranes, radiales y axiales de pistón (**Hidráulicos AW**), entre otras aplicadas en Engranes compuestos y compresores de aire.

- **Aceites Automotrices.**

70 al 90% Básico y del 10 al 30% de Aditivos, estos aceites trabajan a temperaturas próximas a 100°C y sujetos a variados contaminantes (Hollín, combustible, refrigerante, etc.), por ende, necesitan diversos tipos y mayor cantidad de aditivos. Utilizados para motores de combustión interna a gasolina, Diesel, motores de generación o marinos y motores de Ferrocarriles.

2.2.4.3 Básicos. Estos Básicos son obtenidos del petróleo o de procesos petroquímicos empleados en la preparación de aceites lubricantes, se clasifican de acuerdo a su origen de la siguiente manera (Afton Chemical, 2018).

- ❖ **Básico Mineral.**

Derivado del petróleo del grupo API – I, mezcla de variados tipos de hidrocarburos y compuestos deseables como son los Parafínicos e Isoparafínicos e indeseables como Nafténicos y Aromáticos (Emulsión y Oxidación) como se muestra con más detalle en la siguiente tabla (Páramo, 2018).

Tabla 2*Componentes principales del Básico Mineral*

Parafínicos	Parafínicos ramificados	Nafténicos	Aromáticos
Resistencia a la oxidación	Resistencia a la oxidación	Bajo IV	Se oxidan muy fácilmente
Alto IV	Más alto IV	Las emulsiones con nafténicos, son estables. O sea: se mezclan con agua.	Muy bajo IV
No se mezclan con agua	No forman emulsiones	No tienen ceras	No recomendados para lubricación
Tienen ceras	Tienen ceras	Aplicaciones de lubricación limitadas (refrigeración, fluidos de corte)	
Muy buenos para lubricar	Menor evaporación Excelentes para lubricar		

Fuente: (Páramo, 2018)

Del mismo modo, existe tipos de básicos minerales mencionados a continuación:

-Hidro-terminado. Ligera reacción química del hidrogeno con compuestos polares y también el básico adquiere un color ligeramente más claro.

-Hidro-procesado. Elimina los heteroátomos como lo son el azufre, cloro, nitrógeno y oxígeno.

-Hidro-fraccionado o Hidro-craqueado, Proceso catalítico para convertir los hidrocarburos diversos en moléculas parafínicas con la presencia de hidrogeno. Los hidrocarburos aromáticos y nafténicos se convierten en parafínicos y se eliminan los heteroátomos antes mencionados.

❖ **Básico Sintético.**

Básicos de gran estabilidad, se obtienen mediante síntesis química de compuestos de bajo peso molecular convertidos en sustancias de estructuras predeterminadas y propiedades predecibles. Por lo que se diferencia del básico mineral por las siguientes razones de uso (Páramo, 2018):

- Solución de problemas que no pueden satisfacer los aceites minerales obteniendo un costo/beneficio atractivo.
- Alto índice de viscosidad y baja volatilidad.
- Estable a elevadas temperaturas de operación que van por debajo de -10°C o por encima de 80°C .

Asimismo, encontramos los siguientes tipos de Básico Sintético:

-Las Polialfaolefinas (PAO). básicos sintéticos de uso más extendido y de mayor utilización, teniendo elevada estabilidad a la oxidación y alto índice de viscosidad, con uso recomendado en aceites para motor, compresores, engranes y grasas sintéticas.

-El Polialquilenglicol (PAG). Excelente lubricante en sistemas de acero/bronces en engranes sin fin-corona y compresores de gas natural, con una óptima protección anti desgaste y buena estabilidad a la oxidación; no recomendado para motores de combustión interna.

-Esteres Fosfatados. Buena estabilidad a la oxidación, resistentes al fuego y elevada estabilidad a la radiación, uso recomendado en fluidos hidráulicos resistentes al fuego y turbinas de vapor en sistemas de control electrohidráulico.

❖ **Básicos de origen vegetal.**

Extraído principalmente de semillas, frutos, etc. Uso elevado de lubricantes elaborados con básicos de origen vegetal, debido a presiones ambientales (ISO 14000), a diferencia de los básicos minerales tienen índice alto de viscosidad, elevado punto de inflamación, biodegradabilidad y menor toxicidad.

2.2.4.4 Categorías de Básicos – Clasificación por API.

Dichas categorías se dividen por grupos como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3

Categorías de Aceite Básico API

CATEGORÍAS DE ACEITE BASE API				
Categoría de aceite base	% azufre		% saturados	Índice de Viscosidad
Grupo I	>0.03	y/o	<90	80 a 120
Grupo II (hidrotratadas)	<0.03	y	>90	80 a 120
Grupo III (hidrocraqueadas)	<0.03	y	>90	>120
Grupo IV	Lubricantes sintéticos PAO			
Grupo V	Los demás aceites base no incluidos en los Grupos I, II, III y IV			

Fuente: (Widman, 2018)

2.2.4.5 Aditivos.

Estos Aditivos son sustancias químicas sintéticas que potencian muchos de los parámetros de rendimiento de los básicos, aportando nuevas propiedades con el fin de mejorar sus características, pueden representar el 0.1% al 30% del volumen de un aceite formulado, se clasifican por su función de acuerdo a lo siguiente (Páramo, 2018).

a. Para protección de superficies lubricadas

- ✓ **Anticorrosivos.** Aditivo orgánico capaz de fijar los cristales anticorrosivos estabilizadores de superficie, teniendo una excelente propiedad inhibidora de corrosión en fases de contacto y vapor, recomendable para aceites en general.
- ✓ **Antidesgaste.** Por medio de una película formada por reacción química protege superficies entre metales. Previene el desgaste excesivo producido por el movimiento debido al directo contacto entre superficies metálicas.
- ✓ **Antiherrumbre.** Forman una película polar adherente a superficies metálicas, dicha película repele el agua, lo que inhibe la formación de herrumbre.
- ✓ **Dispersante.** Estabilizan agentes contaminantes durante la vida del lubricante y ralentizan efectos negativos de desgaste, elevada viscosidad, empleando aditivos polares para combatir hollín y lodos evitando su aglomeración.
- ✓ **Extrema presión.** Forman una película por reacción química muy resistente entre las superficies en movimiento relativo (fósforo y azufre los más utilizados) y se activan cuando el contacto entre metales es inminente, típico de aceites de engranes.

b. Para protección al lubricante

- ✓ **Antioxidantes.** Previene la formación de ácidos, lodos, barniz y elevada viscosidad derivados de la oxidación, trabajando en la descomposición de hiperóxidos reactivos y radicales libres antes de que conduzcan a la oxidación.
- ✓ **Antiespumantes.** En general, este tipo de aditivos se aprecia en todos los aceites lubricantes, facilita el escape de aire atrapado por el lubricante reduciendo la tensión superficial del aceite, y cuando el aceite opera a elevadas velocidades en contacto de aire, esto favorece la formación de espuma.

c. **Para aportar propiedades especiales**

- ✓ **Depresores de fluidez o punto de escurrimiento.** Estos aditivos retardan la cristalización de las parafinas cambiando el tamaño y forma de los cristales mediante un efecto de adsorción, sin cambiar propiedades de aceite.
- ✓ **Mejoradores del índice de viscosidad.** Mantienen la viscosidad más estable con la temperatura y además son utilizados para elevar el índice de viscosidad.
- ✓ **Modificadores de fricción.** Formados por ácidos grasos orgánicos y molibdeno, su función es la separación física de superficies formando una película fina protectora, tienen una baja resistencia al cizallamiento y facilitan el desplazamiento.

2.2.4.6 Propiedades de aceites lubricantes.

El objetivo es conocer el significado de cada propiedad que reporta el fabricante de los lubricantes en las hojas técnicas para poder hacer una correcta selección en función de las necesidades de la maquinaria y su entorno operativo. Así mencionaremos los más importantes (Páramo, 2018).

- **Viscosidad.**

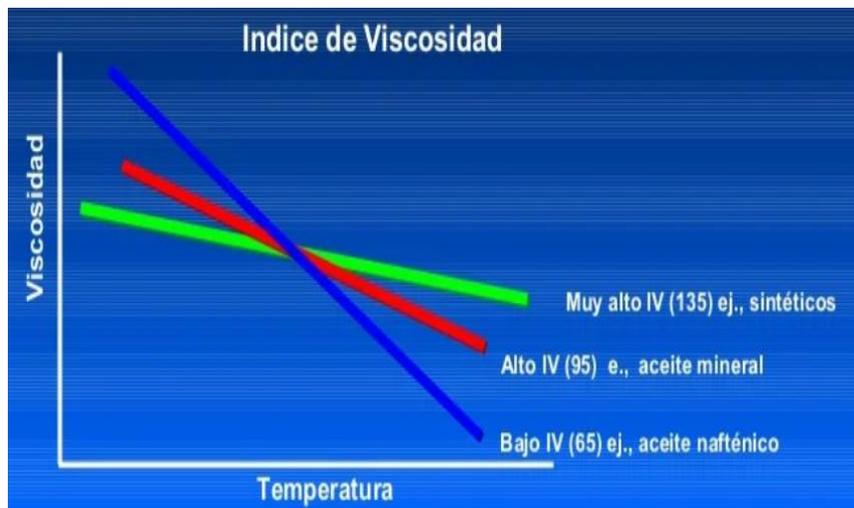
Importante propiedad de un lubricante para fines de lubricación, ya que brinda el correcto espesor de la película para conservar la separación de las superficies lubricadas. Determina la resistencia a fluir a una específica temperatura y presión, es decir, los aceites ligeros (baja viscosidad) son utilizados donde se presentan velocidades elevadas y presiones bajas, y los aceites pesados (alta viscosidad) utilizados en zonas con velocidades bajas y con presiones extremas.

- **Índice de Viscosidad (IV).**

Medición importante que indica la variación de la viscosidad de un lubricante cuando varía la temperatura. Se compara, mediante el cálculo de viscosidad cinemática de la muestra de aceite a 40°C y 100°C en centiStokes (Tabla 4), con la variación de viscosidad con la escala de referencia ASTM. Donde, un IV “alto” (mayor a 90), significa que el cambio es menor al variar la temperatura; un IV “bajo” (menor a 70), significa que el cambio es mayor al variar la temperatura (Figura 12).

Figura 12

Índice de Viscosidad: Viscosidad vs Temperatura



Fuente: (García, 2017)

Nota: Dentro del paréntesis, se encuentran números adimensionales que muestran la diferencia de viscosidades entre 40°C y 100°C.

Tabla 4*Índice de viscosidad de varios aceites*

Índice de Viscosidad de Aceites			
Aceites	Viscosidad Cinemática (cSt)		Índice de Viscosidad (IV)
	40°C	100°C	
Aceite Nafténico	30	4.24	40
Aceite Parafínico	30	5.23	105
Poliglicol	120	20.9	200
Silicón	120	50	424
Aceite Multigrado de Motor (SAE 10W - 30)	70	11.1	165
Ester	30	5.81	140

Fuente: (Páramo, 2018)

- **Punto de inflamación.** Temperatura mínima, donde el lubricante al evaporarse origina una mezcla inflamable de vapores y aire.
- **Punto de Ignición.** Se logra cuando se prolonga el calentamiento sobrepasando el punto de inflamación.
- **Punto de Fluidez.** Definida como la más baja temperatura donde un aceite lubricante fluirá.
- **Número de neutralización.** Medición de la reserva alcalina (TBN) o de acidez (TAN) en mg de KOH con la función de neutralizar sustancias básicas o ácidas presentes por cada mg de aceite.
- **Demulsibilidad.** Importante propiedad en variedades de lubricantes que se encuentran en permanente contacto con el agua, donde más rápido haya separación (min) de agua, menos emulsiones (ml) se formarán.

- **Formación de espuma.** Cuando las espumas estén aplicadas, es necesario que mientras sea menor la capacidad de formar espuma mejor; ya que la tendencia de los aceites a formar espuma puede ocasionar una falla mecánica.

Además, estos lubricantes deben cumplir con específicos requerimientos para cada maquinaria en particular, por lo que el ingeniero debe conocer el término de tribología.

❖ **Tribología.**

Utilizado a finales del siglo XX, dado por la palabra griega “Tribos” (rozar, frotar) y “Logos” (tratado, estudio), dicha palabra fue introducida a mediados del 60’s. en el reporte del Departamento Británico de Educación y Ciencia. Se utiliza para la definición de la ciencia que estudia la fricción, desgaste y la lubricación de zonas en movimiento relativo o de contacto, siendo base en la selección de lubricantes.

2.2.4.7 Clasificación de aceites lubricantes.

De acuerdo al avance tecnológico en motores, donde continuamente se actualizan, es normal que se exijan mayores requerimientos para el lubricante que utilizan, por ello se ha desarrollado clasificaciones que regulan su uso, atendiendo dos parámetros fundamentales como son la viscosidad y la aplicación o comportamiento, definiéndose por sociedades técnicas que a continuación daremos en mención:

a. Sistema de clasificación ISO.

El sistema International Standards Organization (ISO) de clasificación, es una serie de grados de viscosidad (VG), se basa en la viscosidad cinemática a 40°C y con una medida en mm²/sec (cSt), como se visualiza en la tabla 5. Para un determinado grado, un aceite es considerado que tenga de variación +/- 10% como referencia al grado definido de viscosidad, estableciendo un método de medición, y así los interesados como usuarios, diseñadores de equipos y proveedores de lubricantes tengan una estandarización en la selección que requieran en lubricantes industriales líquidos.

Tabla 5

Grado de clasificación de viscosidad ISO.

ISO VG	MID-POINT	LIMITS, KV 40°C		ISO VG	MID-POINT	LIMITS, KV 40°C	
	KV 40°C,mm ² s ⁻¹	Min.	Max.		KV 40°C,mm ² s ⁻¹	Min.	Max.
ISO VG 2	2.2	1.98	2.4	ISO VG 100	100	90	110
ISO VG 3	3.2	2.8	3.52	ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 5	4.6	4.14	5.06	ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 7	6.8	6.12	7.48	ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 10	10	9	11	ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 15	15	13.5	16.5	ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 22	22	19.8	24.2	ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VD32	32	28.8	35.2	ISO VG 1500	1500	1350	1650
ISO VG 46	46	41.4	50.6	ISO VG 2200	2200	1980	2420
ISO VG 68	68	61.2	74.8	ISO VG 3200	3200	2880	3520

Fuente: (Falótico, 2018)

b. Sistema de clasificación SAE

El sistema Society of Automotive Engineers (SAE), implantó una clasificación de viscosidad para lubricantes para uso en MCI, está determinada según la especificación SAE J300, donde estandariza las viscosidades y las interpreta en una escala de grados SAE, contemplando 11 grados de viscosidad, dividiéndose en grados de invierno o de arranque en frío (T°<0°C) y en grados de verano, tal como se aprecia en la Tabla 6 (Falótico,2018).

Tabla 6*Clasificación de viscosidad SAE J300*

Grado SAE	Viscosidades a temperaturas bajas		Viscosidades a temperaturas altas		
	a) Cranking (cP) máx. /temp°C	b) Bombeabilidad (cP) máx./temp°C	c) Visc. Cinemática (cSt) a 100°C		d) Visc. Alta Ciz. (cP) a 150°C min
			min.	máx.	
0W	6200 / -35	60000 / -40	3.8	-	-
5W	6600 / -30	60000 / -35	3.8	-	-
10W	7000 / -25	60000 / -30	4.1	-	-
15W	7000 / -20	60000 / -25	5.6	-	-
20W	9500 / -15	60000 / -20	5.6	-	-
25W	13000 / -10	60000 / -15	9.3	-	-
20	-	-	5.6	<9.3	2.6
30	-	-	9.3	<12.5	2.9
40	-	-	12.5	<16.3	2.9*
40	-	-	12.5	<16.3	3.7**
50	-	-	16.3	<21.9	3.7
60	-	-	21.9	<26.1	3.7

Fuente: (Falótico, 2018)

Nota:

a) Evaluado por ASTM D-5293, **b)** Evaluado por ASTM D-4684, **c)** Evaluado por ASTM D-445 **d)** Evaluado por ASTM D-4683 y D-4741

* Grados 0W-40, 5W-40 y 10W-40, ** Grados 15W40, 20W40, 25W40 Y 40

c. Sistema de clasificación AGMA

American Gear Manufacturers Association (AGMA), implanta estándares oxidación y demulsibilidad en lubricantes para engranes, define la viscosidad de los lubricantes utilizando los grados de viscosidad de acuerdo a las normas ISO, precisa 3 categorías de lubricantes para engranes como inhibidores, antidesgaste y compuestos (Tabla 7).

Tabla 7*Grados de viscosidad para lubricantes AGMA.*

Aceites de transmisión inhibidores de óxido y herrumbre Lubricante AGMA N°	Rango de Viscosidad mm ² /s (cSt) a 40°C	Grado ISO equivalente	Lubricantes de transmisión de extrema presión Lubricante AGMA N°	Aceites de transmisión sintéticos Lubricante AGMA N°
0	28.8 a 35.2	32		0 S
1	41.4 a 50.6	46		1 S
2	61.2 a 74.8	68	2 EP	2 S
3	90 a 110	100	3EP	3 S
4	135 a 165	150	4 EP	4 S
5	198 a 242	220	5 EP	5 S
6	288 a 352	320	6 EP	6 S
7.7 Comp	414 a 506	460	7 EP	7 S
8,8 Comp	612 a 748	680	8 EP	8 S
8A Comp	900 a 1100	1000	8A EP	
9	1350 a 1650	1500	9 EP	9 S
10	2880 a 3520		10 EP	10 S
11	4140 a 5060		11 EP	11 S
12	6120 a 7480		12 EP	12 S
13	190 a 220 cSt 100°C (212°F)		13 EP	13 S

Fuente: (Páramo, 2018)

Nota:

EP es la que contiene aditivos de Presión Extrema para trabajo pesado.**Comp** es la cantidad de Ácidos Grasos para reductores Sinfín-Corona.**d. Sistema de clasificación API**

El sistema American Petroleum Institute (API), realiza una clasificación según su comportamiento o calidad de servicio que brindan a un motor al que se le aplicará al lubricante. Por ello, existen categorías de servicio API y estándares de ILSAC (International Lubricants Standardization and Approval Committee), tanto como obsoletos y actuales resumidas en tablas prácticas como se muestra a continuación:

Tabla 8*Estándares ILSAC para aceites en motores a gasolina en automóviles de pasajeros*

ESTÁNDARES PARA ACEITES DE MOTORES A GASOLINA DE AUTOMÓVILES PARA PASAJEROS		
Nombre	Estado	Servicio
GF-6A	Actual	Inscrito en mayo de 2020. Proporciona protección contra pre encendido de baja velocidad (LSPI), contra el desgaste de la cadena de tiempo, además de protección del depósito de elevada temperatura para turbocompresores y pistones, mayor control estricto del lodo de aceite y del barniz, una mejorada economía de combustible, un sistema de control de emisiones perfeccionada y protección en motores que utilizan combustibles que incluyen etanol hasta E85.
GF-6B	Actual	Emplea solo a los aceites con grado de viscosidad SAE 0W-16. Inscrito en mayo de 2020. Proporciona protección contra pre encendido de baja velocidad (LSPI), contra el desgaste de la cadena de tiempo, además de protección del depósito de elevada temperatura para turbocompresores y pistones, mayor control estricto del lodo de aceite y del barniz, una mejorada economía de combustible, un sistema de control de emisiones perfeccionada y protección en motores que utilizan combustibles que incluyen etanol hasta E85.
GF-5	Obsoleto	Utilice GF-6A cuando GF-5 se recomiende.
GF-4	Obsoleto	Utilice GF-6A cuando GF-4 se recomiende.
GF-3	Obsoleto	Utilice GF-6A cuando GF-3 se recomiende.
GF-2	Obsoleto	Utilice GF-6A cuando GF-2 se recomiende.
GF-1	Obsoleto	Utilice GF-6A cuando GF-1 se recomiende.

