

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO  
PREDICTIVO BASADO EN EL ANÁLISIS DE ACEITE PARA  
MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS TRACTOCAMIONES  
SINOTRUCK C7H, PARA LA EMPRESA SAVAR EN VENTANILLA  
2022”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECANICO

CARLOS EDUARDO QUISPE AZCA

OMAR ENRIQUE RABANAL VELÁSQUEZ

MG. ING. ELISEO PÁEZ APOLINARIO

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

A blue ink signature of Carlos Eduardo Quispe Azca.

Callao, 2023  
PERÚ

A blue ink signature of Omar Enrique Rabanal Velásquez.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**  
**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**

**N° 066-2023-UI-FIME**

# CONSTANCIA DE AUTENTICIDAD

LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO, quien suscribe;

**HACE CONSTAR:**

El(la) Señor(ita): **QUISPE AZCA CARLOS EDUARDO**, identificado(a) con DNI N° **73089018** y código de matrícula N° **1517102465**, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, ha concluido su **TESIS**, titulada: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANÁLISIS DE ACEITE PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS TRACTOCAMIONES SINOTRUK C7H, PARA LA EMPRESA SAVAR EN VENTANILLA 2022”**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Mecánico, cuyo reporte del sistema Urkund es 10% de similitud; por lo que en calidad de Director de la Unidad de Investigación y de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos (aprobado con Resolución N° 150-2023-CU del 15.06.23), se da constancia de la AUTENTICIDAD DE LA TESIS.

Se expide la presente, a solicitud del interesado(a) para los fines que estime pertinentes.

Bellavista, 25 de octubre del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ENERGÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Dr. Nelson Alberto Díaz Leiva  
Director

N°. Operación: 784.465.554.0462 SCOTIABANK S/ 8.00 25/10/2023 04:02 p.m.  
/Carmen.  
c.c.: Archivo



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**  
**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**

**N° 067-2023-UI-FIME**

# CONSTANCIA DE AUTENTICIDAD

LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO, quien suscribe;

**HACE CONSTAR:**

El(la) Señor(ita): **RABANAL VELÁSQUEZ OMAR ENRIQUE**, identificado(a) con DNI N° **48424771** y código de matrícula N° **1517110011**, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, ha concluido su **TESIS**, titulada: “**IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANÁLISIS DE ACEITE PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS TRACTOCAMIONES SINOTRUK C7H, PARA LA EMPRESA SAVAR EN VENTANILLA 2022**””, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Mecánico, cuyo reporte del sistema Urkund es 10% de similitud; por lo que en calidad de Director de la Unidad de Investigación y de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos (aprobado con Resolución N° 150-2023-CU del 15.06.23), se da constancia de la AUTENTICIDAD DE LA TESIS.

Se expide la presente, a solicitud del interesado(a) para los fines que estime pertinentes.

Bellavista, 26 de octubre del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ENERGÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Dr. Nelson Alberto Díaz Leiva  
Director

N°. Operación: 784.465.554.551.7737 SCOTIABANK S/ 8.00 26/10/2023 11:10 a.m.  
/Carmen.  
c.c.: Archivo



## **INFORMACIÓN BÁSICA**

**Facultad:**

Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía

**Unidad de Investigación:**

Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía

**Título:**

Implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los tractocamiones SINOTRUK C7H, para la empresa SAVAR en ventanilla 2022.

**Autores:**

Quispe Azca, Carlos Eduardo / 0000-0003-3512-6490 / 73089018

Rabanal Velásquez, Omar Enrique / 0000-0001-0351-1712 / 48424771

**ASESOR / CÓDIGO ORCID / DNI:**

Mg. Apolinario Eliseo Páez / 0000-0001-9666-5290 / 19948335

**Lugar de Ejecución:**

Av. Bocanegra 274, Callao, Lima - Perú

**Unidad de Análisis:**

Tractocamiones SINOTRUK C7H.

**Enfoque / Tipo / Diseño de la investigación:**

Enfoque cuantitativo / Tipo Aplicado / Diseño pre experimental.

**Tema OCDE:**

Ingeniería Mecánica

## **HOJA DE REFERENCIA**

### **MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR**

Presidente: DR. FELIX ALFREDO GURRERO ROLDAN

Secretario: DR. GUSTAVO ORDOÑEZ CARDENAS

Miembro: MG. CARLOS ZACARIAS DIAZ CABRERA

Asesor: MG. APOLINARIO ELISEO PÁEZ

N° de Libro: 001

N° de Folio: 147

N° de Acta: 121

Fecha de Aprobación de tesis: 25 DE JUNIO 2023

## **DEDICATORIA**

A mis padres por el apoyo constante y la dedicación para lograr este paso más en mi desarrollo profesional y personal, a su vez a mi hermano que a pesar de las dificultades siempre podré contar con ellos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional del Callao y a mis catedráticos quienes fueron los Pilares fundamentales en el crecimiento académico y profesional.

Al Ingeniero Will Najarro (jefe de planeamiento) por el apoyo en el estudio realizado dentro de la empresa.

Al Mg. Eliseo Páez por su asesoría durante el ciclo de Taller para lograr con éxito el desarrollo de mi presente trabajo.



# ÍNDICE

RESUMEN .....	11
ABSTRACT .....	12
INTRODUCCIÓN .....	13
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	15
1.2. Formulación del problema.....	18
1.2.1. Problema general .....	18
1.2.2. Problemas específicos.....	18
1.3. Objetivos .....	18
1.3.1. Objetivo general .....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Justificación .....	19
1.4.1. Justificación Práctica .....	19
1.4.2. Justificación Metodológica.....	19
1.4.3. Justificación Económica .....	19
1.4.4. Justificación Ambiental .....	20
1.5. Delimitantes de la investigación.....	20
1.5.1. Delimitante Teórica.....	20
1.5.2. Delimitante Temporal .....	20
1.5.3. Delimitante Espacial .....	21
II. MARCO TEORICO.....	22
2.1. Antecedentes .....	22
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	22
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	25
2.2. Bases Teóricas .....	29
2.2.1. Historia del Mantenimiento .....	29
2.2.2. Tipos de mantenimiento .....	31
2.2.3. Definición del mantenimiento predictivo .....	31
2.2.4. Ventajas, desventajas y aplicaciones del mantenimiento predictivo.	31
2.2.5. Mantenimiento basado en condición (MBC).....	32

2.2.6.	Técnicas del mantenimiento predictivo basado en condición .....	33
2.2.7.	Tribología, fricción y desgaste .....	35
2.2.8.	Fundamentos de lubricación .....	37
2.2.9.	Método de muestreo de aceite .....	43
2.2.10.	Razones para realizar análisis de aceite.....	46
2.2.11.	Pruebas de aceite más comunes para aceite lubricante de motores diésel y sistemas hidráulicos .....	47
2.2.12.	Límites de los fabricantes original de maquinaria (OEM) .....	57
2.2.13.	Preámbulo para elaborar un plan de mantenimiento. ....	59
2.2.14.	Métodos para el análisis de fallas .....	59
2.2.15.	Indicadores de Mantenimiento .....	61
2.3.	Marco Conceptual.....	63
2.4.	Definición de términos básicos .....	66
III.	HIPOTESIS Y VARIABLES .....	68
3.1.	Hipótesis .....	68
3.1.1.	Hipótesis general.....	68
3.1.2.	Hipótesis específicos.....	68
3.2.	Operacionalización de variable .....	69
IV.	METODOLOGIA DEL PROYECTO.....	70
4.1.	Diseño Metodológico:.....	70
4.2.	Método de investigación: .....	72
4.3.	Población y muestra.....	72
4.3.1.	Población.....	72
4.3.2.	Muestra .....	73
4.4.	Lugar de estudio .....	73
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de información.....	73
4.5.1.	Técnicas .....	73
4.5.2.	Instrumentos.....	74
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.....	75
4.6.1.	Identificación y diagnóstico del equipo .....	84
4.6.2.	Análisis de aceite.....	88
4.6.3.	Recolección de información .....	90
4.6.4.	Resultado e diagnóstico .....	93