Fuente: (API, 2020)

Nota: *Obsoleto desde 1 de mayo de 2021

Tabla 9*Categorías de servicio API para aceites en motores a gasolina*

SERVICIO API PARA ACEITES DE MOTORES A GASOLINA		
Categoría	Estado	Servicio
SP	Actual	Inscrito en mayo de 2020. Diseñado para proporcionar protección de arranque a baja velocidad (LSPI), contra el desgaste de la cadena de tiempo, mejorada protección del tanque de elevada temperatura del turbocompresor y pistón. Recursos API SP se combina con ILSAC GF-6A, con economía de combustible mejorada, protección del sistema de control de emisiones y protección para motores que operan con combustibles que contienen etanol. E85.
SN	Actual	Para automóviles con motores modelo 2020 y previos
SM	Actual	Para automóviles con motores modelo 2020 y previos
SL	Actual	Para automóviles con motores modelo 2020 y previos
SJ	Actual	Para automóviles con motores modelo 2020 y previos
SH	Obsoleto	ADVERTENCIA: no adecuado para emplearlo en los motores de automóviles propulsados con gasolina fabricados después de 1996. Es probable que no brinde la protección necesaria contra acumulación de lodo de aceite, oxidación o desgaste.
SG	Obsoleto	ADVERTENCIA: no adecuado para emplearlo en los motores de automóviles propulsados con gasolina fabricados después de 1993. Es probable que no brinde la protección necesaria contra acumulación de lodo de aceite, oxidación o desgaste.
SF	Obsoleto	ADVERTENCIA: no adecuado para emplearlo en los motores de automóviles propulsados con gasolina fabricados después de 1988. Es probable que no brinde la protección necesaria contra acumulación de lodo de aceite.
SE	Obsoleto	ADVERTENCIA: no adecuado para emplearlo en la mayoría de los motores de automóviles propulsados con gasolina fabricados después de 1979.
SD	Obsoleto	ADVERTENCIA: no adecuado para emplearlo en los motores de automóviles propulsados con gasolina fabricados después de 1971. La utilización en motores más modernos puede ocasionar daños en el equipo o un desempeño no satisfactorio.
SC	Obsoleto	ADVERTENCIA: no adecuado para emplearlo en la mayoría de los motores de automóviles propulsados con gasolina fabricados después de 1961. La utilización en motores más modernos puede ocasionar daños en el equipo o un desempeño no satisfactorio.
SB	Obsoleto	ADVERTENCIA: no adecuado para emplearlo en la mayoría de los motores de automóviles propulsados con gasolina fabricados después de 1951. La utilización en motores más modernos puede ocasionar daños en el equipo o un desempeño no satisfactorio.
SA	Obsoleto	ADVERTENCIA: Sin aditivos. No adecuado para emplearlo en la mayoría de los motores de automóviles propulsados con gasolina fabricados después de 1930. La utilización en motores más modernos puede ocasionar daños en el equipo o un desempeño no satisfactorio.

Fuente: (API, 2020)

Tabla 10*Categorías de servicio API en motores Diesel*

SERVICIO API EN MOTORES DIÉSEL		
Categoría	Estado	Servicio
CK-4	Actual	Empleado en motores diésel con ciclo de cuatro tiempos de alta velocidad diseñados para cumplir con los estándares de emisiones de escape de modelo año 2017 y años previos en carretera y fuera de ella. Estos aceites son útiles para conservar la durabilidad del sistema de control de emisiones, en el que se utilizan filtros de partículas y otros sistemas avanzados. Diseñada para una mejorada protección contra la pérdida de viscosidad debido al cizallamiento, la oxidación del aceite, alteración del aceite, desgaste de motor, entre otros.
CJ-4	Actual	Inscrito en 2010, para motores de cuatro tiempos de alta velocidad, diseñados para desempeñar con estándares de emisiones de escape del año modelo 2010 y años previos, en carretera y fuera de carretera.
CI-4	Actual	Inscrito en 2002, para motores de cuatro tiempos de alta velocidad, diseñados para desempeñar con estándares de emisiones de escape del año modelo 2004 implementados en el 2002, se formularon para mantener durabilidad de motor en la recirculación de gases de escape (EGR).
CH-4	Actual	Inscrito en 1998, para motores de cuatro tiempos de alta velocidad, diseñados para desempeñar con estándares de emisiones de escape del año modelo 1998 implementados en el 2002, se formularon para mantener durabilidad de motor en la recirculación de gases de escape (EGR).
CG-4	Obsoleto	ADVERTENCIA: No adecuado para automóviles con motor diésel fabricados después del 2009
CF-4	Obsoleto	ADVERTENCIA: No adecuado para automóviles con motor diésel fabricados después del 2009
CF-2	Obsoleto	ADVERTENCIA: No adecuado para automóviles con motor diésel fabricados después del 2009, los motores de ciclos con dos tiempos pueden exigir diferentes requisitos de lubricación a comparación de los de cuatro tiempos, por ello se tiene que seguir las recomendaciones del fabricante
CF	Obsoleto	ADVERTENCIA: No adecuado para automóviles con motor diésel fabricados después del 2009
CE	Obsoleto	ADVERTENCIA: No adecuado para automóviles con motor diésel fabricados después del 1994
CD-II	Obsoleto	ADVERTENCIA: No adecuado para automóviles con motor diésel fabricados después del 1994
CD	Obsoleto	ADVERTENCIA: No adecuado para automóviles con motor diésel fabricados después del 1994
CC	Obsoleto	ADVERTENCIA: No adecuado para automóviles con motor diésel fabricados después del 1990
CB	Obsoleto	ADVERTENCIA: No adecuado para automóviles con motor diésel fabricados después del 1961
CA	Obsoleto	ADVERTENCIA: No adecuado para automóviles con motor diésel fabricados después del 1959
FA-4	Actual	Detalla ciertos aceites XW-30, formulados en motores diésel de cuatro tiempos de alta velocidad, para estándares de modelo año 2017 de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en carretera, útiles para la durabilidad del sistema de control de emisiones que utilizan filtros de partículas y otros sistemas avanzados. No es compatible con aceites API CK-4, CJ-4, CI-4 PLUS, CI-4 Y CH-4.

Fuente: (API, 2020)

2.2.5 Métodos de toma de muestra de aceite.

Los procedimientos de toma de muestras de aceite tienen un papel decisivo y necesario en los niveles de contaminación y la identificación de contaminantes, de igual forma comprenden la calidad del aceite lubricante en general y las condiciones actuales y futuros del equipo. En la actualidad, la tecnología en la extracción de muestras de aceite está permitiendo una sucesión de compilar y analizar muestras teniendo una mayor efectividad y precisión. Existen accesorios, suministros de muestreo y puertos de muestreo diseñados para extraer muestras específicas en sistemas y componentes, dichos muestreos tienen que efectuarse con el mayor cuidado posible, para que así se elaboren tendencias más exactas con resultados obtenidos de laboratorio.

Caterpillar nos recomienda a través de su programa de Análisis de Aceite SOS, como tomar correctas muestras de aceite mediante métodos de extracción, que se mencionan a continuación:

a. Método de extracción por válvula.

Por medio de este método, será necesario tener una Sonda de Latón y manguera (15 cm). Si la toma de muestra se realizará en diversos sistemas, se comenzará en el sistema hidráulico (sistema más limpio), luego con el sistema de transmisión o de dirección y por último el sistema motor. Además, nos describe 3 pasos importantes:

Primer paso. Encienda el motor en bajo ralentí, retire la tapa antipolvo de la válvula del compartimento y con un trapo limpie la válvula (Figura 13)

Figura 13

Tapa antipolvo de válvula



Fuente: (Aguado, 2020)

Segundo paso. Ingrese la sonda de latón en la válvula y retire 100 ml de aceite en un depósito de residuos para desecharlo, esto ayudará a que la válvula se limpie (Figura 14).

Figura 14

Extracción de muestra para limpieza de válvula



Fuente: (Aguado, 2020)

Tercer paso. Ingrese nuevamente la sonda en la válvula, ocupe $\frac{3}{4}$ del frasco en aceite y no permita que se contamine, retire la sonda y asegure la tapa del frasco, finalmente llene la etiqueta del frasco correctamente (Figura 15).

Figura 15

Llenado de muestra de aceite por sonda



Fuente: (Aguado, 2020)

b. Método de extracción por bomba de vacío.

Mediante este método se utiliza una bomba de extracción al vacío, manguera y frasco, para la toma de muestras en sistemas no presurizados o que no contienen válvulas. Antes de iniciar el muestreo, se realiza el encendido del equipo a bajo ralentí, para asegurar que el aceite pueda alcanzar la temperatura de funcionamiento, dado que así las partículas del aceite puedan estar suspendidos y se obtenga una muestra representativa. A continuación, se describe los siguientes pasos:

Primer paso. Con el motor apagado, se corta la manguera a la medida del largo de la varilla medidora, si el compartimento del sistema no tiene una varilla medidora, corte la manguera a la medida que alcance la mitad de profundidad del aceite (Figura 16).

Figura 16

Medición de manguera con varilla



Fuente: Elaboración propia

Segundo paso. Introduzca la manguera en la cabeza de la bomba de vacío, ajuste la tuerca de retención y se extenderá la manguera aproximadamente 4 cm por debajo de la base del cabezal de la bomba de vacío (Figura 17).

Figura 17

Introducción de manguera en bomba de vacío



Fuente: Elaboración propia

Tercer paso. Enrosque un frasco a la bomba de vacío e introduzca el extremo de la manguera en el sumidero del aceite sin que toque el fondo (Figura 18).

Figura 18

Instalación de frasco en bomba de vacío



Fuente: Elaboración propia

Cuarto paso. Coloque siempre la bomba verticalmente y tire la manija de la bomba para generar un vacío, luego llene $\frac{3}{4}$ de su capacidad del frasco para muestra (Figura 19).

Figura 19

Extracción de muestra de aceite por bomba de vacío



Fuente: (Caterpillar, 2020)

Quinto paso. Retire la manguera del compartimento, desenrosque el frasco de la bomba de vacío, tape el frasco sin contaminarlo y, por último, registre los datos correctos en la etiqueta del frasco para enviarlo a laboratorio (Figura 20).

Figura 20

Registro de datos en la etiqueta



Fuente: Elaboración propia

2.2.6 Análisis de aceite.

Considerado parte del mantenimiento predictivo, es una poderosa herramienta del monitoreo basado en condición (CBM), que contribuye a una importante confiabilidad, donde a diferencia de otros tipos de tecnología abarca un 40% de poder predictivo. Es utilizado para detectar, eliminar y ofrecer acciones proactivas de las anomalías del lubricante (Salud y Contaminación), como en el estado en la que se encuentra la maquina (Desgaste), estas anomalías pueden generar altos costos de reparación, perdidas de producción e inclusive accidentes de los operadores. Por ello, con un determinado diagnóstico en base a el análisis de aceite, facilita que se pueda descubrir e inclusive anticipar probables errores, evitando arriesgar el desempeño de la calidad o servicio de la maquinaria y equipo, ampliando la vida útil de sus componentes (Hernandes, 2018).

Tabla 11

Pruebas mayormente utilizadas en las categorías de análisis de aceite

Categoría del análisis del lubricante	Pruebas
Propiedades del fluido	Viscosidad, número ácido/básico, FTIR, elementos metálicos
Contaminación	Conteo de partículas, humedad, elementos metálicos
Desgaste	Densidad ferrosa, ferrografía analítica, elementos metálicos

Fuente: (Hernandes, 2018)

2.2.6.1 Metodología SACODE.

De acuerdo a cada toma de muestra realizada para un análisis de aceite, se presenta una oportuna metodología (Salud, Contaminación y desgaste) que simplifica dicho proceso de análisis, la cual se ejerce de manera ordenada y de acuerdo a los resultados se toma decisiones correctivas, asimismo dando precisión en la condición del lubricante y el estado de la maquinaria, se describe información la cual se divide en 3 categorías (Aguado, 2018):

a. Salud de lubricante:

Evaluación que permite revelar si el lubricante se encuentra apto y sano dentro del sistema aplicado, para su cambio o servicio. Llamado también análisis de las propiedades del aceite ya que examina sus aditivos y propiedades fisicoquímicas (Viscosidad, TBN, oxidación, hollín)

b. Contaminantes:

Cuando se encuentra una elevada contaminación en torno al medio ambiente del lubricante, en modo de impurezas, agua y otros contaminantes son claros puntos de causas de desgaste y averías en la máquina. Si la contaminación va

en aumento, significa que es hora de salvaguardar el aceite tomando acciones y evitando desgaste de componentes. Se evalúa comúnmente el Silicio, Potasio y Sodio.

c. Desgaste de la máquina:

Esta categoría es utilizada para detectar partículas de desgaste mecánico, degeneración o corrosión de la superficie. El análisis de estas partículas ayuda a la toma de acciones proactivas en la gestión de mantenimiento. Comúnmente se evalúa el Índice PQ, Hierro, Cobre, Aluminio y Cromo.

2.2.6.2 Pruebas para análisis de aceite.

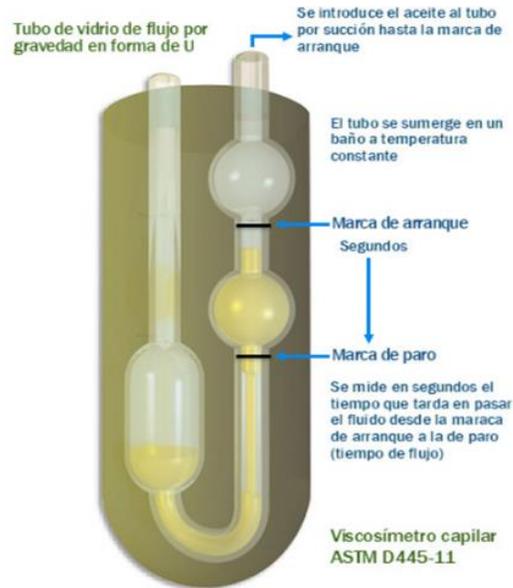
Acorde a las condiciones ambientales y modelo de maquinaria, incluyen por lo general pruebas de viscosidad, Número básico y ácido, infrarrojo por transformadas de Fourier, análisis de elementos metálicos, conteo de partículas, análisis de humedad. Donde se describen a continuación (Noria, 2018):

a. Viscosidad:

Propiedad fisicoquímica más importante en el análisis de aceite, cuya determinación se reporta en términos de viscosidad absoluta o cinemática, este último es la más empleada ya que proporciona una mejor consistencia en la prueba de viscosidad, donde al fluir por la fuerza de gravedad determina la medida de la resistencia de un fluido. La viscosidad cinemática se mide a 100°C y es realizada por un viscosímetro capilar debidamente calibrado, a una presión y temperatura determinada (Figura 17).

Figura 21

Viscosímetro Capilar en U



Fuente: (Noria, 2022)

b. Número Básico Total (TBN):

Prueba de número básico, mostrará la cantidad de reserva alcalina del lubricante, cuyo fin es neutralizar ácidos formados por la combustión. Cuando se aplica en motores diésel, durante la combustión la humedad se mezcla con azufre y se genera el ácido bajo presión. Como regla genérica, el número básico no debe estar debajo del 50% de TBN de línea base ya que se tomaría como una observación de degradación de aditivos. Normado por ASTM D4739-08.

c. Número Ácido Total (TAN):

Prueba de índice de acidez, forma parte de la salud del lubricante, que representa la concentración de elementos ácidos en un análisis del lubricante, asimismo monitorea el agotamiento de antioxidantes. Utilizados en aceites para turbinas y motores a gas, caja de engranajes industriales/automotrices, compresores, bombas y sistemas hidráulicos, etc. Normado por ASTM D664-09.

d. Infrarrojo por transformadas de Fourier (FTIR).

Prueba sofisticada y rápida para establecer parámetros, que incluyen la dilución, hollín, glicol y agua; también localiza productos de degeneración del lubricante como son la nitración, oxidación, y sulfatación; así como la existencia de aditivos como fenoles y dialquil ditiofosfato de cinc (ZDDP). Estos parámetros examinados alcanzan muchos a no ser concluyentes, por lo que frecuentemente estos resultados son ratificados con otras pruebas para así obtener resultados más acertados. En la Tabla 12 se visualizan los parámetros establecidos por variaciones en la absorbancia de luz infrarroja a longitudes de onda diferentes.

Tabla 12

Parámetros determinados por FTIR con números de onda

Número de onda	Parámetro evaluado
1750	Oxidación (aceites minerales)
3540	Oxidación (ésteres orgánicos)
815	Oxidación (ésteres fosfatados)
1150	Sulfatación (probablemente por contaminación con combustible con elevado contenido de azufre)
1630	Nitración (típica en motores a gas natural)
3625	Agua (ésteres orgánicos)
3400	Agua (lubricantes minerales)
2000	Hollín (paso de gases de combustión)
880,3400, 1040, 1080	Glicol
800	Contaminación con diésel
750	Contaminación con gasolina
795-815	Contaminación con combustible de aviación
3650	Agotamiento de aditivos inhibidores fenólicos
980	Agotamiento antioxidante/antidesgaste ZDDP

Fuente: (Mills, 2018)

e. Análisis de elementos metálicos (Espectrométrico).

Se desempeña bajo el principio de la AES (espectrometría de emisión atómica), en ocasiones llamada análisis de metales de desgaste. Diseñado para establecer la centralización de metales de desgaste, aditivos y contaminantes en el lubricante. En la Tabla 13 se expresan las fuentes más frecuentes de metales en el lubricante.

Tabla 13

Fuentes más frecuentes de metales en el aceite

Elemento	Posible fuente
Aluminio	Pistones, cojinetes, bombas, arandelas de presión
Antimonio	Cojinetes, grasas
Bario	Aditivo inhibidor de herrumbre y oxidación, grasas
Boro	Aditivo anticorrosivo en refrigerantes, aditivo antidesgaste y EP, polvo/tierra
Calcio	Aditivos detergentes/ dispersantes, grasas, cemento
Cromo	Anillos de pistones, rodamientos
Cobre	Cojinetes, aleaciones de bronce/ latón, bujes, arandelas de presión, tubos enfriadores de aceite
Hierro	Ejes, rodamientos, cilindros, engranajes, pistones y anillos
Plomo	Cojinetes
Litio	Grasas
Magnesio	Aditivos detergentes/ dispersantes, engranajes automotrices, agua salada
Molibdeno	Anillos del pistón, aditivos EP
Níquel	Cojinetes, tren de válvulas, alabes de turbinas
Fósforo	Aditivos antioxidantes/ antidesgaste, EP
Potasio	Aditivo refrigerante
Plata	Cojinetes, pasador del pistón
Silicio	Polvo/tierra, aditivo antiespumante
Sodio	Aditivos del refrigerante, agua salada
Estaño	Cojinetes, jaula de rodamientos, soldaduras
Titanio	Aditivo antidesgaste, alabes de turbinas
Cinc	Aditivo antidesgaste/ antioxidante, sellos de neopreno

Fuente: (Noria, 2022)

f. Conteo de partículas:

En esta prueba se cuantifica la cantidad de partículas y el tamaño del lubricante, de modo que permita el control del nivel de sólidos de contaminación y residuos férricos en la muestra de aceite, además se plasma en criterios específicos de tamaño (de 4 a más de 100 micrones) por mililitro de lubricante. Comprendido con el estándar ISO 4406:99.

Tabla 14

Estándar ISO 4406:99

Cantidad de partículas por ml		
Más que	Hasta e incluyendo	Numero de rango (R)
5,000,000	10,000,000	30
2,500,000	5,000,000	29
1,300,000	2,500,000	28
640,000	1,300,000	27
320,000	640,000	26
160,000	320,000	25
80,000	160,000	24
40,000	80,000	23
20,000	40,000	22
10,000	20,000	21
5,000	10,000	20
2,500	5,000	19
1,300	2,500	18
640	1,300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5.0	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1

Fuente: (Noria, 2022)

g. Análisis de humedad:

Determinada por la prueba de titulación Karl Fischer, ASTM D6304-07. Se proporcionan en partes por millón (ppm) o en porcentaje, este método precisa sus formas como son disuelta, libre y emulsionada que contiene el agua. Antes de ejecutada la prueba, se realizan pruebas no instrumentales como de crepitación y de la plancha caliente. La presencia de agua puede generarse por respiradores abiertos o fugas por los sellos.

h. Ferrografía:

con esta prueba, es posible controlar el diagnóstico y el estado de la máquina, así como determinar el desgaste, los tipos de contaminantes y el rendimiento del lubricante. Una vez que se realiza el diagnóstico, el equipo de mantenimiento decidirá si el equipo se enviará o no para su reparación. Analiza las partículas encontradas en los lubricantes para identificar el grado y el motivo del desgaste de máquinas y equipos.

2.2.7 Límites aceptables.

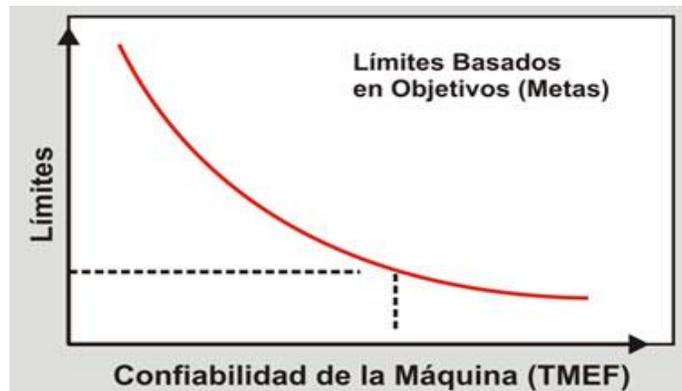
Si se desea evaluar una numerosa cantidad de muestras extraídas, será necesario establecer límites donde se puedan indicar prontamente la criticidad de los resultados, por ello en una numerosa mayoría de reportes de análisis de aceite establecidos por laboratorios certificados utilizan los comúnmente luces de semáforo (verde, amarillo y rojo), filtrando el color verde se tomarán para la tendencia del historial de muestras, por otro lado, las amarillas y rojas se analizarán para la toma de acciones inmediatas de mantenimiento. Estos límites aceptables son comúnmente llamados detonadores que alertan de una condición anormal.

2.2.7.1 Límites Basados en Metas.

Conocidos también como límites basados por objetivos se asignan al monitoreo de parámetros como la contaminación y así conseguir extender la vida útil de la máquina (Figura 22). Esta clase de límite es aplicado en nivel de humedad, conteo de partículas, dilución por combustible, contaminación con glicol, TAN y otras condiciones comunes de causa raíz de avería.