4.6.5.	Seguimiento de gráficos .....	101
4.7.	Aspectos Éticos en Investigación.....	121
V.	RESULTADOS .....	122
5.1.	Resultados descriptivos .....	122
5.1.1.	Indicadores de mantenimiento.....	122
5.2.	Resultados inferenciales .....	125
5.3	Resultados Financieros.....	132
VI.	DISCUSION DE RESULTADOS .....	133
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados. ....	133
6.1.1.	Contrastación de la hipótesis general.....	133
6.1.2.	Contrastación de la hipótesis específicas.....	133
6.2.	Contrastación con estudios similares.....	134
6.2.1.	Contrastación de los resultados con estudios internacionales ...	134
6.2.2.	Contrastación de los resultados con estudios nacionales .....	136
6.3.	Responsabilidad ética.....	138
VII.	CONCLUSIONES.....	139
VIII.	RECOMENDACIONES .....	140
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	141
X.	ANEXOS .....	145
Anexo 1:	Matriz de consistencia .....	145
Anexo 2:	Diagrama de Ishikawa. ....	146
Anexo 3:	Dializador de aceite hidráulico.....	147
Anexo 4:	Especificaciones técnicas de Dializador de aceite hidráulico .....	148
Anexo 5:	Especificaciones técnicas de Nuto H Series Mobil .....	149
Anexo 6:	Consentimiento de uso de información.....	151
Anexo 7:	Capacitación de técnicos sobre toma de muestras. ....	152
Anexo 8:	Examen de rendimiento al personal. ....	155
Anexo 9:	Muestras de aceite del sistema hidráulico y motor. ....	159

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribución de costos acumulados del año 2021 de tracto camiones por Operación .....	16
Figura 1.2. Disponibilidad de la operación concentrado – año 2021.....	16
Figura 1.3. Análisis de Criticidad de Falla por Sistema del año 2021 .....	17
Figura 2.1 Mantenimiento basado en condición.....	33
Figura 2.2 Registro de vibraciones en un ciclo de trabajo en función del tiempo. ....	34
Figura 2.3 Registro de vibraciones en un ciclo de trabajo en función del tiempo. ....	34
Figura 2.4 Análisis de aceites. Presencia de partículas sólidas. ....	35
Figura 2.5 Lubricación deficiente Vs Buena lubricación.....	37
Figura 2.6 Comparativa al suministrar aditivos al aceite. ....	41
Figura 2.7 Comparativa al suministrar aditivos al aceite. ....	42
Figura 2.8 Extracción de muestras de aceite lubricante por conector.....	44
Figura 2.9. Extracción de muestra de aceite lubricante por tapón de drenado	45
Figura 2.10. Método de extracción por vacío .....	45
Figura 2.11 Viscosímetro capilar ASTM D445-97 .....	49
Figura 2.12 Acción de la viscosidad.....	50
Figura 2.13 Acción del TBN .....	50
Figura 2.14 Acción contaminación con agua .....	53
Figura 2.15. Acción de partículas de desgaste .....	55
Figura 2.16. Acción de partículas de desgaste .....	56
Figura 2.17. Límites estadísticos.....	58
Figura 2.18 Diagrama de Pareto. ....	60
Figura 2.19 Diagrama de Ishikawa.....	60
Figura 4.1 Plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite .....	75

Figura 4.2. Plan de mantenimiento preventivo de equipos. ....	77
Figura 4.3 Formato de orden de trabajo no planificado.....	78
Figura 4.4 Formato de trabajo planificado.....	79
Figura 4.5 Formato de trabajo planificado.....	80
Figura 4.6 Dializador hidráulico.....	82
Figura 4.7 Responsabilidades del área de mantenimiento SAVAR. ....	83
Figura 4.8 Componentes del sistema hidráulico. ....	85
Figura. 4.9. Procedimiento para obtener el muestreo de aceite: sistema de Motor.....	91
Figura. 4.10. Procedimiento para obtener el muestreo de aceite: Sistema hidráulico.....	92
Figura. 4.11 Resumen del estado general del análisis de aceite para el sistema motor, Pre-implementación. ....	95
Figura. 4.12 Resumen del estado general del análisis de aceite para el sistema motor, Prueba .....	96
Figura. 4.13 Resumen del estado general del análisis de aceite para el sistema motor, Post-implementación.....	97
Figura. 4.14 Resumen del estado general del análisis de aceite para el sistema hidráulico, Pre-implementación.....	98
Figura. 4.15 Resumen del estado general del análisis de aceite para el sistema hidráulico, Prueba .....	99
Figura. 4.16 Resumen del estado general del análisis de aceite para el sistema hidráulico, Post-implementación. ....	100
Figura. 4.17 Salud del lubricante: viscosidad a 100°C y TBN (mgKOH/g). ....	101
Figura. 4.18 Resultados de contaminación del lubricante: Na, K, Si, Hollín. Pre implementación.....	102
Figura. 4.19 Resultados del desgaste del lubricante: Fe, Cu, índice de PQ, Al, Pb y Sn. Pre implementación.....	103