Figura 22

Límites basados en objetivos



Fuente: (Rojas, Engativá y Ramírez, 2019)

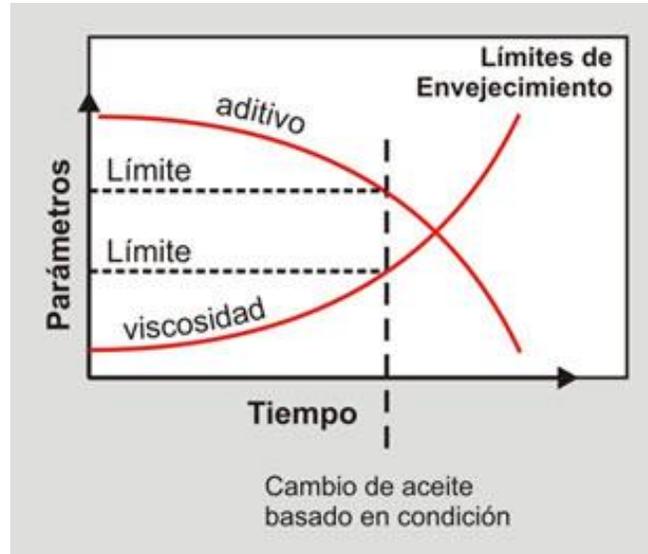
Estos límites basados en metas se aplican para minorar el estrés (por ejemplo, contaminación) en el lubricante y la máquina, conllevando a extender la vida útil en servicio y confiabilidad del equipo.

2.2.7.2 Límites de Envejecimiento.

Una de las alarmas proactivas se asocia con el envejecimiento constante de un lubricante. Todo comienza desde que el fluido se dispone a entrar en servicio, sus propiedades tanto químicas y físicas, se transforman apartándose de lo ideal como aceite nuevo. Los signos de degradación del aceite se denotan con límites de envejecimiento, y se aplican en efecto a parámetros como viscosidad, TAN/TBN, FTIR (nitración, oxidación, sulfatación y aditivos), espectrometría. Como muestra en la figura 23 el envejecimiento de parámetros de la viscosidad y aditivo, como el cambio de aceite fundamentado en la condición.

Figura 23

Cambio de aceite basado en condición



Fuente: (Rojas, Engativá y Ramírez, 2019)

Estos límites alertan a los responsables del acercamiento del fin de vida útil del aceite o componente de la maquinaria. Se muestra en la tabla 15 ejemplos de límites de parámetros basados en metas y envejecimiento.

Tabla 15

Parámetros basados en objetivos y envejecimiento

	Límites Objetivo/Meta (Sup.)		Límites de Envejecimiento		
	Alerta	Crítico		Alerta	Crítico
Limpieza	16/14/11	18/16/13	Viscosidad	5%	10%
Humedad	200	600	RPVOT	-30%	-60%
AN	0.2	0.4	FTIR-OX	0.3	1
Combustible	1.50%	5%	Zinc	-15%	-30%
Glicol	200 ppm	400 ppm	Calcio	-10%	-20%
Hollín	2%	5%	BN	-50%	-75%

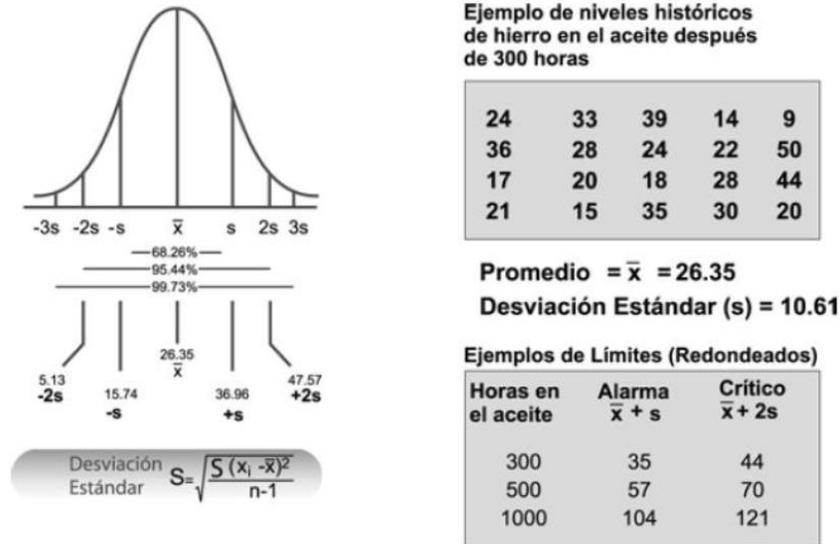
Fuente: (Rojas, Engativá y Ramírez, 2019)

2.2.7.3 Límites Estadísticos.

Llamadas también alarmas estadísticas, en el transcurso del tiempo se han empleado con efectividad en los análisis de aceite. Se necesita una cantidad idónea de información de la máquina que se requiere monitorear para conseguir provechosas conclusiones, los resultados reflejaran las condiciones reales de la máquina. El enfoque de estas alarmas es simple como se muestra en el siguiente ejemplo (Figura 24)

Figura 24

Enfoque de límites estadísticos



Fuente: (Rojas, Engativá y Ramírez, 2019)

2.2.7.4 Límites condenatorios.

Son límites generados por los fabricantes propio de las maquinarias (OEM) donde señala el nivel de criticidad de un aceite lubricante relacionado con la contaminación y midiendo la alteración de partículas de desgaste para su posterior cambio previo a las verificaciones recomendadas en sus manuales.

Tabla 16*Límites condenatorios de Caterpillar*

Elemento	Caterpillar	Und.
Hierro	100	PPM
Cobre	45	PPM
Plomo	100	PPM
Aluminio	15	PPM
Cromo	15	PPM
Estaño	20	PPM
Sodio	40	PPM
Boro	20	PPM
Silicio	10	PPM
Viscosidad	+ 20% a - 10%	cSt
Agua	0.25% máx.	% vol.
TBN	1	KOH/g.min.
Combustible	5% máx.	%
Glicol	0.1% máx.	%

Fuente: (Caterpillar, 2018)

2.2.8 Programas de servicios en análisis de aceite**2.2.8.1 Programa SOS SM de Caterpillar**

El programa S•O•S SM es un elemento de un monitoreo de condición, donde con su equipo se tiene la idea de poder implementar y así monitorear el impacto de su programa de mantenimiento. Además, dicho programa en conjunto con inspecciones regulares, análisis de las condiciones de la situación de su equipo, datos e historial de servicio, permitirán estimar la salud de su equipo.

2.2.8.2 Programa Smart Lab de Mobil

Smart Lab es un programa caracterizado por trabajar con equipos de alta tecnología, es una plataforma de manera fácil y eficiente de usar, la cual permite mejorar la productividad de tu empresa, obteniendo resultados precisos, extendiendo la vida útil de equipos y lubricantes, asimismo, que los costos minimicen.

2.2.8.3 Programa CheckOil de Shell

CheckOil es un programa de Shell, se relaciona con un servicio de vigilancia para saber el estado en el que se encuentra de aceite y así los equipos funcionen sin problema alguno, sirve como un sistema de alerta temprana, ayudándole a detectar posibles problemas en la maquinaria antes de que sean graves. Dicho servicio es operado por SGS, empresa multinacional certificada y reconocida a nivel mundial.

Con este programa, brindará un gran soporte a la empresa u organización a economizar tiempo y dinero en el mantenimiento y una posible pérdida de producción causada por las averías de los equipos. Después del análisis, el envío de reportes será dentro de dos días hábiles de recibida la muestra.

2.2.9 Metodología de Implementación plan de mantenimiento predictivo

En un sistema de mantenimiento predictivo la metodología para implementar se dispone de una secuencia de pasos que integran el proceso del mantenimiento como tal, por ello es que se describen en seguida, con el objetivo de actuar de manera óptima, y en virtud donde la implementación de este tipo de mantenimiento es de gran relevancia para los costos de una organización o empresa, es de manera fundamental implementar y conocer de manera idónea este mantenimiento, por consiguiente se logre los resultados deseados, determinando la condición de la máquina. (Sánchez, 2017)

Sánchez (2017), nos menciona que: “La metodología de trabajo para implantar un mantenimiento predictivo para sistemas mecánicos consta de siete pasos”, los cuales conforman un fin a cumplir alimentando de forma sucesiva los datos para la implementación, así menciona los siguientes pasos:

2.2.9.1 Análisis del sistema bajo estudio

Este primer paso procura identificar y efectuar una data de las maquinarias activas en el proceso de la organización, entonces se implementa este control a dichos equipos con mayor índice de dominio, asimismo en la medida que evoluciona la implementación del mantenimiento predictivo incrementará directamente en equipos por los cuales tiene identificados.

2.2.9.2 Selección adecuada de parámetros

Se lleva a cabo la recopilación de información de la maquinaria, pretendiendo elegir puntos que se requiera medir, así también dependerá del problema que se necesite detectar para elegir los parámetros en cada punto. Es de suma importancia efectuar la selección de límites aceptables de la situación de la maquinaria, ya que estos límites permitirán visualizar el registro del comportamiento de la maquinaria.

2.2.9.3 Recolección de datos

Mediante este paso se consigna la implementación del método del mantenimiento predictivo establecido para la maquinaria en observación, obteniéndose datos próximos a evaluación gracias a la herramienta de medición, donde se garantizará la credibilidad del registro de objetos de análisis.

2.2.9.4 Análisis e interpretación de datos

Los resultados ya obtenidos se obedecen a originar un informe de los mismos, con el objetivo de generar un filtro de los registros obtenidos para el estudio de puntos característicos y no todos los resultados de los puntos quienes se realizaron medidas. En este análisis se han avanzado distintas herramientas que cooperaran en la disminución de tiempos.

2.2.9.5 Evaluación de estado de equipo

Se determina en este quinto paso la condición de salud de la máquina, ya que se verificará el resultado del análisis de datos, sujeto al tipo de técnica empleada de mantenimiento se originan los espectros de comportamiento, allí se demuestra la falla o avería en la maquina examinada, y el lugar donde se ha originado.

2.2.9.6 Generación de avisos y toma de decisiones

Conforme al resultado el cual se evidencia la falla o avería, obedecerán a tomar la decisión de manera pertinente con el objetivo de disminuir tiempos, recursos tanto humanos como materiales, lo cual evitará al máximo que los costos de reparación sean incrementados a lo largo del tiempo, se efectúa el diagnóstico de la maquinaria.

2.2.9.7 Ordenes de trabajo y retroalimentación

En este último paso, luego de tener el diagnóstico de la máquina, se emite una orden de mantenimiento el cual se caracteriza de la máquina, la anomalía y la participación que debe ejecutarse. Consecutivo a esto se implementará y realizará una evaluación la cual se podrá comprobar la implementación y la buena condición de la maquina después de efectuada la intervención, asegurando el trabajo de la máquina de la mejor manera.

Figura 25

Pasos para implementación de mantenimiento predictivo



Fuente: Sánchez, 2017

2.2.10 Motor Diésel

Actualmente se emplean tanto en maquinarias pesadas como en camionetas, estos motores son de combustión interna, en el interior de los cilindros el combustible que emplean es el diésel, rociado por inyectores, se inflama con aire comprimido aproximadamente a una temperatura de 900°C, la mezcla de combustible y aire abarca una explosión expansiva donde empuja el pistón y el cigüeñal gire para que el mecanismo de transmisión se mueva y la maquina se ponga en marcha. Nuevas tecnologías automotrices hoy en día se tienen maquinarias más serenas, silenciosas y muy potentes.

Figura 26

Motor Diésel CAT



Fuente: Caterpillar, 2021

2.2.11 Indicadores de efectividad de Mantenimiento

Estos indicadores autorizan visibilizar el proceder operacional de los sistemas, instalaciones, dispositivos y equipos (ISED), además determina la calidad de los trabajos y el nivel de cumplimiento de planes de mantenimiento, igualmente permiten evaluar si estos planes están siendo eficientes o útiles para una buena gestión de mantenimiento, así se nombran los indicadores asociados como son:

2.2.11.1 TIEMPO PROMEDIO ENTRE PARADAS (MTBF)

Se relaciona al tiempo promedio que es idóneo de operar un ISED a capacidad necesaria sin discontinuidad dentro del tiempo estimado del estudio.

$$MTBF = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Número de paradas}}$$

2.2.11.2 TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR).

Se relaciona al tiempo promedio en que puede ser reparado un ISED. Es el tiempo en horas que se lleva a cabo desde que la máquina falla, hasta que nuevamente la máquina se sitúa en servicio. En otras palabras, las horas de fallas se tienen en cuenta igual al tiempo por reparar.

$$MTTR = \frac{\text{Horas de mantenimiento}}{\text{Número de paradas}}$$

2.2.11.3 DISPONIBILIDAD (D).

Se relaciona con la capacidad de un ISED para efectuar una función necesaria bajo condiciones específicas en un ciclo de tiempo determinado, admitiendo que los recursos pretendidos son suministrados

$$DM = \frac{MTBF * 100}{MTBF + MTTR}$$

DM: Disponibilidad Mecánica.

MTBF: Tiempo medio entre fallas.

MTTR: Tiempo medio por reparación.

2.2.11.4 UTILIZACION (U).

Establece el tiempo efectivo de operación de un ISED a lo largo de un periodo determinado.

2.2.11.5 CONFIABILIDAD (C).

Se relaciona a la probabilidad de que un ISED pueda ejecutar una función necesaria en un periodo determinado

2.3 Conceptos generales

2.3.1 Implementación. La implementación constituye la realización de determinados procesos y estructuras en un sistema.

2.3.2 Mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite. El mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite es un método que ayuda a determinar los períodos óptimos de sustitución del lubricante y las causas que estén originando su degradación y contaminación.

2.3.3 Disponibilidad. Es una métrica que permite evaluar el rendimiento de los elementos que efectúan una función determinada, en un momento determinado, a lo largo de un determinado período, en servicio de criterios de soporte, confiabilidad y mantenibilidad para el mantenimiento de la máquina.

2.3.4 Informe de laboratorio. Existen muchos laboratorios donde es muy importante la certificación de ellos, cuya operación lo realizan con equipo altamente sofisticados y así determinar la condición del aceite, como es su degradación, aditivos y su contaminación, etc. Efectuándose con mucha precisión, hasta una exactitud de 0.0001%. Relacionándose con la base de datos y reportándose situaciones críticas, con el propósito de que el usuario pueda interpretarlo y emplearlo para compararlo con su propio benchmark.

2.3.5 Cargador Frontal. Maquinaria empleada para la operación de carguío de materiales en camiones o volquetes, específicamente en grandes construcciones, mineras, túneles, presas hidráulicas y empresas Agroindustriales, cuyas versiones son de tren de engranaje y de rueda, siendo los de rueda los más comunes, tienen un cucharón en su extremo frontal, brazos de levante y contrapeso que permite soportar de una manera óptima la carga.

2.4 Definición de términos básicos

- AGMA: Asociación Estadounidense de Fabricantes de Engranajes
- API: Instituto Americano del Petróleo
- ASTM: Asociación Americana de Ensayo de Materiales
- Centistokes: Submúltiplo de Stokes, es decir, la unidad de medida de la viscosidad cinemática de un fluido en el sistema cegesimal. Equivale a la centésima parte de un Stokes y se emplea mucho en el caso de aceites lubricantes.
- Frecuencia de cambio de aceite: El cambio de aceite es una operación habitual del mantenimiento del automóvil y se debe realizar regularmente para garantizar el buen funcionamiento del vehículo, así como su duración.
- FTIR: infrarrojos por transformada de Fourier y es el método preferido para la espectroscopía de infrarrojos. Cuando la radiación de infrarrojos alcanza una muestra, parte de la radiación es absorbida por la muestra y otra parte la atraviesa (se transmite).
- MTBS (Mid Time Between Failure): Tiempo medio entre paradas.
- MTRR (Mid Time To Repair): Tiempo medio para reparar.
- OEM Original Equipment Manufacturer
- SAE: Sociedad de Ingeniero Automotrices
- TBN: Number Total Basic

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

3.1.1.1 Investigación aplicada

La tesis se trató de una investigación aplicada, esta investigación se define como el estudio realizado para resolver determinados problemas o planteamientos, buscando la aplicación o utilización de conocimiento con el propósito de aplicarlo en la vida real.

3.1.2 Diseño de investigación

3.1.2.1 Investigación descriptiva

Esta investigación se realiza cuando el objetivo es describir una situación problemática, se genera a partir de la recopilación y análisis de los datos obtenidos, logrando proporcionar información sobre el porqué y el cómo de la investigación.

3.2 Población

Para el presente trabajo de investigación la población está constituida por el total de maquinaria utilizado de forma específica en las actividades realizadas por la empresa Agroindustrial S.A. (Olmos, Lambayeque).

3.3 Muestra

Está representada por el equipo 208R, cargador frontal CAT 962H, siendo objetos de estudios para la investigación del presente proyecto, que consiste extraer aceite para el análisis respectivo. El cual se realizaron una cantidad de 6 muestras de aceite en el año 2021 y 3 muestras de aceite en el año 2022.

3.4 Hipótesis

En la elaboración del plan de mantenimiento predictivo realizando el muestreo de aceite del sistema motor, para su envío a laboratorio, se establecieron límites condenatorios para la salud contaminación y desgaste, logrando mejorar la disponibilidad actual de la máquina de un 83 % a un 89%, estando por encima de los límites de disponibilidad establecido a nivel corporativo en la empresa.

3.5 Operacionalización de Variables

Tabla 17

Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Indicadores	Instrumentos
<p><u>Variable dependiente</u> Disponibilidad Mecánica</p>	<p>Está definida como la relación entre las horas trabajadas y las horas usadas en reparación para un periodo determinado.</p>	<p>Horas de operación y de mantenimiento (h).</p>	<p>Horómetro del equipo.</p>
<p><u>Variable independiente</u> Plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite.</p>	<p>Es una herramienta del mantenimiento que se utiliza para descubrir, aislar y ofrecer soluciones ante situaciones anormales de aceite (salud, contaminación) y condición de las máquinas.</p>	<p>-Relación de los componentes del cargador frontal CAT 962H. -Muestras de aceite por cada componente del equipo. -Gráficos comparativos mediante la técnica SACODE. -Capacitaciones del personal de mantenimiento.</p>	<p>-Ficha técnica del cargador frontal CAT 962H. -Análisis de laboratorio de muestras de aceite. -Aplicación de la técnica SACODE. -Capacitaciones al personal para mejorar la recolección de muestras de aceite.</p>

Fuente: Elaboración propia

3.6 Métodos y técnicas de Investigación

Método de investigación

El método sintético se entiende como aquel método que se basa en analizar y sintetizar la información recopilada, permitiendo estructurar ideas (Maya, 2014). En el presente proyecto se ha utilizado la información obtenida de análisis de aceite de los diferentes sistemas de los cargadores frontales para luego programar ordenes de inspección y elaborar el plan de mantenimiento predictivo, mejorando la disponibilidad de los mismos.

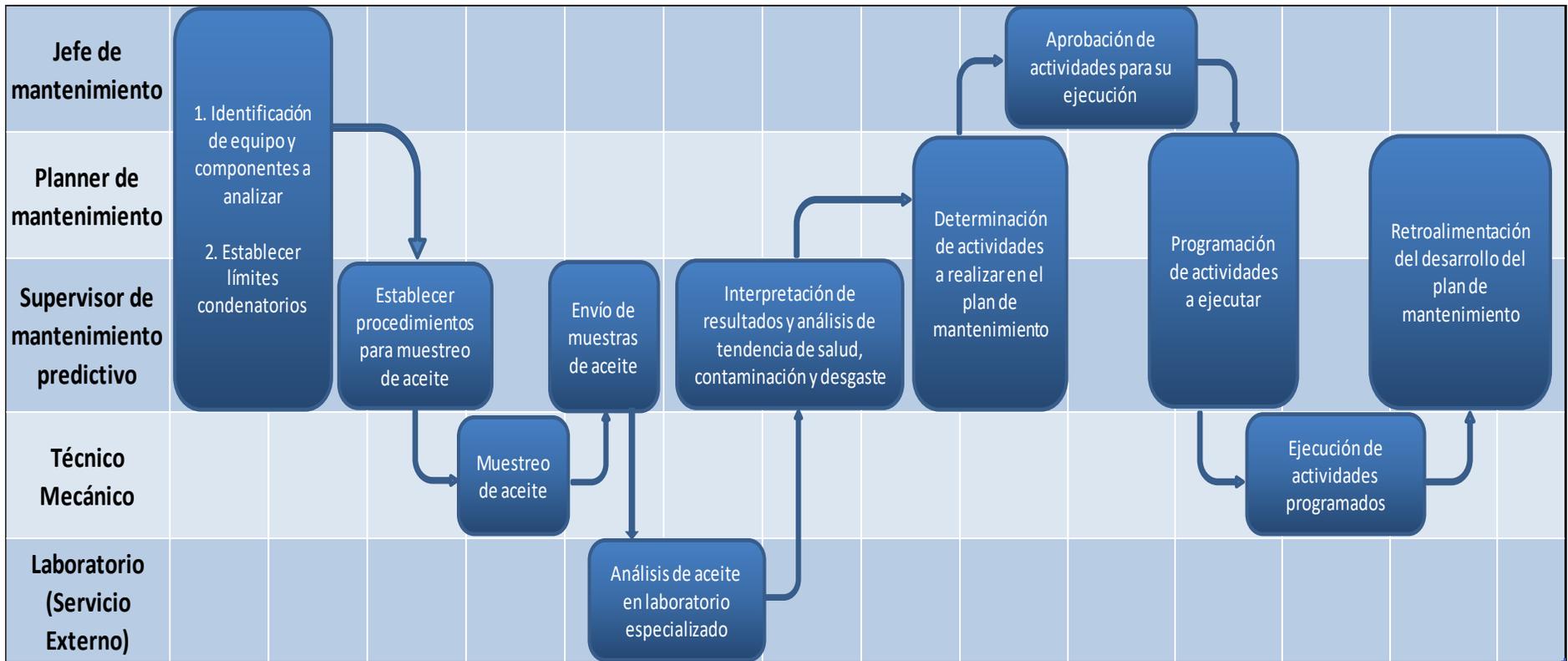
Las técnicas utilizadas son las siguientes:

- a) Observación: Se observó detenidamente la operación de los cargadores frontales CAT 962H, llegadas a taller por averías, recolección de muestras de aceite.
- b) Análisis de contenido: Se realizó una recopilación de documentos técnicos, resultados de análisis de muestras de aceite mediante reportes emitidos por Smart Lab de Mobil, CheckOil y registro de ordenes por averías extraídas del SAP.

En base al método sintético, el área de mantenimiento de la empresa Agrolmos ha definido la metodología de trabajo para realizar el análisis de aceite al sistema motor del Cargador Frontal CAT 962H. Dicha metodología consiste en una secuencia de procesos estructurados expuesto en la **Figura 27** en un flujograma de trabajo.

Figura 27

Metodología de Trabajo para el mantenimiento predictivo Análisis de Aceite



Fuente. Elaboración Propia

A continuación, se resume cada proceso perteneciente a la metodología para realizar el análisis de aceite.

1. Identificación del equipo y componentes a analizar
2. Historial y estado general del equipo
3. Muestreo de aceite y envío de muestras
4. Análisis de aceite - Laboratorio CheckOil
5. Interpretación de resultados y análisis de tendencias
6. Determinación de tareas de mantenimiento a aplicar
7. Retroalimentación de históricos

1. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPO Y COMPONENTES A ANALIZAR

Se identificará el equipo a aplicar el plan de mantenimiento predictivo, así también los componentes donde se realizará el monitoreo y evaluación mediante los análisis de aceite

Equipo para monitoreo:

Cargador Frontal CAT 962H



Componentes para análisis:

Motor

2. HISTORIAL Y ESTADO GENERAL DEL EQUIPO

_El historial del equipo será muy necesaria para determinar las tareas o actividades que se aplicarán.

_El estado general del equipo será información fundamental para la toma de acciones

Historial de equipo

El historial de equipo se registra en el sistema SAP PM, sistema informático de gestión empresarial de módulo PM que abarca en este caso el mantenimiento de planta y sirve para la gestión de mantenimiento

Estado general de equipo

Es el estatus que se basa en la situación encontrada del equipo

3. MUESTREO DE ACEITE ENVÍO DE MUESTRAS

La extracción de muestras es un paso relevantemente importante por lo que es sujeto a una muestra buena y evitar errores en la toma de decisiones por un incorrecto muestreo

El personal que realizará la muestra sera un técnico mecánico capacitado en temas de un correcto de muestreo de aceite y con buenos conocimientos.

Frecuencia de muestreo de aceite

La frecuencia de muestreo de aceite para el componente motor será cada 500 horas o por condición del aceite. Si se indicara realizar el muestro para los componentes de transmision, mandos finales y diferenciales, la frecuencia sería cada 250 horas

Herramientas a utilizar para muestras de aceites

1. Bomba de vacío
2. Manguera para muestreo
3. Frascos para muestreo
4. Etiquetas para muestreo de aceite
5. Guantes quirúrgicos para muestreo
6. Trapo industrial
7. Herramientas limpias (Llaves, dados, entre otros)

Envío de muestras (Etiqueta para muestra)

Consideraciones al enviar las muestras de aceite

1. Horómetro de equipo
2. Tipo de aceite
3. Horas de aceite
4. Información de cambio de aceite y filtros
5. Fecha de muestreo
6. Razón de muestreo (Por tipo de PM o monitoreo de aceite)

PASOS PARA EXTRACCIÓN DE UNA CORRECTA MUESTRA

MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR VACÍO

Este tipo de muestra requiere una bomba de vacío, utilice una manguera nueva para cada equipo, a la vez es muy indispensable desechar la manguera utilizada para evitar contaminar otras muestras.

Paso 1. Con el motor apagado, se corta la manguera a la medida del largo de la varilla medidora, si el compartimento del sistema no tiene una varilla medidora, corte la manguera a la medida que alcance la mitad de profundidad del aceite



Paso 2. Introduzca la manguera en la cabeza de la bomba de vacío, ajuste la tuerca de retención y se extenderá la manguera aproximadamente 4 cm por debajo de la base del cabezal de la bomba de vacío



Paso 3. Enrosque un frasco a la bomba de vacío e introduzca el extremo de la manguera en el sumidero del aceite sin que toque el fondo



Paso 4. Coloque siempre la bomba verticalmente y tire la manija de la bomba para generar un vacío, luego llene $\frac{3}{4}$ de su capacidad del frasco para muestra



Paso 5. Retire la manguera del compartimento, desenrosque el frasco de la bomba de vacío, tape el frasco sin contaminarlo y, por último, registre los datos correctos en la etiqueta del frasco para enviarlo a laboratorio

DATOS NECESARIOS QUE SE DEBE REGISTRAR EN UNA MUESTRA DE ACEITE



FRECUENCIA DE CAMBIO Y TIPO DE ACEITE

COMPONENTE	TIPO DE ACEITE	FRECUENCIA
Motor Diesel	Shell Rimula R5 E 10W40	500H

4. ANÁLISIS DE ACEITE - LABORATORIO CHECKOIL

Las muestras de aceite serán analizadas por un laboratorio especializado (servicio externo), para el presente proyecto se trabaja con CheckOil de Shell

Consideraciones para tomar en cuenta

- _El laboratorio debe ser certificado, de buena calidad y confiable
- _La recepción de resultados debe ser en el tiempo mínimo posible para poder precisar las fallas a tiempo

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE TENDENCIAS

_La Interpretación de los resultados sera de alto interés para efectuar los trabajos posteriores a realizarse en el equipo.

_De acuerdo con la siguiente tabla de límites condenatorios, respecto al componente podemos identificar algo fuera de lo normal mediante los valores de condición del aceite, produciendose alguna contaminación o desgaste anormal.

Tabla de límites condenatorios

COMPONENTE	CATEGORÍA	PROPIEDAD	UNIDAD DE MEDIDA	VALORES DE CONDICIÓN DEL ACEITE		
				NORMAL	ATENCIÓN	ACCIÓN
MOTOR	SALUD	Viscosidad de aceite a 100°C	cSt	12.69 a 15.51	-	-
		Oxidación de aceite	abs/0.1mm	< 0.2	0.2 - 0.3	> 0.3
		TBN de aceite	mg KoH/g	> 6	6 - 4	< 4
	CONTAMINACIÓN	Contenido de hollín en aceite	abs/0.1mm	< 0.7	0.7 - 1	> 1
		Contenido de Silicio en aceite	PPM	< 20	20 - 30	> 30
		Contenido de Potasio en aceite	PPM	< 25	25 - 30	> 50
		Presencia de agua	% vol	-	-	-
	DESGASTE	Contenido de hierro en aceite	PPM	< 70	70 - 100	> 100
		Contenido de cobre en aceite	PPM	< 20	20 - 45	> 45
		Contenido de aluminio en aceite	PPM	< 15	15 - 30	> 30
		Contenido de cromo en aceite	PPM	< 15	15 - 30	> 30
		Indice PQ en el aceite	adimensional	< 35	35 - 70	> 70

Condición de estado de aceite

CONDICIÓN	COLOR	DESCRIPCIÓN
NORMAL		Resultado de análisis de aceite dentro de los parámetros normales
PRECAUCIÓN		Resultado de análisis de aceite donde se encuentra por encima de los valores normales, procediendo a realizar un monitoreo continuo y detectar la falla antes de pasar a una condición más grave.
ALERTA		Resultado de análisis de aceite en un estado de alerta teniendo que realizar acciones inmediatas antes de que falle la máquina

6. DETERMINACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO

Posterior al análisis de aceite se procede a programar las tareas conforme al estado de evaluación del aceite

Condición de estado de aceite

NORMAL

No se necesita explicación alguna, solo se tiene en cuenta que el equipo está en buenas condiciones y gracias a ello se evita realizar desmontajes o trabajos innecesarios.

ATENCIÓN

En esta condición se tiene específicas recomendaciones de mantenimiento o una notificación que se tiene alguna contaminación o desgaste anormal. Por ejemplo recomendando cambiar los filtros o el aceite, dando comentarios que indiquen presencia de desgaste anormal de los pistones, entre otros. No es necesario desmontar el equipo, solo se recomienda realizar el mantenimiento adecuado y darle seguimiento continuo.

ACCIÓN

Esta condición se utiliza para señalar un estado crítico por alguna anomalía o falla, donde se dará a conocer el origen del problema, del cual se brindará recomendaciones para las acciones de mantenimientos con una atención inmediata.

7. RETROALIMENTACIÓN DE LOS HISTÓRICOS (INFORMES)

Luego de haber tomado acciones frente a la presencia de estados críticos y anomalías se obedecerá a registrar esta información y obtener un historial de la máquina

Cabe resaltar que los indicadores, que son resultados de los ensayos, pruebas y conteos de partículas realizados en el análisis de aceite, están regidos por las normativas American Society for Testing Materials (ASTM) e International Organization for Standardization (ISO), las cuales presentan los métodos de realización de pruebas, presentes en la Tabla 18.

Tabla 18

Normativa en pruebas de Análisis de Aceite

Metodología SACODE	Indicadores	Normativa
Salud	Viscosidad	ASTM D 7279-18
	Oxidación	ASTM E 2412
	TBN	SGS - OGC - ME -03
	Hollín	ASTM E 2412
Contaminación	Silicio	ASTM D 5185
	Potasio	ASTM D 5185
Desgaste	Hierro	ASTM D 5185
	Aluminio	ASTM D 5185
	Cobre	ASTM D 5185

Fuente. Elaboración Propia

3.7 Descripción de los instrumentos utilizados

La Tabla 19 muestra la instrumentación y equipos necesarios para la implementación del análisis por aceite de acuerdo a las fases del flujograma de la metodología de trabajo expuesta en la sección Método de Investigación. Cabe resaltar que los equipos en la fase de análisis de aceite son estándar propuestos por la norma. En la empresa agroindustrial Agrolmos S.A., dicha fase la realiza un servicio externo, y el equipamiento puede variar.

Tabla 19*Técnica e instrumentos utilizados*

Etapas	Instrumentos
Inspección	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de Inspección de Equipos • Cámara fotográfica • Tablilla • Lapicero
Muestreo de Aceite	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba de vacío • Manguera • Depósito de muestra • Trapo Industrial • Cutter • Herramientas limpias (llaves, dados, etc.)
Análisis de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> • Espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FT IR) / ASTM E 2412 • Celda de muestreo de transmisión de líquido infrarrojo / ASTM E 2412 • Viscosímetro Automático / ASTM D 7279-18 • Espectrofotómetro de emisión óptico con plasma de acoplamiento inductivo (ICP OES) / ASTM D 5185
Reporte de Estado	<ul style="list-style-type: none"> • Reporte de análisis de aceite - Servicio Externo
Interpretación de Resultado	<ul style="list-style-type: none"> • Informe de Estado y Plan de Ejecución de Mantenimiento • Tabla de Límites Condenatorios y Condición de estado de aceite

Fuente: Elaboración propia

3.8 Análisis Estadístico e Interpretación de los Datos

La información obtenida en el presente trabajo de investigación, como son los datos de resultados de análisis de aceite son registrados en el MS Excel 2019, además se han elaborado gráficos para representar la contaminación, salud y desgaste del aceite, gracias a ello se ha podido dar respuestas al problema planteado.

3.9 Análisis económico

En este apartado se va analizar el aspecto económico para la implementación del plan de mantenimiento predictivo, mediante el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Rendimiento (TIR), con el objetivo de determinar los beneficios económicos del proyecto.

-VAN (Valor Actual Neto): Es un parámetro que permite estimar la rentabilidad de un proyecto, cuyo calculo es mediante la formula adjunta (Blank & Tarquin, 2012).

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{Q_i}{(1+r)^i} \quad (3.9.1)$$

siendo:

$I_0 =$ inversión inicial

$n =$ número de periodos

$Q_i =$ flujo de caja en el periodo i

$r =$ tipo de interés o tasa de descuento

-TIR (Tasa interna de rendimiento): Es la tasa de descuento con la que el VAN=0, en cuanto mayor TIR, mayor rentabilidad, por consiguiente, si el TIR es superior que la tasa de descuento aplicado en el VAN, el proyecto es factible (Blank & Tarquin, 2012).

$$0 = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{Q_i}{(1+TIR)^i} \quad (3.9.2)$$

3.9.1 Cálculo de costo total horario

El mencionado cálculo está basado en la norma técnica: “Elementos para la determinación del costo horario de los equipos y la maquinaria del sector construcción” (2010), donde indica que el costo horario de operación y de posesión de la maquinaria, se puntualiza como la cantidad de dinero necesario que permita ejecutarla y apropiarla, así como el beneficio percibido por producción.

Para llevar a cabo dicho cálculo, también se tendrá en cuenta diversos criterios que se han utilizado del sector agroindustrial, cuyas condiciones aproximadas provienen del trabajo de análisis y de la data maestra brindada por el supervisor de operaciones a cargo de la maquinaria.

3.9.1.1 Conformación de Costo Horario de maquinaria.

-Costo de Posesión. Se constituye de los siguientes componentes:

- **Valor de adquisición:** Precio de la maquinaria en el mercado nacional o extranjero.
- **Vida económica útil:** Periodo de trabajo de maquinaria con buen rendimiento económico.
- **Valor de recuperación o salvataje:** Valor de reventa después de su vida económica útil, para

su cálculo se presenta la fórmula:

$$Vr = C(e^{-0.25})^n \quad (3.9.1.2)$$

donde:

Vr = Valor de rescate

C = Valor de adquisición

n = Vida útil económica en años

se incluye que la maquinaria sufre una devaluación por el desgaste de su propio trabajo, esto se denomina Depreciación, cuya fórmula se define en lo siguiente:

$$D = \frac{Va - Vr}{VEUht} \quad (3.9.1.3)$$

donde:

IMA = *Inversión Media Anual*

Va = *Valor de adquisición*

Vr = *Valor de rescate*

VEUht = *Vida Económica Útil de máquina en horas totales anuales trabajado*

- **Inversión media anual:** Importante inversión, donde se busca un valor de acuerdo al rendimiento en el transcurso de su vida económico útil, para que por medio de ella se calcule el interés invertido del capital, impuestos, costo de seguro y almacenaje,

$$IMA = \frac{Va(n + 1)}{2n} \quad (3.9.1.3)$$

donde:

n = *años de la Vida Económica Útil*

- **Interés de capital invertido:** Toda empresa que compra una máquina con capital propio o financiado se le carga un interés de la inversión, su fórmula del cálculo horario del interés es:

$$I = \frac{IMA \times \%i}{VEUha} \quad (3.9.1.4)$$

donde:

I = *Interés horario de capital invertido*

IMA = *Inversión media anual*

i = *Tasa de interés anual para el tipo de moneda a usar (TAMN)*

VEUha = *Vida Económica Útil de maquinaria en horas anuales de trabajo*

- **Seguros:** Tasa anual que paga el propietario a la compañía de seguros para la protección de cualquier riesgo a la maquinaria.
- **Almacenaje:** Afiliado con el costo de vigilancia, seguridad y almacén de la maquinaria en horas fuera de trabajo.

Se atribuirá la fórmula próxima para el cálculo de costo horario por impuestos, seguros y almacenaje:

$$\text{Costo horario}_{\text{imp,seguro y almacenaje}} = \frac{\text{IMA} \times (\Sigma \text{ de tasas anuales})}{\text{VEUha}} \quad (3.9.1.5)$$

donde:

IMA = *Inversión Media Anual*

$\Sigma_{\text{tasas anuales}}$ = *Tasas de impuestos anuales, por posesión de maquinaria, primas de seguros anuales y el % de almacenaje*

VEUha = *Vida Económica Útil de maquinaria en horas anuales de trabajo*

-**Costo de operación:** Compuesto por la suma de costos de mantenimiento y reparaciones, lubricantes, combustible, filtros.

-**Costo de producción:** Costo que será analizado por la cantidad de bagazo necesario que carga el cargador frontal 962H para la producción de compost o abono.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a la problemática expuesta en el ingenio de Agrolmos S.A., con la finalidad de aumentar la disponibilidad del cargador frontal CAT 962H se ha implementado el mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite.

Al tener la disponibilidad del cargador frontal CAT 962H por debajo del límite establecido por la empresa (85%) además de los resultados obtenidos del muestreo de sistema motor del periodo 2021 de salud, desgaste y contaminación del lubricante, se planifico y programo un plan de acción para los estados de atención y acción. Posterior ejecución del plan de acción se volvió a realizar los muestreos en el sistema motor logrando mejorar el estado de aceite motor.

La presente tesis se enfocará a implementar un plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite para aumentar la disponibilidad del cargador frontal CAT 962H, con el fin de disminuir los mantenimientos correctivos, paradas inopinadas e incrementar la disponibilidad.

Para ello se ha tenido que recabar información de diversas fuentes, como el envío de muestras a laboratorio y recopilar los resultados del análisis respectivo para poder realizar los planes de acción.

En la referida implementación se obtendrá un análisis económico donde se considerará un costo de inversión inicial, para luego calcular el beneficio útil mediante una mayor disponibilidad de la maquinaria, consiguiendo así los valores del VAN y el TIR donde garantice un beneficio económico.

Aclarando todos los puntos anteriormente descritos, se procede al análisis e interpretación de los resultados en el siguiente capítulo.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

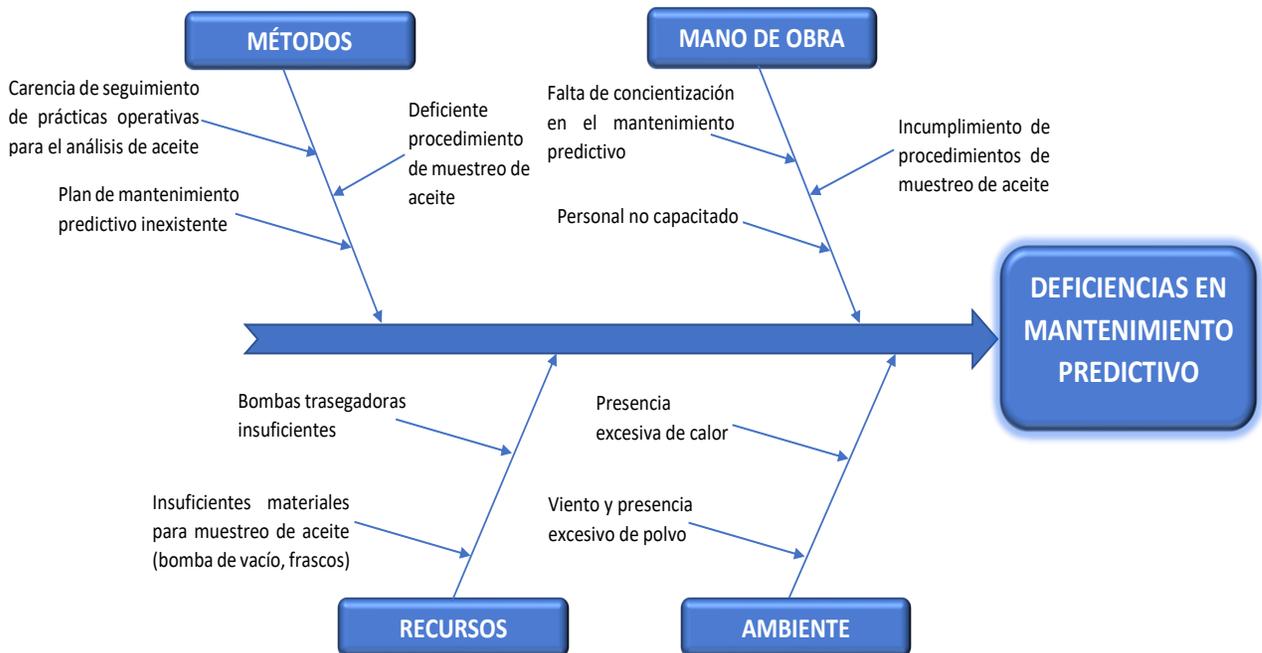
5.1 Descripción de la situación actual del Equipo

El cargador frontal CAT 962H propia de la empresa Agroindustrial Agrolmos S.A. con código interno 208R, es un equipo clave para trabajos de carguío en el área de fábrica donde se procesa diariamente azúcar a base de la caña, dicho equipo permite transportar el residuo del proceso como es el bagazo, para la producción de compost dentro del ingenio, entre otros materiales, por esta razón es indispensable tener mucha cautela en las paradas efectuadas, y así obtener la disponibilidad necesaria que es requerida.