Figura. 4.20 Resultados de salud del lubricante: Viscosidad. Pre- implementación. ....	104
Figura. 4.21 Resultados de contaminación del lubricante. Pre-implementación. .....	105
Figura. 4.22 Resultados del desgaste del lubricante: Fe, Cu, índice de PQ, Al, Pb y Sn. Pre implementación. ....	106
Figura. 4.23 Salud del lubricante: viscosidad a 100°C y TBN (mgKOH/g). Prueba .....	107
Figura. 4.24 Resultados de salud del lubricante: Na, K, Si, Hollín. Prueba....	108
Figura. 4.25 Resultados del desgaste del lubricante: Fe, Cu, índice de PQ, Al, Pb y Sn. Prueba. ....	109
Figura. 4.26 Resultados de salud del lubricante: Viscosidad. Prueba.....	110
Figura. 4.27 Resultados del desgaste del lubricante: Fe, Cu, índice de PQ, Al, Pb y Sn. Prueba. ....	111
Figura. 4.28 Resultados de salud del lubricante: Viscosidad y TBN. Prueba.	112
Figura. 4.29 Resultados de salud del lubricante: Na, K, Si, Hollín. Post prueba. .....	113
Figura. 4.30 Resultados del desgaste del lubricante: Fe, Cu, índice de PQ, Al, Pb y Sn. Post prueba. ....	114
Figura. 4.31 Resultados de salud del lubricante: Viscosidad. Post prueba....	115
Figura. 4.32 Resultados de contaminación del lubricante. Post prueba.....	116
Figura. 4.33 Resultados del desgaste del lubricante: Fe, Cu, índice de PQ, Al, Pb y Sn. Post prueba. ....	117
Figura 4.34 Grafica – Evolucion de MTBS .....	118
Figura 4.35 Evolución de MTTS.....	119
Figura 4.36 Evolución de Disponibilidad .....	119
Figura 4.37 Evolución de Cantidad de Paradas .....	120
Figura 4.38 Evolución del Mantenimiento .....	120

Figura 5.1. Comparación de la disponibilidad promedio – antes y después de la implementación. ....	123
Figura 5.2. Comparación de MTTS promedio – antes y después de la implementación. ....	124
Figura.5.3 Comparación de MTBS promedio – antes y después de la implementación. ....	125

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Evolución del mantenimiento a lo largo del tiempo. ....	30
Tabla 2.2 Propiedades claves de los aceites básicos. ....	38
Tabla 2.3 Características claves de los aceites básicos nuevos. ....	39
Tabla 2.4 Pruebas más utilizadas en el análisis del aceite .....	47
Tabla 2.5 Código de contaminación sólida ISO 4406:99 .....	48
Tabla 2.6 Parámetros analizados por FTIR. ....	51
Tabla 2.7. Elementos observados en el análisis de espectroscopia de elementos. ....	53
Tabla: 2.8 Origen de partículas metálicas en el motor. ....	54
Tabla:2.9 Origen de partículas metálicas en sistemas Hidráulicos. ....	55
Tabla 2.10. Límites de acción del OEM's. ....	57
Tabla 3.1. Operacionalización de variables .....	69
Tabla 4.1. Frecuencia de mantenimiento del sistema de motor. ....	80
Tabla 4.2. Frecuencia de mantenimiento del sistema hidráulico. ....	81
Tabla 4.3. Ficha técnica del dializador DAH (01). ....	81
Tabla 4.4. Programa de muestreo de aceite de motor. ....	82
Tabla 4.5. Programa de muestreo de aceite hidráulico. ....	83
Tabla 4.6. Programa de muestreo de aceite de motor. ....	84
Tabla 4.7. Especificaciones del motor MC13 y ciclo de cambio, ....	86
Tabla 4.8. Tipo de lubricante – Sistema Hidráulico .....	86
Tabla 4.9. Propiedades y especificaciones de aceite Nuto H .....	87
Tabla 4.10. Intervalo de mantenimiento preventivos motores MC13 .....	87
Tabla 4.11. Frecuencia de mantenimiento – Sistema Hidráulico .....	88
Tabla 4.12. Parámetros y métodos en el análisis de aceite .....	88
Tabla 4.13. Tabla de límites condenserios: Motor .....	89