A continuación, se presentan diversas deficiencias del mantenimiento predictivo del cargador frontal CAT 962H:

Figura 28

Deficiencias de mantenimiento predictivo



Fuente: Elaboración propia

La disponibilidad promedio era de 83% entre las semanas de noviembre a diciembre del 2021, debido a constantes averías suscitadas en el transcurso de los meses, realizando paradas inesperadas como sobrecalentamiento de motor, relleno de aceite, entre otros, todo ello sin aplicar un plan de mantenimiento predictivo, dicho porcentaje no alcanzaba a la meta corporativa de la empresa de 85%.

En la tabla siguiente, se desarrolla la disponibilidad mencionada, donde se muestra las horas recorridas, cuyos datos fueron extraídos mediante el registro de data de horómetros (Microsoft Excel) que se tiene semanalmente; además de las horas paradas relacionado con el número de paradas inesperadas por continuas averías registrados en SAP PM, para luego hallar mediante formula el MTBF y MTTR, obteniendo como resultado la disponibilidad requerida.

Tabla 20

Disponibilidad de Cargador Frontal CAT 962H

Equipo	N° Semana	Horas recorridas	Horas paradas	N° de paradas	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD	META
Cargador Frontal CAT 962H	45	45.6	9	7	6.5	1.3	83.5%	85%
	46	49.3	10	8	6.2	1.3	83.1%	85%
	47	65.7	10	6	11.0	1.7	86.8%	85%
	48	40.9	10	9	4.5	1.1	80.4%	85%
	49	67.7	14	7	9.7	2.0	82.9%	85%
	50	69.8	14	8	9.3	1.8	84.1%	85%
	51	68.4	12	11	6.2	1.1	85.1%	85%
	52	50.1	12	7	7.2	1.7	80.7%	85%
PROMEDIO							83.2%	85%

Fuente: (SAP PM, 2021)

5.2 Evaluación general de equipo

El cargador frontal CAT 962H con código interno 208R, se controla mediante horas motor, teniendo a comienzos del estudio un horómetro de 15338 hrs. Presenta los siguientes componentes los cuales se evaluarán los más críticos según análisis de aceite.

Tabla 21

Componentes del equipo CAT 962H

ITEM	COMPONENTES
A	Motor
B	Transmisión
C	Diferencial delantero
D	Diferencial posterior
E	Mando final delantero RH y LH
F	Mando final posterior RH Y LH

Fuente: (Caterpillar, 2021)

Se seleccionó el sistema motor para el análisis de aceite debido a su funcionamiento exigente durante la operación, por ser además uno de los sistemas con mayor cantidad de condición crítica.

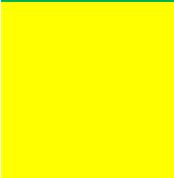
Además, en los componentes de transmisión, diferenciales y mandos finales, no se encontró ningún historial de análisis de aceite, por ello no se tomará en consideración para la evaluación, ya que no habría ninguna comparativa.

5.3 Condición de análisis de aceite

Mediante el resultado de un análisis de aceite se muestra una condición o estado, donde se posibilita a determinar alguna falla o anomalía que la máquina puede estar revelando; es un gran aporte, por consiguiente, es de suma importancia tener el estado actual en cada compartimento del cargador frontal CAT 962H.

Tabla 22

Condiciones del análisis de aceite

CONDICIÓN	COLOR	DESCRIPCIÓN
NORMAL		Resultado de análisis de aceite dentro de los parámetros normales por debajo del límite de precaución
ATENCIÓN		Resultado de análisis de aceite donde se encuentra por encima del límite de advertencia, procediendo a realizar un monitoreo continuo y detectar la falla antes de pasar a una condición más grave.
ACCIÓN		Resultado de análisis de aceite en un estado de alerta, valor que excede el valor crítico teniendo que realizar acciones inmediatas antes de que falle la máquina

Fuente: CheckOil Shell, S.F

5.4 Análisis de aceite de cargador frontal CAT 962H

El análisis del cargador frontal CAT registrado en la empresa Agroindustrial internamente con código 208R, fueron realizados en el año 2021 por el servicio de Smart Lab de Mobil, por el uso de sus mismos lubricantes; después de ello a inicios de 2022, la empresa tomo la decisión de migrar totalmente a lubricantes Shell. Solo en el caso del sistema motor se cambió de un aceite mineral Mobil Delvac MX ESP 15W-40 a un aceite semisintético Shell Rimula R5 E 10W-40, además se extendió la frecuencia de 350 horas a 500 horas por cada mantenimiento, esto fue considerado por los técnicos de soporte de Shell para alargar la frecuencia de horas en sus mantenimientos preventivos y para aplicar un mejor lubricante a dicho sistema, teniendo como servicio CheckOil para el análisis y resultados de las muestras de aceite.

Durante el año 2021, si bien es cierto se tenía un servicio para el análisis, pero no se le tomaba la importancia necesaria, teniendo un gran número de resultados en condición de atención y acción.

A partir del año 2022, teniendo un nuevo lubricante y de mejor calidad para el sistema motor se optó por implementar el plan de mantenimiento predictivo mediante el análisis de aceite.

Por lo dicho anteriormente, se muestra a continuación los gráficos de tendencias realizando una comparativa del antes y después de implementar dicho plan de mantenimiento:

5.4.1 Motor

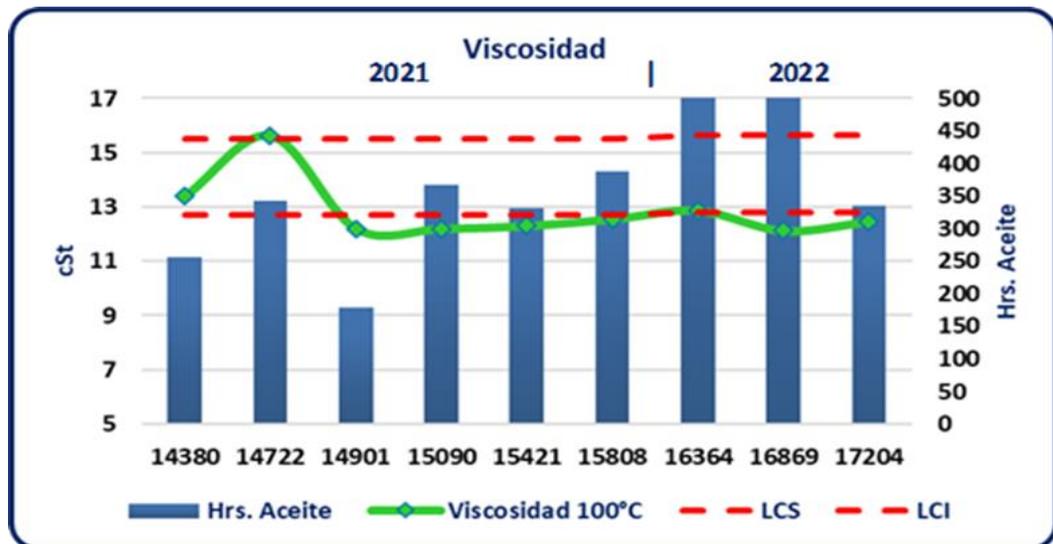
Es el componente más importante del cargador frontal, ya que diariamente realiza trabajos de operación sobre exigentes, por el cual es indispensable realizar un análisis del aceite que lo lubrica, es así que al obtener los resultados de dicho análisis se podrán tomar acciones inmediatas alargando la vida útil del componente, por tal motivo se efectuará la comparativa antes y después de la implementación aplicando el análisis de aceite mediante la técnica SACODE (Salud, Contaminación y Desgaste) que se muestra en los gráficos siguientes:

5.4.1.1 Salud de lubricante

Viscosidad

Figura 29

Tendencia de la viscosidad de aceite motor



Fuente: Elaboración propia

En la tendencia de la viscosidad, se observa dos límites, límite crítico superior (LCS) y límite crítico inferior (LCI), donde lo ideal para un estado normal es que las cantidades de Centistokes se encuentren entre dichos límites, ni por encima ni por debajo de los límites mencionados.

En los resultados del año 2021, con el servicio Smart Lab de Mobil, la viscosidad de aceite motor se encontró con diversas variaciones en estado de alerta teniendo resultados fuera de los parámetros normales, tanto como viscosidades altos y bajos, la viscosidad alta fue debido a la oxidación del aceite, la viscosidad baja por la presencia de dilución con combustible.

En los resultados, comienzos del año 2022, ahora con el servicio de CheckOil, y aplicando el plan de mantenimiento predictivo que consistió en la inspección sellos, realizando el cambio de los mismos, debido al deterioro y mal estado, con el fin de obtener la viscosidad dentro de los parámetros normales.

Oxidación

Figura 30

Tendencia de la oxidación de aceite motor



Fuente: Elaboración propia

En este gráfico se aprecia dos límites, límite de precaución superior (LPS) y límite crítico superior (LCS), cuyo objetivo es que permanezcan por debajo de dichos límites para así ser representado como un estado normal.

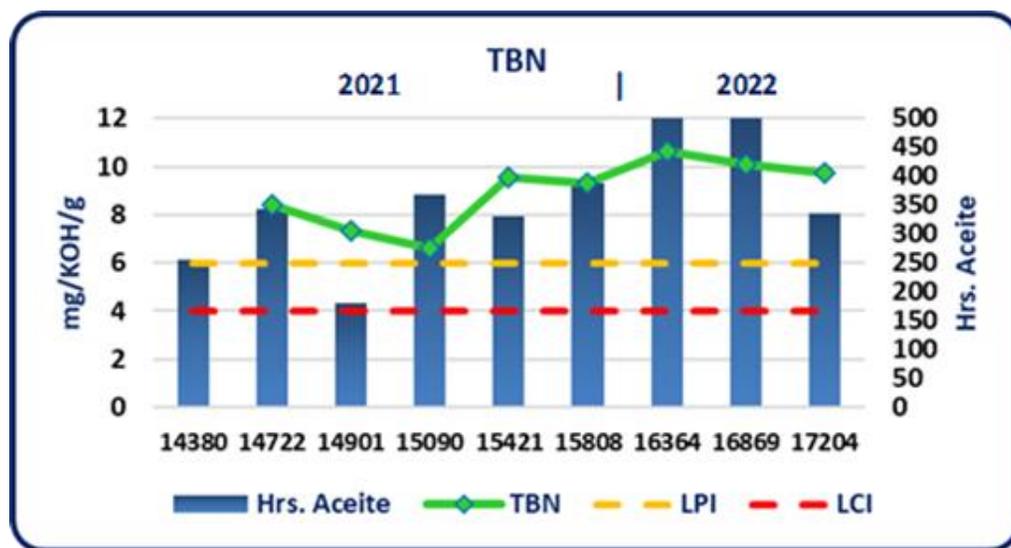
Se denota que a principios del 2021 la oxidación tuvo ligeras variaciones, debido a sobrecalentamientos de motor.

Luego en el año 2022, se visualiza que la oxidación se mantiene dentro de sus límites aceptables.

TBN

Figura 31

Tendencia del TBN de aceite motor



Fuente: Elaboración propia

En la tendencia del TBN se aprecia dos límites, límite de precaución inferior (LPI) y límite crítico inferior (LCI), lo cual el TBN adecuado se debe mantener por encima de los límites y no tener un nivel de TBN extremadamente bajo.

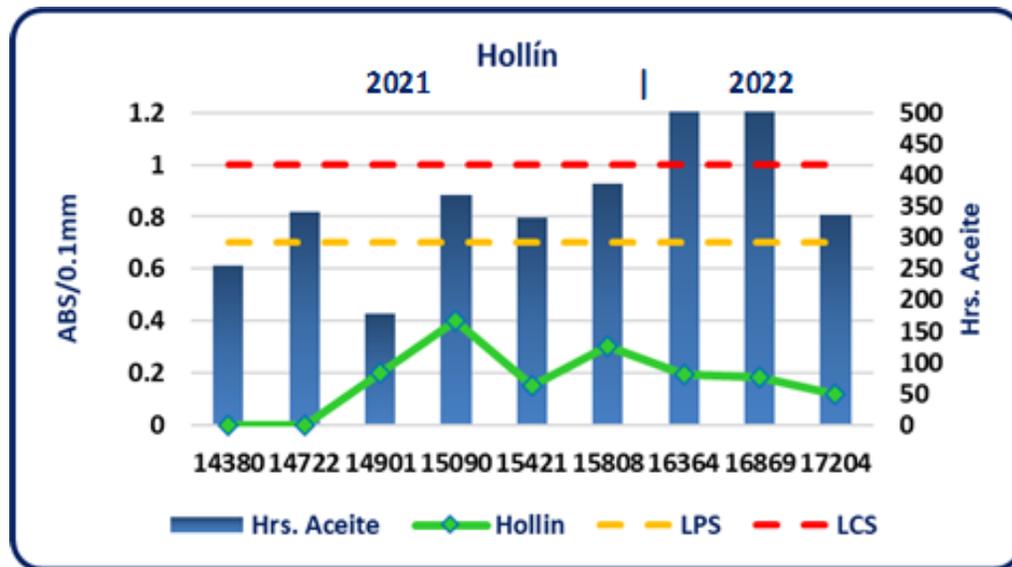
En ambos años, se compara que el TBN permaneció dentro de sus parámetros normales.

En los últimos 3 resultados se obtuvo un mayor TBN por el tipo de aceite semisintético, a comparación del aceite mineral que se utilizaba con menor TBN.

Hollín

Figura 32

Tendencia de Hollin de aceite motor



Fuente: Elaboración propia

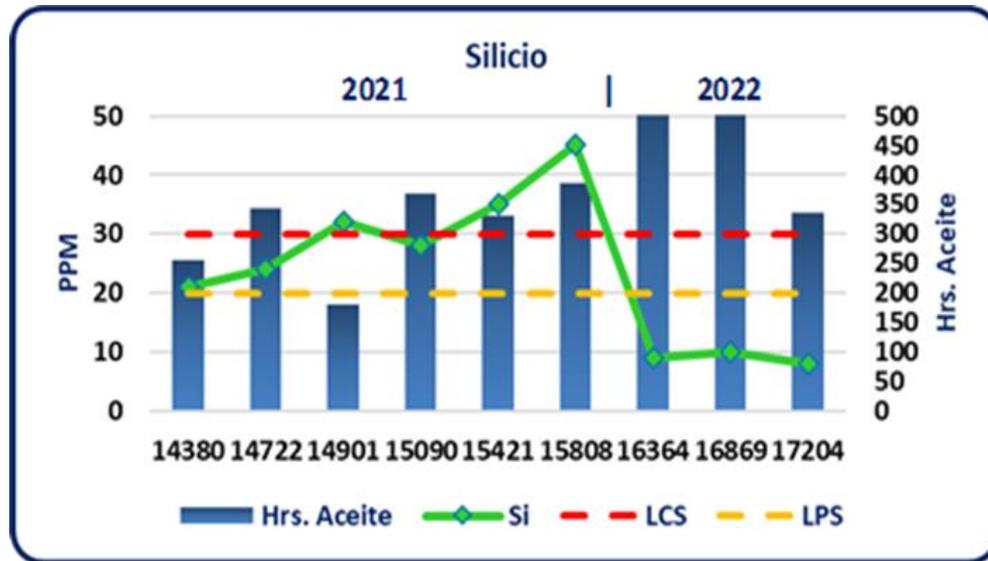
En los dos periodos, se compara que el Hollín permaneció dentro de sus parámetros normales.

5.4.1.2 Contaminación

Silicio

Figura 33

Tendencia de Silicio de aceite motor



Fuente: Elaboración propia

El silicio en mayores PPM se considera, pernicioso para todo motor de combustión interna, ya que sería un indicador de presencia de polvo o tierra que ha ingresado en el compartimento de motor, o en muchos casos por una mala muestra de aceite por parte del técnico mecánico no capacitado.

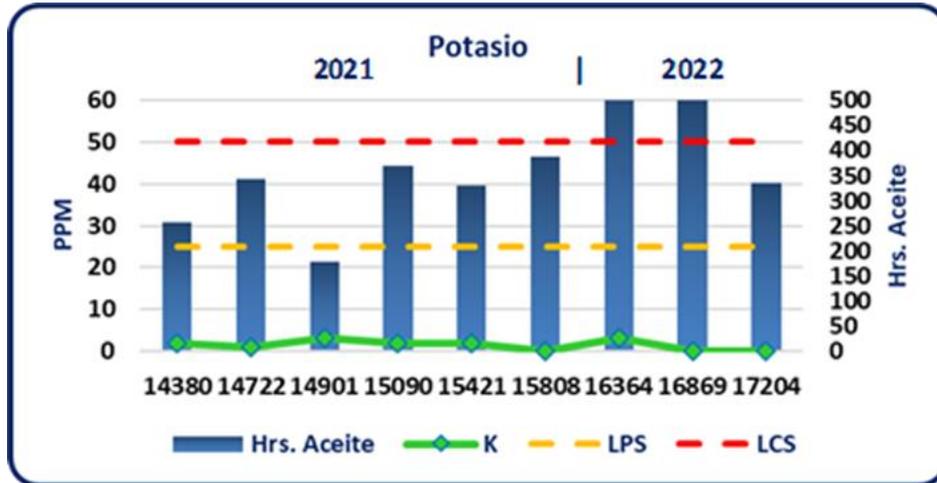
Se evalúa que, en el año 2021, la cantidad de silicio estuvo por encima del límite crítico, debido a la presencia de polvo o tierra en el aceite.

Por lo dicho anteriormente, se efectuó la inspección de motor verificando el estado de filtros y sellos, además se supervisó el correcto procedimiento de re muestreo, corrigiendo dicha deficiencia como se visualiza en el gráfico parámetros normales, dentro de los límites aceptables.

Potasio

Figura 34

Tendencia de potasio de aceite motor



Fuente: Elaboración propia

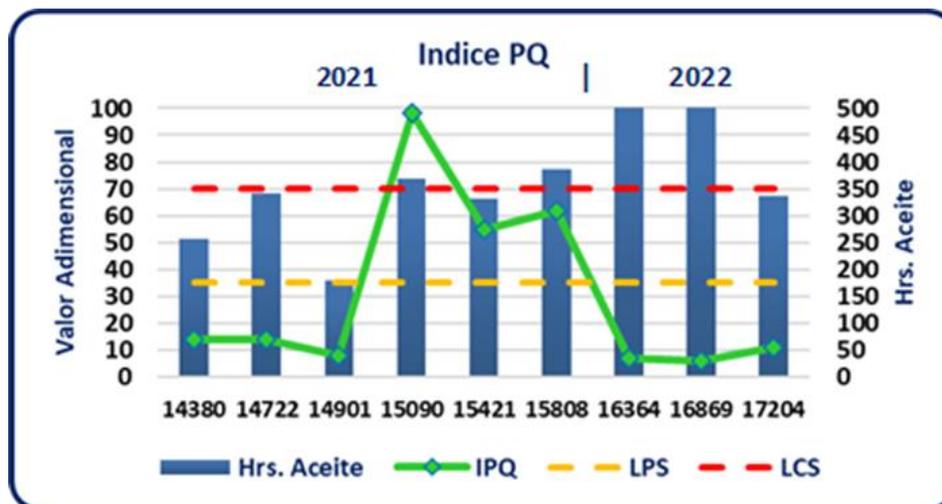
En los dos periodos, se visualiza que el potasio permaneció dentro de sus parámetros normales.

5.4.1.3 Desgaste

Índice PQ

Figura 35

Tendencia de Índice PQ de aceite motor



Fuente: Elaboración propia

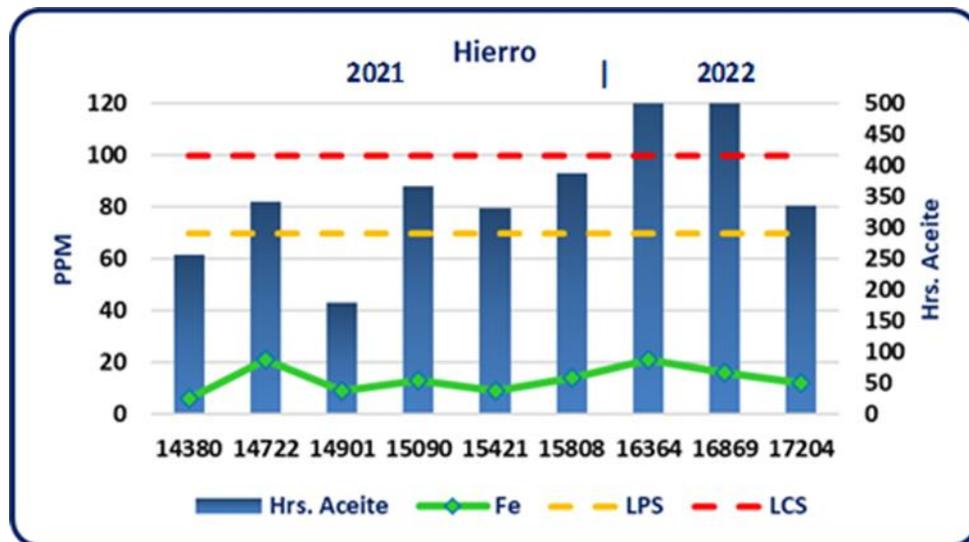
El índice PQ, se muestra en el año 2021, con algunas variaciones teniendo dos estados de precaución y un estado de alerta, dichos resultados fueron evaluados, teniendo en cuenta los demás estados de los elementos de desgaste. Por ello, al tener un alto índice PQ relacionados con los rangos normales de los demás elementos de desgaste, no resultará que hay presencia de desgaste, solo se deducirá una posible mala muestra.

En el año 2022, se observa que se corrigió los estados críticos anteriores, teniendo seguidamente resultados dentro de los parámetros normales.

Hierro

Figura 36

Tendencia de hierro de aceite motor



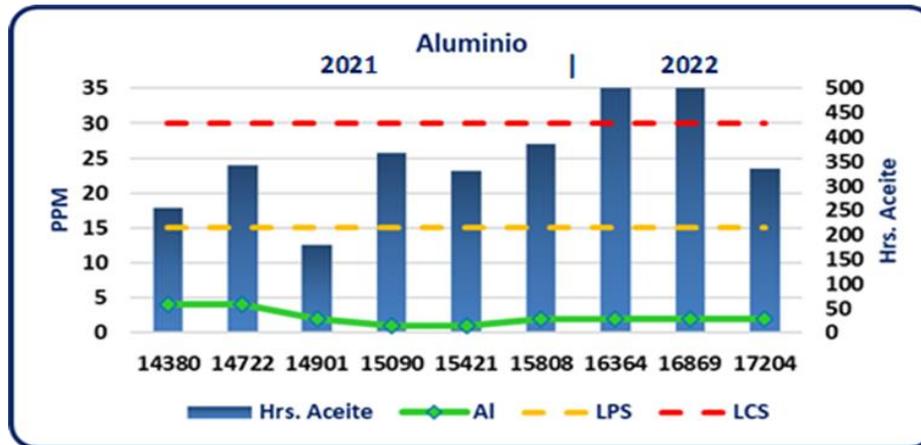
Fuente: Elaboración propia

En los dos periodos, se visualiza que el Hierro permaneció dentro de sus parámetros normales.

Aluminio

Figura 37

Tendencia de aluminio de aceite motor



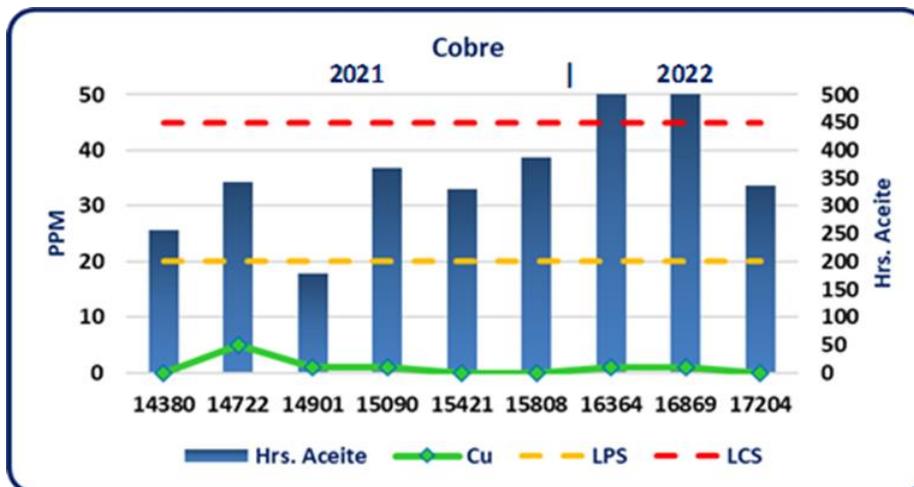
Fuente: Elaboración propia

En ambos periodos, se visualiza que el Aluminio permaneció dentro de sus parámetros normales.

Cobre

Figura 38

Tendencia de cobre de aceite motor



Fuente: Elaboración propia

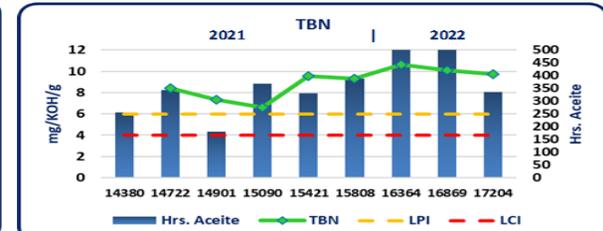
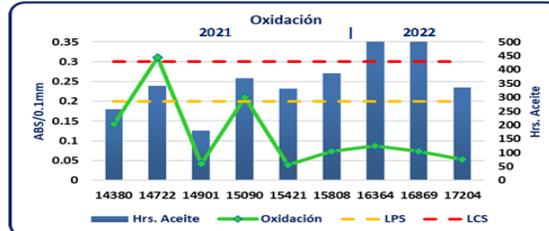
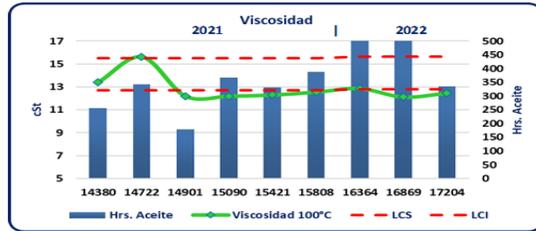
En los dos periodos, se visualiza que el Cobre permaneció dentro de sus parámetros normales.

5.5 Formato de inspección de equipo

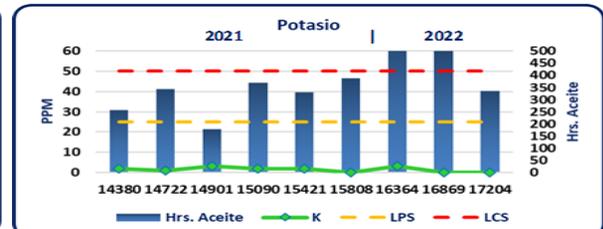
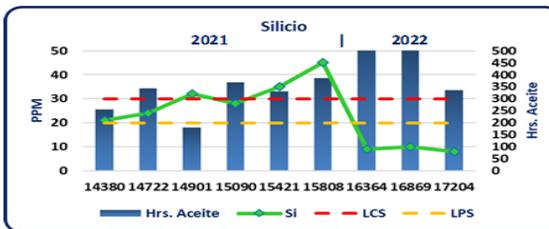
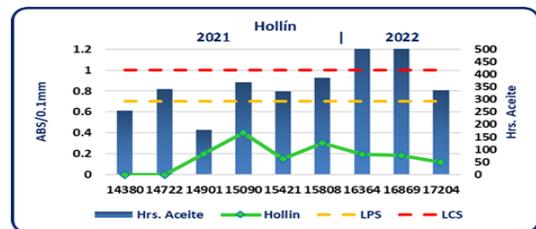
En la condición de los análisis de aceite, sujeto a los valores de salud, contaminación y desgaste, se presenta un formato que facultará un monitoreo o seguimiento del equipo, de acuerdo al componente motor, partiendo como base en realizar inspecciones diarias, examinar fugas y el nivel de aceite, efectuándolo en momentos de Stand By como los cambios de turno, y así no impacte a la disponibilidad de la maquinaria.

GRÁFICOS DE TENDENCIAS DE COMPONENTE MOTOR

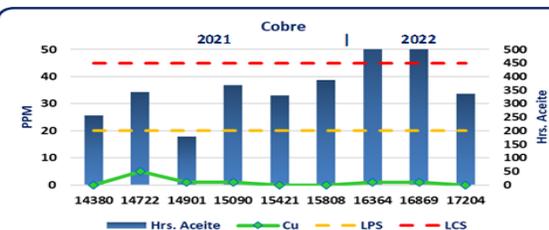
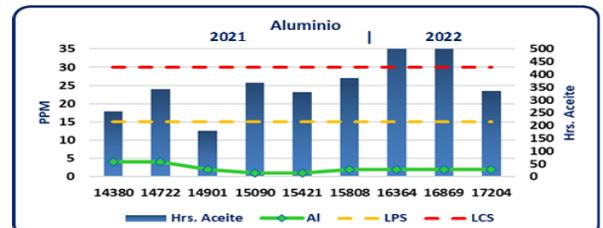
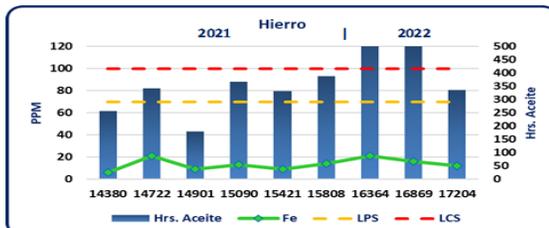
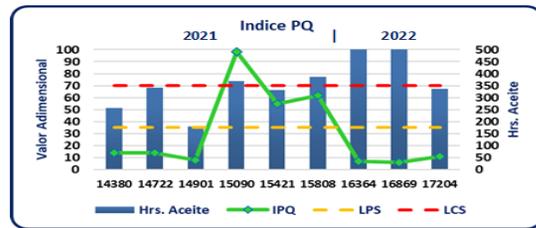
SALUD DE LUBRICANTE



CONTAMINACIÓN



DESGASTE



De acuerdo al componente del equipo, en este caso motor se elaborarán gráficos de tendencias mediante la técnica SACODE para así efectuar un óptimo análisis e interpretación de resultados de los análisis de aceite

5.6 Exposición de Resultados

Implementando un plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite de logró mejorar la disponibilidad del equipo estudiado de 83% a un 89% superando la meta comparativa.

Siendo el equipo principal de carguío, al haber aumentado la disponibilidad proporcionará una mejora de producción.

5.6.1 Tablas de resultados

5.6.1.1 Índice de efectividad de mantenimiento

Permite convertir datos en información útil para la toma de decisiones, son parámetros son muy fundamentales para la gestión de mantenimiento, permitiendo evaluar resultados y aplicar mejoras continuas para el departamento de mantenimiento. El principal índice de mantenimiento es la disponibilidad del equipo lo cual se realizará un análisis sobre sus indicadores.

Por consiguiente, se dará a conocer mediante la siguiente tabla un resumen de las últimas semanas del año 2021 en indicadores gestión de mantenimiento, previo a la aplicación del plan de mantenimiento predictivo mediante los análisis de aceite:

Tabla 23

Índices de efectividad de mantenimiento antes de aplicar el plan de mantenimiento

Equipo	N° Semana	Horas Programadas	Horas recorridas	Horas paradas	N° de paradas	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD	META
Cargador Frontal CAT 962H	45	84	45.6	9	7	6.5	1.3	83.5%	85%
	46	84	49.3	10	8	6.2	1.3	83.1%	85%
	47	84	65.7	10	6	11.0	1.7	86.8%	85%
	48	84	40.9	10	9	4.5	1.1	80.4%	85%
	49	84	67.7	14	7	9.7	2.0	82.9%	85%
	50	84	69.8	14	8	9.3	1.8	84.1%	85%
	51	84	68.4	12	11	6.2	1.1	85.1%	85%
	52	84	50.1	12	7	7.2	1.7	80.7%	85%
PROMEDIO TOTAL								83.2%	85%

Fuente: (SAP PM, 2021)

Se indicará a continuación, la tabla que describe los indicadores de gestión de mantenimiento posterior a la realización del plan de mantenimiento predictivo mediante los análisis de aceite.

Tabla 24

Índices de efectividad de mantenimiento luego de aplicar el plan de mantenimiento

Equipo	N° Semana	Horas Programadas	Horas recorridas	Horas paradas	N° de paradas	MTBS	MTTR	DISPONIBILIDAD	META
Cargador Frontal CAT 962H	1	84	78.0	10	7	11.1	1.4	88.6%	85%
	2	84	68.2	8	4	17.1	2.0	89.5%	85%
	3	84	75.3	8	1	75.3	8.0	90.4%	85%
	4	84	70.1	9	3	23.4	3.0	88.6%	85%
	5	84	69.0	11	2	34.5	5.5	86.3%	85%
	6	84	77.4	7	2	38.7	3.5	91.7%	85%
	7	84	82.4	9	2	41.2	4.5	90.2%	85%
	8	84	82.5	11	3	27.5	3.7	88.2%	85%
PROMEDIO TOTAL								89.2%	85%

Fuente: (SAP PM, 2022)

5.6.1.2 Condición del aceite

Acorde con la condición del aceite se mostrará los estados con resultados normales y de monitoreo del cargador frontal CAT 962H y a la vez comparando con las condiciones antes del implementar el plan de mantenimiento predictivo

Tabla 25

Condición del aceite del cargador frontal CAT 962H

COMPONENTE	TIEMPO	FECHA DE MUESTREO	CONDICIÓN
MOTOR	ANTES	11/10/2021	ACCIÓN
		16/11/2021	ACCIÓN
		18/12/2021	ACCIÓN
	DESPUÉS	29/01/2022	NORMAL
		13/03/2022	ATENCIÓN
		16/04/2022	ATENCIÓN

Fuente: Elaboración propia

5.6.2. Gráficos

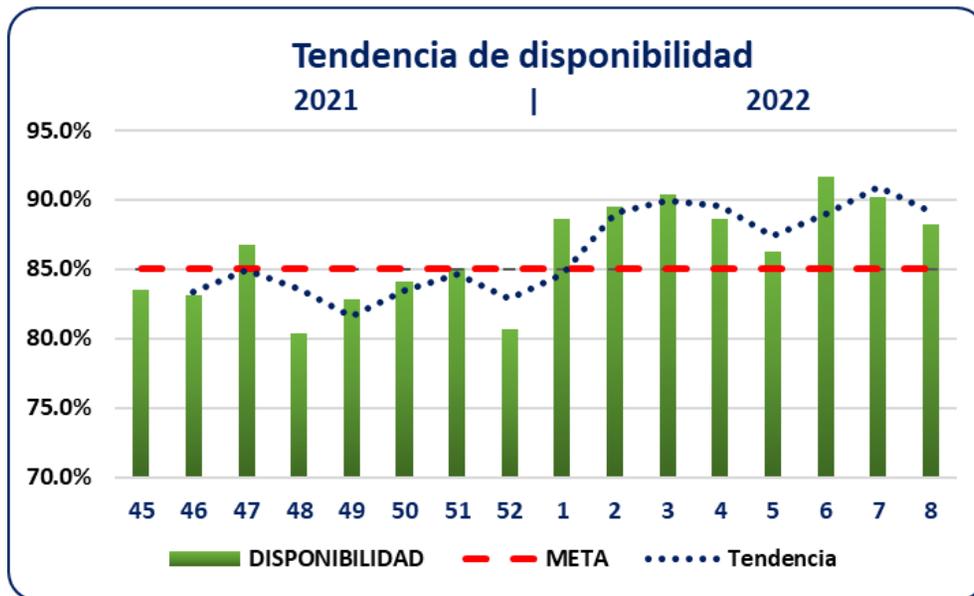
5.6.2.1 Tendencia de disponibilidad

Se visualiza en el gráfico la línea de tendencia en crecimiento de la disponibilidad que fue resultado de la implementación del plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite.

Dicha tendencia se evidencia de acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 23 y tabla 24.

Figura 40

Tendencia de disponibilidad



Fuente: Elaboración propia

5.6.2.2 Tendencia de horas de parada

Se muestra en el gráfico siguiente la tendencia de disminución de las horas paradas del equipo, resultado de la implementación del plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite.

Dicha tendencia se evidencia de acuerdo a los datos de horas paradas en la tabla 23 y tabla 24.

Figura 41

Tendencia de horas de parada



Fuente: Elaboración propia

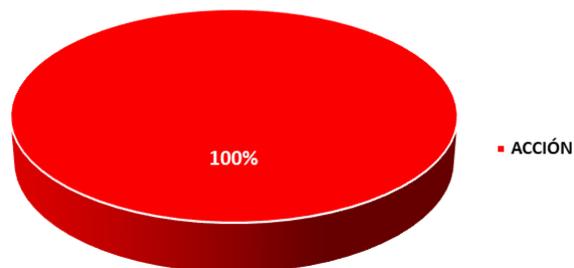
5.6.2.3 Estado de aceite

Se detalla, el estado de aceite del cargador frontal CAT 962H, antes de aplicar el plan de mantenimiento predictivo, donde el porcentaje total de resultados estuvo en un estado crítico o de alerta, dicha gráfica se evidencia de acuerdo a los datos mostrados en la tabla 25.

Figura 42

Estado anterior de análisis de aceite

Estado de análisis de aceite - antes



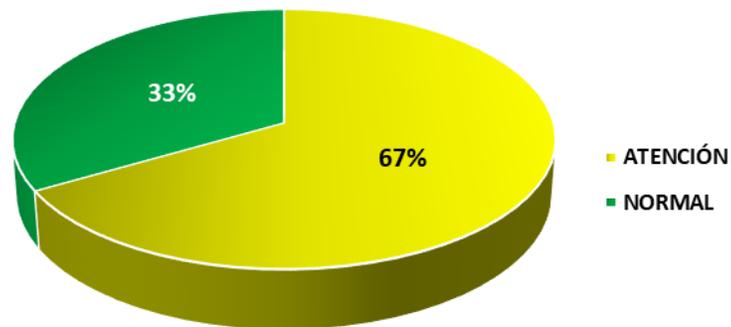
Fuente: Elaboración propia

Luego de aplicado el plan de mantenimiento predictivo, se obtuvo los resultados en estado normal y de atención para el monitoreo continuo, mostrados en la tabla 25, visualizando dichos resultados en el siguiente gráfico.

Figura 43

Estado posterior de análisis de aceite

Estado de análisis de aceite - después



Fuente: Elaboración propia

5.7 Análisis económico

5.7.1 Condiciones iniciales

Se presenta la información general de la unidad de estudio como es el cargador frontal CAT 962H, cuya condición inicial abarca en la adquisición de la unidad por parte de la empresa Agroindustrial en el año 2018, adicional a ello se describen los siguientes datos importantes que conllevarán a un análisis correcto en lo económico.

Tabla 26

Datos de cargador frontal CAT 962H

Datos Generales - Cargador Frontal CAT 962H				
Descripción	Unidad	Cantidad	Criterios	
Potencia	HP	215		
Peso de Operación	Kg	19520		
Capacidad de Cucharón	m3	3.3		
Valor de Adquisición (Va)	S/	739747.87		
	\$	225000.00	TC 2018	
Vida Económica Útil (VEU)	Años	6		
	Horas	21000		
Valor de Rescate (Vr)	\$	50204.29		

Fuente: Elaboración propia

-Condiciones de trabajo. Se describe en la siguiente tabla los datos obtenidos por criterios de trabajos en campo y promedio de horas disponibles para dichas condiciones dentro de la empresa.

Tabla 27

Condiciones de trabajo de la maquinaria

Condiciones de trabajo				
Descripción	Unidad	Cantidad	Criterios	
Horas diarias de trabajo	horas	12		
Mensual	horas	364	días	28
	horas	4368	meses	12
Anual	horas	3494.4	factor	80%
	Aprox.	3500		

Fuente: (SAP PM, 2022)

-Datos económicos generales. Se utilizaron en esta tabla, los datos referidos a tipos de cambio, tasas y TAMN para dicho estudio económico.