Tabla 4.14. Tabla de límites condenatorios: Hidráulico.....	89
Tabla 4.15. Tabla de herramientas utilizadas en el muestreo de aceite .....	90
Tabla 4.16. Estado del aceite lubricante y componentes .....	93
Tabla 4.17. Resultado de análisis de aceite para el sistema motor. ....	94
Tabla 4.18. Resultado de análisis de aceite para el sistema hidráulico .....	94
Tabla 4.19. Unidades de prueba. ....	107
Tabla 4.20. Grupo de prueba. ....	110
Tabla 4.21. Resultados de contaminación del lubricante. Prueba.....	111
Tabla 4.22 Cuadro resumen de Kpis 2021 vs 2022 .....	118
Tabla 5.1. Análisis estadístico de la disponibilidad del tracto camiones .....	122
Tabla 5.2. Análisis estadístico del MTTS del tracto camiones .....	123
Tabla 5.3. Análisis estadístico del MTBS del tracto camiones .....	124
.....	124
Tabla 5.4. Prueba de Kolmogorov Smirnov (KS) para índice de Disponibilidad, Índice de Mantenibilidad e Índice Confiabilidad .....	126
Tabla 5.5. Comparación de medias de la Disponibilidad .....	127
Tabla 5.6. Estadístico de prueba de T-Student.....	127
Tabla 5.7. Comparación de medias de la Mantenibilidad.....	129
Tabla 5.8. Estadístico de prueba de T-Student.....	129
Tabla 5.9. Comparación de medias de la Confiabilidad .....	131
Tabla 5.10. Estadístico de prueba de T-Student.....	131
Tabla 5.11 Resumen de Inversión .....	132
Tabla 5.12 Resumen de Beneficio .....	132
Tabla 5.13 Resumen de Mantenimiento 2021 .....	132
Tabla 5.14 Retorno de Inversión .....	132
Tabla 5.15 Resultado de inversión.....	133

## **INDICE DE ABREVIATURAS**

**MTTF:** TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR.

**MTBS:** TIEMPO PROMEDIO ENTRE PARADA POR FALLA

**OEM:** FABRICANTE DE EQUIPOS ORIGINAL

**cSt:** CENTISTOKES

**OT:** ORDEN DE TRABAJO

## RESUMEN

El trabajo de investigación de tesis titulado “Implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los tractocamiones SINOTRUK C7H, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022”, consistió en implementar un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los tractocamiones SINOTRUK C7H, para la empresa SAVAR ubicada en Ventanilla, provincia de Callao.

Para lograr el objetivo se realizó un análisis de criticidad de los sistemas que compone el tractocamión en la operación que desarrolla, a partir de ello se procedió con la ejecución del plan de mantenimiento predictivo que partió de la identificación del componente a monitorear, análisis de aceite, toma de muestras de aceite, resultados y diagnóstico de los sistema motor e hidráulico.

El trabajo de investigación utiliza el método hipotético-deductivo, el enfoque empleado fue cuantitativo, el tipo de investigación fue aplicada, y el diseño de investigación fue pre-experimental de corte transversal. La población estuvo conformada por 62 tractocamiones y el método de muestreo fue no probabilística del tipo intencional, conformada por 08 tractocamiones.

Aplicando un plan de mantenimiento predictivo basado en los análisis de aceite se logró mejorar la disponibilidad promedio de la flota de tractocamiones de un 86% en el año 2021 a un 91% en el año 2022, el incremento fue de 5%; logrando superar el estándar corporativo de tener como mínimo un 90% de disponibilidad mecánica.

**Palabras Clave:** Mantenimiento predictivo, análisis de lubricantes, criticidad, análisis de fallas.

## **ABSTRACT**

The thesis research work entitled "Implementation of a predictive maintenance plan based on oil analysis to improve the availability of SINOTRUK C7H tractor trucks, for the SAVAR company in 2022", consisted of implementing a predictive maintenance plan based on oil analysis to improve the availability of SINOTRUK C7H tractor trucks, for the SAVAR company located in Ventanilla, province of Callao.