Tabla 28

Datos generales económicos

Datos Generales Económicos		
Descripción	Cantidad	Criterios
Tipo de Cambio (Venta) – 2022	\$ 3.839	Implementación de Plan de Mantenimiento Predictivo
Tipo de Cambio (Venta) - 2018	\$ 3.288	Adquisición de Maquinaria
Tasa Activa en Moneda Nacional (Venta)	12.37%	Promedio de año 2022
Tasa de seguros	2.5%	
Tasa de impuestos	2.0%	
Tasa de almacenaje	1.0%	

Fuente: (Superintendencia Nacional de Banca y Seguros y AFP, 2022)

5.7.2 Costo por Implementación de Plan de Mantenimiento Predictivo.

Para la implementación de plan de mantenimiento predictivo, dentro del departamento de mantenimiento del área de Servicios Agrícolas de la empresa mencionada, se ha considerado un costo por inversión, los cuales se describen en la siguiente tabla:

Tabla 29

Costo por implementación de plan de mantenimiento predictivo

Análisis de costo por implementación de plan de mantenimiento predictivo					
Personal					
Ítem	Descripción	Und	Costo/Und	Total	
1	Supervisor de Mantenimiento Predictivo	1	S/ 2,800.00	S/	2,800.00
Módulo individual de trabajo					
1	Escritorio	1	S/ 169.00	S/	169.00
2	Extensión	1	S/ 29.90	S/	29.90
3	Computador PC (DELL 16")	1	S/ 1,999.00	S/	1,999.00
4	Silla para escritorio	1	S/ 69.00	S/	69.00
5	Baofeng-walkie-talkie, transceptor vhf, uhf, radio ham, estación de radio CB de largo alcance, 10W, 40 km, 50 km	1	S/ 105.00	S/	105.00
6	Útiles de escritorio		S/ 60.00		
6.1	Lápiz 2b con borrador amarillo x 5	1	S/ 3.50	S/	3.50
6.2	Borrador blanco chico x 2 Artesco	1	S/ 1.60	S/	1.60
6.3	Plumón Vinifan resaltador x2	1	S/ 3.20	S/	3.20
6.4	Bolígrafo cr31 x 6 (3az/2ng/1rj) Artesco	1	S/ 3.70	S/	3.70
6.5	Archivador oficina lomo ancho negro plastic ove	2	S/ 5.00	S/	10.00
6.6	Engrapador metal 25 hojas Faber Castell	1	S/ 8.00	S/	8.00
6.7	Perforadora Deluxe 25h m104 negro Artesco	1	S/ 8.50	S/	8.50
6.8	Tablero de madera oficina	1	S/ 3.50	S/	3.50
6.9	Corrector Colors 6 ml x2 Artesco	1	S/ 3.00	S/	3.00
6.10	Lámpara de escritorio led	1	S/ 15.50	S/	15.50
6.11	Cuaderno Deluxe a-4 cuadriculada minerva	1	S/ 4.50	S/	4.50
EPP's para personal					
1	Casco	1	S/ 49.90	S/	49.90
2	Barbiquejo	1	S/ 2.50	S/	2.50
3	Orejeras	1	S/ 14.90	S/	14.90
4	Corta viento	1	S/ 9.90	S/	9.90
5	Guantes (PAR)	1	S/ 5.50	S/	5.50
6	Camisa	1	S/ 44.90	S/	44.90
7	Pantalón	1	S/ 41.90	S/	41.90
8	Zapatos de seguridad (PAR)	1	S/ 44.90	S/	44.90
9	Bolsa de Mascarillas 50 Unid	1	S/ 4.90	S/	4.90
				S/	5,456.20
Costo por Inversión					\$ 1,421.38

Fuente: Elaboración propia

5.7.3 Costo total horario de la maquinaria

De acuerdo al cálculo de costo total horario descrito en la metodología del análisis económico en el presente proyecto, se exponen los siguientes resultados de cada concepto que los conforman:

-Costo por posesión de maquinaria.

Tabla 30

Costo por posesión de maquinaria

Costo horario de Posesión		
Descripción	Unidad	Cantidad
Inversión Media Anual	soles/años	431519.59
Depreciación	soles/años	95781.30
	soles/horas	29.69
Costo Horario de Intereses	soles/horas	16.54
Costo Horario de Seguro Impuesto Almacenaje	soles/horas	7.36
Costo Horario por Gastos en Mantenimiento	soles/horas	20.67
Costo por M.O propio	soles/horas	5.95
Costo por repuestos	soles/horas	14.72
COSTO TOTAL	soles/horas	74.27
	\$/h	19.35

Fuente: Elaboración propia

-Costo por operación de maquinaria.

Tabla 31

Costo por operación de maquinaria

Costo horario de Operación		
Descripción	Unidad	Cantidad
Aceites	soles/horas	1.89
Engrase	soles/horas	0.04
Filtros	soles/horas	0.94
Mangueras hidráulicas	soles/horas	1.98
Otros Suministros	soles/horas	0.44
Servicios terceros	soles/horas	12.59
Combustible	soles/horas	87.50
Operador	soles/horas	5.36
COSTO TOTAL	soles/horas	110.74
	\$/h	28.85

Fuente: (SAP PM, 2022)

-Costo por producción de maquinaria

Tabla 32

Costo por producción de maquinaria

COSTO DE PRODUCCIÓN		
Descripción	Unidad	Cantidad
Carga de bagazo en maquinaria	Tn/h	11
Para producción de compost se necesita		
Bagazo	Tn/h	7.3
Ceniza	Tn/h	1.8
Producción compost	Tn/h	5.5
Valor de mercado	\$/Tn	25
COSTO TOTAL	\$/h	137.5

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se suma el costo de posesión, costo de operación y costo de producción, obteniendo así, el costo total horario de la maquinaria siendo \$186 por hora.

5.7.4 Beneficio por reducción de horas de parada

Considerando que, se obtuvo una reducción de 18 horas de parada aplicando la implementación del plan de mantenimiento predictivo en el tiempo de 8 semanas, donde se visualiza en los resultados de las tablas de disponibilidad o índices de efectividad de mantenimiento, dados en la siguiente tabla

Tabla 33

Reducción de horas de parada

Equipo	Antes de implementación		Después de implementación		
	Semana 2021	Horas paradas	Semana 2022	Horas paradas	Reducción de horas
Cargador Frontal CAT 962H	45	9	1	10	-1
	46	10	2	8	2
	47	10	3	8	2
	48	10	4	9	1
	49	14	5	11	3
	50	14	6	7	7
	51	12	7	9	3
	52	12	8	11	1
TOTAL HORAS PARADAS	91			73	18

Fuente: Elaboración propia

-Beneficio útil. Se percibe dicho beneficio, al multiplicar los valores hallados del costo total horario y las horas de reducción de paradas, la cual se obtiene un resultado de \$3343.

5.7.5 Flujo efectivo neto

Se presenta en la tabla 34 la proyección económica por mes, donde la inversión es el costo por la implementación del plan de mantenimiento predictivo como se observa en la tabla 29, considerando un costo mensual por supervisión donde el supervisor de mantenimiento predictivo estará a cargo del cargador frontal en estudio y de toda la flota de maquinaria motora dentro de la empresa Agrolmos, asimismo obteniendo los beneficios mensuales, posteriormente el flujo efectivo neto y el acumulado.

Tabla 34

Flujo efectivo neto

Análisis Económico					
N° Mes	Inversión	Costos Mensuales	Beneficios	Flujo Efectivo Neto	Flujo Acumulado
0	\$ -1,421.38	0	0	\$ -1,421.38	
1	0	\$ -729.4	\$ 956.34	\$ 226.92	\$ -1,194.46
2	0	\$ -729.4	\$ 956.34	\$ 226.92	\$ -967.54
3	0	\$ -729.4	\$ 956.34	\$ 226.92	\$ -740.62
4	0	\$ -729.4	\$ 956.34	\$ 226.92	\$ -513.70
5	0	\$ -729.4	\$ 956.34	\$ 226.92	\$ -286.78
6	0	\$ -729.4	\$ 956.34	\$ 226.92	\$ -59.86
7	0	\$ -729.4	\$ 956.34	\$ 226.92	\$ 167.06

Fuente: Elaboración propia

5.7.6 Cálculo del VAN y TIR

Tabla 35

Cálculo de VAN Y TIR

Cálculo de VAN y TIR		
Descripción	Unidades	Cantidad
Periodo de análisis	Semanas	28
	Meses	7
Tasa de descuento	Anual	12%
	Mensual	0.95%
Valor Actual Neto (VAN)	\$	108.45
Tasa Interna de Rendimiento	TIR mensual	3%
	TIR anual	40%

Fuente: Elaboración propia

Se denota así que, dentro del análisis en estudio, el VAN resultó \$108.45 lo cual representa una ganancia después del séptimo mes y el TIR resultó un 3% mensual, que prácticamente es 3 veces más la tasa de descuento lo cual es favorable para la inversión.

5.8 Discusión e interpretación de resultados

En el presente estudio y desarrollo del trabajo se expone el análisis del importante equipo, como es el cargador frontal CAT 962H, de la empresa Agroindustrial Agrolmos, basado en el seguimiento de indicadores de mantenimiento en el transcurso de 8 semanas antes, pertenecientes del mes de noviembre y diciembre del 2021, así como también 8 semanas posterior a la ejecución del plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite, pertenecientes del mes de enero y febrero del 2022.

Conforme a los resultados alcanzados, denotan una mejoría notable en la disponibilidad de las ocho semanas del mes de enero y febrero del 2022, donde se logró incrementar un 6%, en virtud de la aplicación del plan de mantenimiento predictivo basado en los análisis de aceite; la cual se realiza inspecciones al equipo continuamente, efectuando un mejor control y monitoreo de los análisis de aceite fundamentado en las guías implantadas con los valores aceptables en la salud, contaminación y desgaste del lubricante y componente a su vez.

La utilización adecuada de los lubricantes y logrando una correcta toma de muestras de aceite, en conjunto contribuyen a la toma de decisiones inmediatas y provechosas facilitando a la disminución de paradas imprevistas.

Por lo que es muy necesario efectuar una comparación de un antes y un después, y así verificar los resultados obtenidos, para ello se admitieron datos de las últimas semanas del año 2021 (semanas 45 hasta el 52) previo a la aplicación del plan de mantenimiento predictivo y de las primeras semanas del 2022 (semana 01 hasta el 08) posterior a la aplicación del plan de mantenimiento predictivo.

Tabla 36

Resumen de índices de efectividad de mantenimiento del antes

Equipo	N° Semana	Horas Programadas	Horas recorridas	Horas paradas	DISPONIBILIDAD
Cargador Frontal CAT 962H	45	84	45.6	9	84%
	46	84	49.3	10	83%
	47	84	65.7	10	87%
	48	84	40.9	10	80%
	49	84	67.7	14	83%
	50	84	69.8	14	83%
	51	84	68.4	12	85%
	52	84	50.1	12	81%
PROMEDIO		84	57.8	11	83%

Fuente: (SAP PM, 2021)

El tiempo promedio de paradas fue de 11.4 horas, en las semanas desde la semana 45 hasta la semana 52.

Tabla 37

Resumen de índices de gestión de mantenimiento del después

Equipo	N° Semana	Horas Programadas	Horas recorridas	Horas paradas	DISPONIBILIDAD
Cargador Frontal CAT 962H	1	84	78	10	89%
	2	84	68.2	8	90%
	3	84	75.3	8	90%
	4	84	70.1	9	89%
	5	84	69	11	86%
	6	84	77.4	7	92%
	7	84	82.4	9	90%
	8	84	82.5	11	88%
PROMEDIO		84	75.4	9	89%

Fuente: (SAP PM, 2022)

Posterior a la aplicación el tiempo promedio de paradas se disminuye a 9 horas, siendo inversamente proporcional respecto a la disponibilidad las horas de parada.

Dado el resultado se mejora la disponibilidad del equipo con un 6 % a comparación de los meses de noviembre y diciembre del año 2021.

En lo económico, teniendo presente que al mejorar la disponibilidad del cargador frontal CAT 962H en un 89% y a su vez, una mayor reducción de horas de parada, se realizó el estudio económico en el periodo de siete meses, donde se logró un VAN de \$108.45 y una TIR de 3% por mes, donde significa un beneficio económico basado en la implementación del plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite. Por último, se detalla que los riesgos implicados en la inversión para aplicar el plan de mantenimiento predictivo son mínimos ya que el costo mensual más relevante solo sería el del supervisor predictivo.

CONCLUSIONES

Acorde con el estudio alcanzado en el presente proyecto, se obtuvo las siguientes conclusiones:

- a) De acuerdo a la evaluación de resultados se incrementó la disponibilidad mecánica del cargador frontal CAT 962H con código interno 208R en un 6%, antes de aplicar el plan de mantenimiento basado en los análisis de aceite se tenía una disponibilidad promedio de 83.2% y posteriormente luego de aplicar el plan de mantenimiento se logra un valor de 89.2%.
- b) En cada mantenimiento preventivo de la maquinaria 208R se realizó el muestreo de aceite del componente motor, obteniendo en el año 2021, la cantidad de seis muestras, esto antes de la aplicación del plan de mantenimiento y luego al implementar el plan de mantenimiento a partir del 2022 hasta el mes de abril, se obtuvo la cantidad de tres muestras del mismo componente, donde cada muestra fueron enviados al laboratorio CheckOil para su respectivo análisis y resultados.
- c) Se analizó los resultados de muestras de aceite obtenidos por el método de extracción de vacío y se realizó los gráficos mediante la técnica SACODE, interpretando los resultados para evaluar los planes de acción de los estados de atención y acción del sistema motor del cargador frontal CAT 962H.
- d) Se realizó el esquema de la gestión de plan de mantenimiento predictivo, realizando los siguientes pasos: identificación del equipo y componentes a analizar, historial y estado general del equipo, muestreo de aceite y envío de muestras, análisis de aceite, interpretación de resultados y análisis de tendencias, determinación de tareas de mantenimiento a aplicar, retroalimentación de históricos.

- e) Posterior a la implementación de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite se logró elevar la disponibilidad promedio a 89.2%.
- f) Mediante los indicadores de mantenimiento MTBF Y MTTR se calculó la disponibilidad de la maquinaria cargador frontal CAT 962H con código interno 208R antes y después de la implementación.
- g) Se determinó que, a mayor disponibilidad conlleva una mayor reducción de horas de paradas, adicionalmente se halló los costos de posesión, operación y producción de la maquinaria, la cual se logró un beneficio económico donde se obtuvo en un periodo de 7 meses un Valor Actual Neto (VAN) de \$108.45 y una Tasa Interna de Rendimiento (TIR) de 3% por mes mediante la implementación del plan de mantenimiento predictivo.

RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda continuar con la ejecución de la implementación del plan de mantenimiento predictivo mediante el análisis de aceite para mantener o incrementar la disponibilidad del equipo 208R.
- b) El plan de mantenimiento implementado, se sugiere aplicarlo en todos los sistemas o componentes del cargador frontal 208R.
- c) Realizar capacitaciones continuas para el personal técnico mecánico encargado de la extracción de muestras de aceite para realizar un correcto diagnóstico.
- d) Con el objetivo de mejorar la disponibilidad y tener una mayor reducción de paradas, se recomienda continuar con la implementación y así verificar si se mantiene constante o varía las horas de parada del cargador frontal CAT 962H, y con ello obtener los beneficios económicos que aporten positivamente a la empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Libro de mantenimiento, Mario Toledo Martínez, 2018
- Zambrano-Castro, J. W., & Pérez-Guerrero, J. N. (2021). Estudio de la aplicación del mantenimiento predictivo en motores diésel en la provincia de Manabí. Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación. ISSN: 2737-6249., 4(8 Ed. esp.), 96-116.
- Calderón Cáceres, J. L., & Scarpati Gálvez, G. C. (2018). Los ensayos no destructivos (END) y su aplicación en la industria. Revista Campus.
- Páramo, J. (2018). Tribología centrada en confiabilidad NIVEL I. Techgnosis.
- Falótico, A. (2018). Viscosidad de los aceites lubricantes. Separata Técnica.
- Dueñas, L., Villegas, G., Castiblanco, S., & Castaño C. (2020). Casos de éxito en la implementación del mantenimiento predictivo mediante el uso de tecnologías de la industria 4.0.
- IBERDROLA (2022). Mantenimiento predictivo: la técnica basada en datos clave para anticipar errores.
- ALSGLOBAL (2020). Como calcular la disponibilidad de máquinas y equipamientos.
- ALSGLOBAL (2018). Análisis de aceite, todo lo que necesita saber.
- Águila, A. (2018). Efecto de técnicas de mantenimiento predictivo en la detección temprana de fallas en los equipos rotativos de la empresa AMBEV Perú S.A.C

- Quintero, A. (2018). Generalidades del mantenimiento.
- Caterpillar (2012). Manual de operación y mantenimiento en cargadores de ruedas 950H y 962H.
- Noria (2022). Conteo de partículas: que significan y como usarlos.
- García Córdoba, M. (2017). Una polémica trascendental sobre el mantenimiento Preventivo y Predictivo.
- Mills, (2018). Fundamentos del análisis FTIR.
- Olympus (2021). Equipos de inspección visual.
- Widman (2018). Los cinco grupos de aceites básicos (API). Widman International mantenimiento proactivo.
- Valentin, A. (2021). Interpretación de análisis de aceite. Soporte técnico. Corporación Primax S.A.
- Noria, (2001). "ISO Viscosity Grades", Revista Machinery Lubrication.
- Noria, (2013). Entendiendo los grados de viscosidad para lubricantes de motor.
- Chemical (2018). Aceites lubricantes, principios básicos.
- Pesántez Ochoa, J. G., & Veintimilla Ramos, D. A. (2010). *Análisis y diagnóstico de la degradación del aceite mobil 15W40 utilizado en un motor Isuzu 2500 turbo diesel* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- API (2020). Guía sobre aceite de motor del API. Energy API.
- API (2021). Categorías de aceites. American Petroleum Institute.

- Caterpillar (2018). How to take a good Oil Sample.
- TRICO (2018). Introducción al análisis/muestreo de aceite.
- Aguado, N. (2020). Toma de muestra para análisis de aceite.
- Predictiva (2021). Tecnología y análisis de aceite para asegurar la eficiencia de lubricación
- Machinery Lubrication (2013). Anatomía de un reporte de análisis de lubricante.
- Noria (2013). Oil Analycs Basics - Second edition
- Widman, R. (2018). Interpretando el reporte de análisis de aceite.
- Caterpillar (2014). Limites condenatorios de motores.
- Caterpillar (2022). Servicios Cat.
- Mobil (2022). Smart Lab
- Sánchez, 2017. Técnicas de mantenimiento predictivo. Metodología de aplicación en las organizaciones.
- Desantes, J. M., & GONZÁLEZ, F. P. (2011). Motores de combustión interna alternativos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Huachaca, N. (2018). Manual de indicadores de mantenimiento.
- Penkova Vassileva, María. (2007) "Mantenimiento y análisis de vibraciones". Ciencia y Sociedad" [en línea]. 2007, XXXII(4), 668-678 Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032407>
- García Ana, Avila Eduardo, Morales Edgar. (2018). "Diseño de un sistema de monitoreo de vibraciones en máquinas rotativas críticas en la línea de producción de Lija"

- WHITE, Glen. (2010) "Introducción al análisis de vibraciones", Editorial Azima DLI.
- FLIR Systems AB (2011). "Guía de termografía para mantenimiento predictivo"
- Aldana, D. & Muñoz, C. (2017) "Aplicación de la Termografía Infrarroja como Método de Inspección No Destructivo de un Túnel De Viento De Baja Velocidad"
- Neita, L. & Peña, E. (2011) "Principios básicos de la Termografía Infrarroja y su Utilización como Técnica para Mantenimiento Predictivo"
- Yañez, I. & Martínez, M. (2009) "Termografía Infrarroja como Técnica de Diagnóstico a Equipos de menos de 34.5kv"
- Martínez, P. & Rodríguez, I. & Esperanza, G. & Leiva, J. (2014) "Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos"
- Blank, L. & Tarquin, A. (2012) "Ingeniería Económica" séptima edición
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (2010) Norma Técnica "Elementos para la determinación del costo horario de los equipos y las maquinarias del sector construcción"
- SBS, (2022) Superintendencia Nacional de Banca y Seguros.
- AFP, (2022) Administradoras de Fondos de Pensiones.

ANEXOS

ANEXO N°1: Cargador Frontal CAT 962H – Código Interno 208R



ANEXO N°2: Especificaciones de motor Cargador Frontal CAT 962H

Especificaciones

UNIDADES: **EE. UU.** MÉTRICAS

Motor

Potencia neta: ISO 9249	211 HP
Modelo de motor	Cat® C7 ACERT™
Potencia neta: 80/1269/EEC	211 HP
Potencia al volante	211 HP
Potencia bruta: SAE J1995	230 HP
Potencia neta: SAE J1349	209 HP
Par máximo neto: 1.400 rpm	669 ft-lb
Calibre	4.33 in
Carrera	5 in
Cilindrada	439 in³

ANEXO N°3: Motor Diesel de Cargador Frontal CAT 962H



ANEXO N°4: Reportes de análisis de aceite del sistema motor de Cargador Frontal CAT 962H



ANÁLISIS DE ACEITES USADOS

CLIENTE/USUARIO	AGROLMOS - SERVICIOS AGRICOLAS	LUBRICANTE	RIMULA R5 E 10W40
DIRECCION	SEMANA 06	GRADO SAE O ISO	
CODIGO COMPONENTE	208R_M	EQUIPO / COMPARTIMIENTO	CARGADOR CAT962H / MOTOR
REFERENCIA		MARCA	CATERPILLAR
NRO. LOTE	220250	MODELO / NUMERO DE SERIE	962H / Sin serie
NRO. ETIQUETA	422423	CAPACIDAD CARTER O	No Def.

	METODO	REPORTE	Limite	Referencial	
			Min.	Max.	
Información de la Muestra	LUBRICANTE	RIMULA R5 E 10W40			
	ESTADO DEL REPORTE	NORMAL			
	LABORATORIO	NEXO CALLAO			
	REPORTE DE LABORATORIO	22003986			
	FECHA DE MUESTREO	29-01-2022			
	FECHA DE RECIBO	17-02-2022			
	FECHA DE REPORTE	21-02-2022			
	HORAS O KMS DEL EQUIPO	16364			
	HORAS O KMS DEL ACEITE	555			
	ACEITE AGREGADO(RELLENOS)				
ACEITE CAMBIADO	SI				
FILTRO CAMBIADO	SI				
ENSAYOS FISICO-QUIMICO					
Lubricante	VISC. 40°C (cSt)	ASTM D 7279-18			
	VISC. 100°C (cSt)	ASTM D7279-18	12.86		
	INDICE DE VISCOSIDAD	ASTM D 2270			
	T.A.N. (mgKOH/g)	ASTM D 974			
	T.B.N. (mgKOH/g)	SGS-OGC-ME-06	10.64		
	INDICE DE PARTICULAS FERROSAS (PQ)	SGS-OGC-ME-07	7		
	SPOT TEST (CONTAMINACION)	SGS-OGC-ME-02	0.6		
	AGUA (CRAQUEO) TRAZ/NEG.	SGS-OGC-ME-03	NEGATIVO		
	AGUA, %V.	ASTM D 95			
	DISPERSANCIA (BUE/REG/MALA)	SGS-OGC-ME-02	REGULAR		
ANALISIS ESPECTROFOTOMETRICO					
Desgaste	HIERRO (Fe) P.P.M.	ASTM D 5185	21		
	CROMO (Cr) P.P.M.	ASTM D 5185	0		
	NIQUEL (Ni) P.P.M.	ASTM D 5185	0		
	ALUMINIO (Al) P.P.M.	ASTM D 5185	2		
	COBRE (Cu) P.P.M.	ASTM D 5185	1		
	PLOMO (Pb) P.P.M.	ASTM D 5185	0		
	ESTAÑO (Sn) P.P.M.	ASTM D 5185	0		
	PLATA (Ag) P.P.M.	ASTM D 5185	0		
	TITANIO (Ti) P.P.M.	ASTM D 5185	0		
	MANGANESO (Mn) P.P.M.	ASTM D 5185	0		
Contaminantes	CADMIO (Cd) P.P.M.	ASTM D 5185	0		
	VANADIO (V) P.P.M.	ASTM D 5185	0		
	SILICIO (Si) P.P.M.	ASTM D 5185	9		
	SODIO (Na) P.P.M.	ASTM D 5185	4		
	POTASIO (K) P.P.M.	ASTM D 5185	3		
	BARIO (Ba) P.P.M.	ASTM D 5185	0		
	BORO (B) P.P.M.	ASTM D 5185	338		
	MOLIBDENO (Mo) P.P.M.	ASTM D 5185	40		
	MAGNESIO (Mg) P.P.M.	ASTM D 5185	287		
	CALCIO (Ca) P.P.M.	ASTM D 5185	3528		
Aditivos	FOSFORO (P) P.P.M.	ASTM D 5185	1156		
	ZINC (Zn) P.P.M.	ASTM D 5185	1261		
	ANALISIS INFRARROJO				
	HOLLIN, A/. 1 MM	ASTM E 2412	0.196		
	OXIDACION, A/. 1 MM	ASTM E 2412	0.087		
	NITRACION, A/. 1 MM	ASTM E 2412	0.105		
	SULFATACION, A/. 1 MM	ASTM E 2412	0.111		
	DILUYENTE, %V.	SGS-OGC-ME-08			
	CONTEO DE PARTICULAS (Por 1ml.)				
	>4 um	ASTM D 7596			
>6 um	ASTM D 7596				
>10 um	ASTM D 7596				
>14 um	ASTM D 7596				
>21 um	ASTM D 7596				
>38 um	ASTM D 7596				
>70 um	ASTM D 7596				
Codigo ISO	ISO 4406				

Muestra # 22003986

1. CONTAMINACIÓN:
No se evidencia presencia de contaminantes.

2. ESTADO DEL LUBRICANTE:
Viscosidad dentro de rango de servicio.

3. DESGASTE:
Motor presenta desgastes normales.

4. RECOMENDACIONES:
Continuar con envío de muestra para monitoreo.

ANÁLISIS DE ACEITES USADOS

CLIENTE/USUARIO	AGROLMOS - SERVICIOS AGRICOLAS	LUBRICANTE	RIMULA R5 E 10W40
DIRECCION	SEMANA 11	GRADO SAE O ISO	
CODIGO COMPONENTE	208R_M	EQUIPO / COMPARTIMIENTO	CARGADOR CAT962H / MOTOR
REFERENCIA		MARCA	CATERPILLAR
NRO. LOTE	220467	MODELO / NUMERO DE SERIE	962H / Sin serie
NRO. ETIQUETA	429268	CAPACIDAD CARTER O	No Def.

	METODO	REPORTE	Limite	Referencial
			Min.	Max.
Información de la Muestra	LUBRICANTE	RIMULA R5 E 10W40		
	ESTADO DEL REPORTE	ATENCION		
	LABORATORIO	NEXO CALLAO		
	REPORTE DE LABORATORIO	22007035		
	FECHA DE MUESTREO	13-03-2022		
	FECHA DE RECIBO	01-04-2022		
	FECHA DE REPORTE	06-04-2022		
	HORAS O KMS DEL EQUIPO	16869		
	HORAS O KMS DEL ACEITE	504		
	ACEITE AGREGADO(RELLENOS)			
ACEITE CAMBIADO	SI			
FILTRO CAMBIADO	SI			
Lubricante	ENSAYOS FISICO-QUIMICO			
	VISC. 40°C (cSt)	ASTM D 7279-18		
	VISC. 100°C (cSt)	ASTM D7279-18	12.12	
	INDICE DE VISCOSIDAD	ASTM D 2270		
	T.A.N. (mgKOH/g)	ASTM D 974		
	T.B.N. (mgKOH/g)	SGS-OGC-ME-06	10.09	
	INDICE DE PARTICULAS FERROSAS (PO)	SGS-OGC-ME-07	8	
	SPOT TEST (CONTAMINACION)	SGS-OGC-ME-02	0.6	
	AGUA (CRAQUEO) TRAZ/NEG.	SGS-OGC-ME-03	NEGATIVO	
	AGUA, %V.	ASTM D 95		
DISPERSANCIA (BUE/REG/MALA)	SGS-OGC-ME-02	REGULAR		
Desgaste	ANALISIS ESPECTROFOTOMETRICO			
	HIERRO (Fe) P.P.M.	ASTM D 5185	16	
	CROMO (Cr) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	NIQUEL (Ni) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	ALUMINIO (Al) P.P.M.	ASTM D 5185	2	
	COBRE (Cu) P.P.M.	ASTM D 5185	1	
	PLOMO (Pb) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	ESTAÑO (Sn) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	PLATA (Ag) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	TITANIO (Ti) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
Contaminantes	MANGANESO (Mn) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	CADMIO (Cd) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	VANADIO (V) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	SILICIO (Si) P.P.M.	ASTM D 5185	10	
	SODIO (Na) P.P.M.	ASTM D 5185	3	
	POTASIO (K) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	BARIO (Ba) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	BORO (B) P.P.M.	ASTM D 5185	357	
	MOLIBDENO (Mo) P.P.M.	ASTM D 5185	39	
	MAGNESIO (Mg) P.P.M.	ASTM D 5185	104	
Aditivos	CALCIO (Ca) P.P.M.	ASTM D 5185	3525	
	FOSFORO (P) P.P.M.	ASTM D 5185	1079	
	ZINC (Zn) P.P.M.	ASTM D 5185	1186	
	ANALISIS INFRARROJO			
	HOLLIN, A/1 MM	ASTM E 2412	0.185	
	OXIDACION, A/1 MM	ASTM E 2412	0.073	
	NITRACION, A/1 MM	ASTM E 2412	0.09	
	SULFATACION, A/1 MM	ASTM E 2412	0.103	
	DILUYENTE, %V.	SGS-OGC-ME-08		
	CONTEO DE PARTICULAS (Por 1mL)			
>4 um	ASTM D 7596			
>6 um	ASTM D 7596			
>10 um	ASTM D 7596			
>14 um	ASTM D 7596			
>21 um	ASTM D 7596			
>38 um	ASTM D 7596			
>70 um	ASTM D 7596			
Codigo ISO	ISO 4406			

Muestra #
22007035

1. CONTAMINACIÓN:
 No se evidencia presencia de diluyentes/combustible.

2. ESTADO DEL LUBRICANTE:
 Viscosidad algo baja, precaución. Podría deberse a cizallamiento de la película de lubricante.

3. DESGASTE:
 Motor presenta desgastes normales.

4. RECOMENDACIONES:
 Continuar con envío de muestra para monitoreo.

ANÁLISIS DE ACEITES USADOS

CLIENTE/USUARIO	AGROLMOS - SERVICIOS AGRICOLAS	LUBRICANTE	RIMULA R5 E 10W40
DIRECCION	SEMANA 15	GRADO SAE O ISO	
CODIGO COMPONENTE	268R_M	EQUIPO / COMPARTIMIENTO	CARGADOR CAT962H / MOTOR
REFERENCIA		MARCA	CATERPILLAR
NRO. LOTE	220697	MODELO / NUMERO DE SERIE	962H / Sin serie
NRO. ETIQUETA	428265	CAPACIDAD CARTER O	No Def.

	METODO	REPORTE	Limite	Referencial
		RIMULA R5 E 10W40	Min.	Max.
Información de la Muestra	LUBRICANTE			
	ESTADO DEL REPORTE	ATENCION		
	LABORATORIO	NEXO CALLAO		
	REPORTE DE LABORATORIO	22008770		
	FECHA DE MUESTREO	16-04-2022		
	FECHA DE RECIBO	27-04-2022		
	FECHA DE REPORTE	29-04-2022		
	HORAS O KMS DEL EQUIPO	17204		
	HORAS O KMS DEL ACEITE	336		
	ACEITE AGREGADO(RELLENOS)			
ACEITE CAMBIADO	SI			
FILTRO CAMBIADO	SI			
Lubricante	ENSAYOS FISICO-QUIMICO			
	VISC. 40°C (cSt)	ASTM D 7279-18		
	VISC. 100°C (cSt)	ASTM D7279-18	12.46	
	INDICE DE VISCOSIDAD	ASTM D 2270		
	T.A.N. (mg/KOH/g)	ASTM D 974		
	T.B.N. (mg/KOH/g)	SGS-OGC-ME-06	9.73	
	INDICE DE PARTICULAS FERROSAS (PQ)	SGS-OGC-ME-07	11	
	SPOT TEST (CONTAMINACION)	SGS-OGC-ME-02	0.5	
	AGUA (CRAQUEO) TRAZNEG.	SGS-OGC-ME-03	NEGATIVO	
	AGUA, %V.	ASTM D 95		
DISPERSANCIA (BUE/REG/MALA)	SGS-OGC-ME-02	REGULAR		
Desgaste	ANALISIS ESPECTROFOTOMETRICO			
	HIERRO (Fe) P.P.M.	ASTM D 5185	12	
	CROMO (Cr) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	NIQUEL (Ni) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	ALUMINIO (Al) P.P.M.	ASTM D 5185	2	
	COBRE (Cu) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	PLOMO (Pb) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	ESTAÑO (Sn) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	PLATA (Ag) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	TITANIO (Ti) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
Contaminantes	MANGANESO (Mn) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	CADMIO (Cd) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	VANADIO (V) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	SILICIO (Si) P.P.M.	ASTM D 5185	8	
	SODIO (Na) P.P.M.	ASTM D 5185	3	
	POTASIO (K) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	BARIO (Ba) P.P.M.	ASTM D 5185	0	
	BORO (B) P.P.M.	ASTM D 5185	417	
	MOLIBDENO (Mo) P.P.M.	ASTM D 5185	43	
	MAGNESIO (Mg) P.P.M.	ASTM D 5185	29	
Aditivos	CALCIO (Ca) P.P.M.	ASTM D 5185	3627	
	FOSFORO (P) P.P.M.	ASTM D 5185	1080	
	ZINC (Zn) P.P.M.	ASTM D 5185	1191	
Lubricante	ANALISIS INFRARROJO			
	HOLLIN, A/.1 MM	ASTM E 2412	0.117	
	OXIDACION, A/.1 MM	ASTM E 2412	0.053	
	NITRACION, A/.1 MM	ASTM E 2412	0.074	
	SULFATACION, A/.1 MM	ASTM E 2412	0.064	
	DILUYENTE, %V.	SGS-OGC-ME-08		
	CONTEO DE PARTICULAS (Por 1ml)			
	>4 um	ASTM D 7596		
	>6 um	ASTM D 7596		
	>10 um	ASTM D 7596		
>14 um	ASTM D 7596			
>21 um	ASTM D 7596			
>38 um	ASTM D 7596			
>70 um	ASTM D 7596			
Codigo ISO	ISO 4406			

Muestra #
22068770

1. CONTAMINACIÓN:
No se evidencia presencia de diluyente/combustible.
2. ESTADO DEL LUBRICANTE:
Viscosidad algo baja, precaución. Podría deberse a cizallamiento de la película de lubricante.
3. DESGASTE:
Motor presenta desgastes normales.
4. RECOMENDACIONES:
Continuar con envío de muestra para monitoreo.

ANEXO N°5: Capacitación de buenas prácticas de lubricación a personal técnico de mantenimiento de la empresa Agroindustrial Agrolmos S.A. – diciembre 2021



ANEXO N° 6: Capacitación de interpretación de análisis de aceite a personal técnico de mantenimiento de la empresa Agroindustrial Agrolmos S.A. – enero 2022



ANEXO N°9 Cotización de servicio de análisis de aceite

CORPORACION PRIMAX S.A.

MyOilCheck

Servicio de análisis de aceites lubricantes.



COTIZACION N° 2200143



Laboratorio / Laboratory

CLIENTE: AGROOLMOS SA.
 ATENCION:
 REFERENCIA: Solicitud de Cotización
 FECHA: 6-Oct-22

Moneda USD

Cod. Producto	Servicio/Producto	Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
148	Servicio de Análisis de Aceites Usados - My Oil Check	Según lista de ensayos vigentes*	50	13.00	650.00

TOTAL sin IGV 18% 650.00

TOTAL Incluye IGV 18% 767.00

CONDICIONES DE VENTA:

- Precio en US\$ (dólares Americanos).
- Precio incluye frascos de muestras y envío a nivel de lima metropolitana, cantidad mínima de frascos 20.
- Precio no incluye materiales para la toma de muestra, ni recojo de muestras.
- Cantidad mínima de muestra requerida : 100 ml.
- Los resultados son enviados al correo electronica que indiquen.
- El tiempo máximo de almacenamiento de las contra-muestras es de 10 días
- Forma de Pago : Al contado.
- El horario de atención de nuestro laboratorio para la recepción de muestras es de 8:00 hasta 17.00 horas de lunes a viernes.
- La muestra será recepcionadas en nuestra dirección: Av. Contralmirante Mora 687 - Callao (Al costado de la Base Naval).
- Corporación Primax S.A. no acepta penalidades por demora en la entrega que no hayan sido previamente pactadas y aceptadas por escrito, asimismo, no acepta el pago de lucro cesante, ni daños consecuenciales por los servicios y/o trabajos realizados.
- Para cancelación de servicio realizar depósito en:

ANEXO N°10 Lista de métodos de ensayo vigentes para muestras de aceites en uso/usados

LISTA DE MÉTODOS DE ENSAYO VIGENTES PARA MUESTRAS DE LUBRICANTES EN USO/USADOS

MOTORES:

DESCRIPCIÓN	METODO	OBSEVACIONES
Viscosidad Cinemática a 100 °C, cSt	ASTM D7279	Determinación de viscosidad.
Presencia de Agua (Crackle Test) (1)	SGS-OGC-ME-03	Determinación cualitativa de agua.
Contenido de Agua por Destilación (%vol/vol) (2)	ASTM D95	Determinación cuantitativa de agua.
Contenido de Diluyente/combustible (3)	SGS-OGC-ME-08/ ASTM D322	Contaminación con combustible.
Spot Test	SGS-OGC-ME-02	Determinación cualitativa de contaminación.
Dispersancia	SGS-OGC-ME-02	Determinación cualitativa de la calidad del lubricante.
TBN (Número de Base)	SGS-OGC-ME-06	Determinación del número Básico (Aditivos Básicos).
TAN (Número de Acido) (4)	ASTM D974	Determinación del número de acidez (Degradación del lubricante).
FTIR, A/0.1 mm, % (5)	ASTM E2412	Determinación cuantitativa de contaminación del hollín, oxidación, nitración y sulfatación (Monitoreo del lubricante). Trazas de Agua y Glicol.
Determinación de: Hollín, Oxidación, Nitración, Metales, mg/Kg (Reporte de 22 Metales). Incluye Metales de Desgaste, Aditivos y Contaminantes (+)	ASTM D5185	Determinación de metales de desgaste, contaminación y aditivos.
Índice de Partículas Ferrosas	SGS-OGC-ME-07	Determina de manera cuantitativa las partículas de desgaste ferroso en muestras de aceite. Es una buena técnica para determinar las partículas de tamaño grande que por otras técnicas no es posible determinar.

(1). A las muestras que resulten positivas en el ensayo de Crackle Test, se cuantificará el contenido de agua por (2)
 (3). Se realiza a las muestras con viscosidad debajo de los límites para el grado.
 (4). Se realiza a las muestras de motores a gas.
 (5). Para esta prueba el cliente debe enviar 100ml de aceite nuevo.





ACTA DE SUSTENTACION VIRTUAL N°011-2023-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 09:00 a.m. del día miércoles 08 de marzo de 2023. Se reunieron vía plataforma virtual <http://meet.google.com/kif-hvan-qgg>, los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°058-2023-D-VIRTUAL-FIME, de fecha 07 de marzo de 2023, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ
Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
ING. NÉSTOR DANIEL PUYEN MATEO
ING. ROBINSON TAPIA ASENJO

PRESIDENTE
SECRETARIO
MIEMBRO
ASESOR

Se recibió la Tesis titulada:

“IMPLEMENTACION DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO MEDIANTE ANÁLISIS DE ACEITE MEJORANDO LA DISPONIBILIDAD DE CARGADOR FRONTAL CAT 962H EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AGROLMOS”

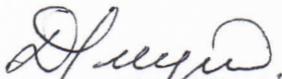
Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **GARNIQUE LLONTOP JAVIER GIAMPIERRE.**

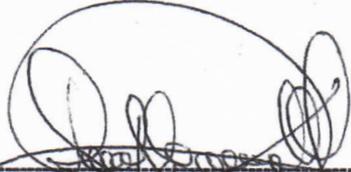
Finalizada la sustentación virtual de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (16) en la escala vigesimal, mención **BUENO.**

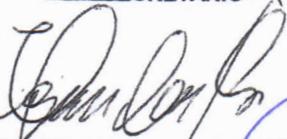
Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 10:00 a.m. del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:


M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ
PRESIDENTE


ING. NÉSTOR DANIEL PUYEN MATEO
MIEMBRO


Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
SECRETARIO


ING. ROBINSON TAPIA ASENJO
ASESOR


UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Decano
Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ

Lambayeque, 16 de febrero de 2023

Señor

Dr. FREDY DAVILA HURTADO

Director de la Unidad de Investigación FIME.

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Lambayeque.

CONSTANCIA DE CONFORMIDAD

Por intermedio del presente el Suscrito: **ROBINSON TAPIA ASENJO**, identificado con DNI N.º 16742683, Informo, que el Señor:

Bach. **JAVIER GIAMPIERRE GARNIQUE LLONTOP**, ha presentado su tesis denominada: **“IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO MEDIANTE ANÁLISIS DE ACEITE MEJORANDO LA DISPONIBILIDAD DE CARGADOR FRONTAL CAT 962H EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AGROLMOS S.A”**, luego de la revisión exhaustiva del documento he constatado que la misma tiene un índice de similitud de 17% verificable en el reporte de similitud del programa Turnitin. El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Por lo tanto, lo encuentro **APTO** para su sustentación, debiendo la unidad de investigación, coordinar con las unidades correspondientes, la respectiva sustentación, comprometiéndome a asistir a dicho acto de defensa del trabajo realizado.



ROBINSON TAPIA ASENJO

DNI: 16742683

ASESOR

IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO MEDIANTE ANÁLISIS DE ACEITE MEJORANDO LA DISPONIBILIDAD DE CARGADOR FRONTAL CAT 962H EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AGROLMOS S.A.

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.api.org Fuente de Internet	2%
2	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to usach Trabajo del estudiante	1%
8	docplayer.es Fuente de Internet	1%


** ROBINSON TAPIA ASEÑO **
ASESOR

9	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
10	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
11	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
12	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
14	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
16	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1 %
18	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
19	alsglobal.blog Fuente de Internet	<1 %
20	idoc.pub	

Fuente de Internet

<1 %

21

www.geodiesel.cl

Fuente de Internet

<1 %

22

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

23

Submitted to Instituto Superior de Artes,
Ciencias y Comunicación IACC

Trabajo del estudiante

<1 %

24

predictiva21.com

Fuente de Internet

<1 %

25

www.teboildiamond.fi

Fuente de Internet

<1 %

26

repositorio.uss.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

27

vsip.info

Fuente de Internet

<1 %

28

repositorio.uasf.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

29

biblioteca.usac.edu.gt

Fuente de Internet

<1 %

30

Submitted to University of La Guajira

Trabajo del estudiante

<1 %

31

www.mooreballiewoil.com

Fuente de Internet



Recibo digital

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

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Javier Giampierre Garnique Llontop
Título del ejercicio: Tesis Mayor
Título de la entrega: IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIV...
Nombre del archivo: Informe_Final.docx
Tamaño del archivo: 22.9M
Total páginas: 144
Total de palabras: 22,681
Total de caracteres: 123,743
Fecha de entrega: 16-feb.-2023 08:09p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2016117159




** ROBINSON TAPIA ASENJO **
ASESOR