To achieve the objective, a criticality analysis was carried out on the systems that make up the tractor-trailer in the operation it carries out, from which we proceeded with the execution of the predictive maintenance plan that started from the identification of the component to be monitored, oil analysis, taking oil samples, results and diagnosis of the engine and hydraulic systems.

The research work uses the hypothetical-deductive method, the approach used was quantitative, the type of research was applied, and the research design was pre-experimental cross-sectional. The population was made up of 62 tractor-trailers and the sampling method was non-probabilistic of the intentional type, made up of 08 tractor-trailers.

By applying a predictive maintenance plan based on oil analysis, it was possible to improve the average availability of the truck fleet from 86% in 2021 to 91% in 2022, the increase was 5%; managing to exceed the corporate standard of having at least 90% mechanical availability.

**KEY WORDS:** Predictive maintenance, lubricant analysis, criticality, failure analysis.

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento predictivo es una herramienta tecnológica, que tiene como principal objetivo detectar anomalías en su operación y posibles defectos en equipos y procesos para que pueda ser reparados antes de que provoquen la falla (Ávala, 2010).

Las empresas de transporte de carga desarrollan sus actividades basadas en un régimen de operación según corresponda al cliente, por ello esta herramienta de análisis predictivo es importante para la elaboración de un adecuado plan de mantenimiento general e incremento de la confiabilidad (MTBF) y reducción de la mantenibilidad (MTTR), así logrando una mejora de disponibilidad mecánica.

Es aquí donde se dio a conocer la mejora de la disponibilidad aplicando un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de lubricantes (aceite), permitiendo realizar un análisis y monitoreo de los parámetros de salud, contaminación y desgaste (SACODE) en los sistemas motor e hidráulico sin exceder los límites condensorios del Original Equipment Manufacturer - OEM (Smith, 2018), con el fin de obtener la disminución y aparición de fallas imprevistas, reduciendo los costos de mantenimiento y aumentando la frecuencia de cambio de aceite de los sistemas motor e hidráulico.

El contenido de esta investigación consta de seis capítulos como se indica a continuación:

Primer capítulo, Planteamiento del problema, la cual describió la problemática de la investigación, formulación del problema, y limitantes de la investigación

Segundo capítulo, Marco teórico, donde se mencionó los antecedentes nacionales e internacionales como aportes al trabajo de investigación y sus aportes teóricos, marco conceptuales definiciones de términos básicos

Tercer capítulo, Hipótesis, se plantearon las variables que permitirán la elaboración de la matriz de operacionalización de las variables dependientes e independientes.

Cuarto capítulo, Metodología de la investigación, la cual se desarrolló el diseño metodológico, método de investigación, población y muestra, lugar de estudio, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, así como los aspectos éticos de la investigación.

Quinto capítulo, se visualizó los resultados, y se realizó la verificación con las hipótesis planteadas.

Sexto capítulo, se realizó la discusión de resultados y demostración de las hipótesis con otros estudios similares.

Se concluye con el séptimo, octavo y noveno capítulo, donde se elabora las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos empleados en la investigación de tesis.

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Descripción de la realidad problemática**

Según Dorta (2013, p.6) indica que el transporte carga terrestre juega un papel importante dentro de la cadena logística, básicamente en los procesos de aprovisionamiento y distribución; sin embargo, éstos a la vez guardan estrecha relación con los procesos productivos y, por esa razón, no puede aislarse el transporte de la cadena logística.

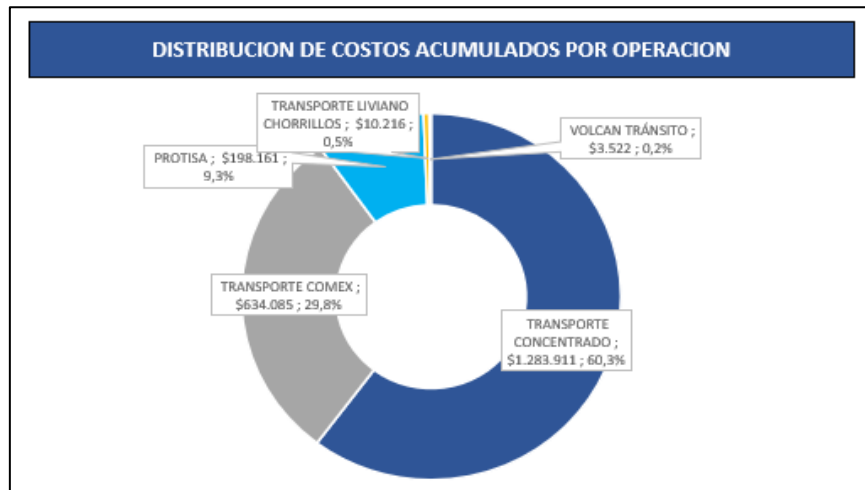
A su vez Barbero y Guerrero (2017, p.6) indican que el transporte automotor de carga (TAC) es el modo de transporte terrestre más importante en Latinoamérica. Corresponde la movilización de más del 70% de las cargas nacionales de la región, y su participación en el comercio entre los países de la región es creciente. No obstante, su relevancia, el nivel de conocimiento sobre su desempeño es escaso, notablemente menor que el registrado en el caso de otros modos de transporte, como el ferrocarril, el transporte marítimo o el transporte aéreo.

También Solanilla (2012, p.7) menciona que las empresas de transporte terrestre más grandes en Perú que a pesar de ocupar aproximadamente un 2% del mercado y pertenecer a grandes grupos empresariales, tienen una participación importante en la movilización de productos de compañías reconocidas.

Es aquí donde la empresa SAVAR Corporación Logística S.A se ha convertido en un grupo empresarial con inversiones en almacenes, transporte, distribución logística, operaciones mineras, transporte especializado en minería, así como inmobiliaria y agroindustria. Atendiendo un total de 05 operaciones: Transporte Comex (54.5%), Transporte Concentrado (30.7%), Protisa (12.4%), Volcán Tránsito (1.5%) y Transporte Liviano (1.0%), con un total de 202 tracto camiones.

Donde la operación Transporte Concentrado que el taller se ubica Ventanilla, representa un costo del 60.3 % respecto a todos los tractos camiones de la empresa SAVAR.

**Figura 1.1 Distribución de costos acumulados del año 2021 de tracto camiones por Operación**



Tras lo mencionado anteriormente se debe dar a conocer que la flota de tracto camiones del área de concentrado, no cuenta con un plan de mantenimiento predictivo que les permita controlar adecuadamente el mantenimiento mecánico de la flota y poder garantizar un servicio óptimo, lo que da lugar a paradas innecesarias, elevados costos en mantenimiento y una disponibilidad por debajo del 90%.

**Figura 1.2. Disponibilidad de la operación concentrado – año 2021**

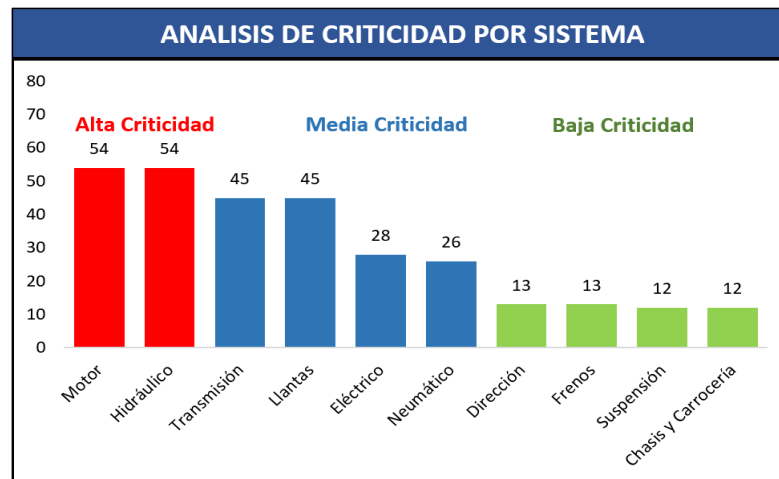


Según la figura 1.2 se observa que la disponibilidad promedio del año 2021 es de 86.2 %, siendo un valor que no logra superar el estándar óptimo.



Se procedió a realizar un análisis de criticidad en base a la metodología Norsok Standard Z-008, donde se analizó 5 criterios claves para el desarrollo de la flota: seguridad, ambiente, producción, costo (operacional y mantenimiento) y tiempo promedio para reparar.

**Figura 1.3. Análisis de Criticidad de Falla por Sistema del año 2021**



Se observa de la figura 1.3 que el sistema motor e hidráulico son de alta criticidad para el desarrollo de la Operación Concentrado y si no existe un cronograma de monitoreo y control del aceite lubricante que nos permita visualizar el estado de la salud, contaminación y desgaste (SACODE), este en cualquier momento puede presentar anomalías e incluso ocasionar daños perjudiciales a los componentes internos de los sistemas motor e hidráulico.

Por esta razón la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite es fundamental para poder minimizar las averías o fallas que se pueden presentar en los sistemas mecánicos. Además, se podrá optimizar los intervalos de cambio de aceite y componentes en los sistemas motor e hidráulico.

Por lo expuesto, esta investigación implementó un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite que cumpla las recomendaciones del OEM y mejore la disponibilidad de la flota de tracto camiones Sinotruk superando la meta del 90%.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite pueda mejorar la disponibilidad de los tractocamiones Sinotruk C7H, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿De qué manera la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite pueda aumentar el MTBF de los tractocamiones Sinotruk C7H, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022?
  
- ¿De qué manera la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite disminuya el MTTR de los tractocamiones Sinotruk C7H, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Implementar un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite que pueda mejorar la disponibilidad de los tractocamiones Sinotruk C7H, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar como la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite pueda aumentar el MTBF de los tractocamiones Sinotruk C7H, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022.
  
- Determinar como la implementación de un plan de mantenimiento

predictivo basado en el análisis de aceite disminuya el MTTR de los tractocamiones Sinotruk C7H, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022.

#### **1.4. Justificación**

##### **1.4.1. Justificación Práctica**

Según Suarez (2012, p.19), refiere que la justificación debe estar bien fundamentada y servir como guía para resolver un problema y esto se sintetiza con responder la pregunta de ¿Por qué es conveniente llevar a cabo la investigación?

Según lo argumentado anteriormente en la presente investigación se justifica la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite para el mejoramiento de la disponibilidad de los tractocamiones Sinotruk C7H, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022.

##### **1.4.2. Justificación Metodológica**

Según los autores Ñaupas, Valdivia, Palacios y Romero (2018, p.221). indican que el uso demostrado de técnicas e instrumentos puedan replicarse en investigaciones futuras

Según lo argumentado anteriormente en la presente investigación se justifica en la implementación de una metodología sistematizada y práctica para el mejoramiento de la disponibilidad de los tractocamiones Sinotruk C7H, lo cual permitió que empresas donde se trabaje con el mismo modelo de tractocamión reciban la información para mejorar su gestión de mantenimiento.

##### **1.4.3. Justificación Económica**

Según Baena (2017), indica que es necesario la justificación del dinero invertido durante el proceso ya que se puede recuperar

La presente investigación se justifica de manera que la implementación de un adecuado plan de mantenimiento predictivo, permitió a la operación de transporte concentrado, tener a su servicio una mayor cantidad tractocamiones disponibles para el tránsito de carga, por ende, el aumento de los ingresos económicos a la empresa SAVAR en el año 2022.

#### **1.4.4. Justificación Ambiental**

A su vez la investigación se justifica en la optimización de las frecuencias de mantenimiento en los sistemas motor e hidráulico, lo que permitió reducir las intervenciones por cambio de lubricante logrando una disminución en el desecho de los mismos y así generando un impacto positivo al medio ambiente.

### **1.5. Delimitantes de la investigación**

#### **1.5.1. Delimitante Teórica**

Según Carrasco (2005) consistió en la organización de los temas principales en orden lógico y deductivo, que forma parte del marco teórico en el que se delimitan las variables del problema de investigación

La presente investigación tiene delimitación teórica debido a que abordó los estudios sobre el mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite y conceptos de tribología para la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo que mejoró la disponibilidad de los tractocamiones Sinotruk.

#### **1.5.2. Delimitante Temporal**

Según Carrasco (2005) infiere que el periodo de tiempo donde se desarrollan los hechos, puede ser de uno o más años, lo cual en la investigación tiene delimitación temporal, debido a que los tiempos de

análisis tomados en consideración fueron en los años 2021 y 2022, donde se apreció la mejora de la disponibilidad de los tractocamiones Sinotruk.

### **1.5.3. Delimitante Espacial**

Según Carrasco (2005) consiste en señalar específicamente el lugar donde se realiza la investigación, es así donde la investigación tiene delimitación espacial, ya que el plan de mantenimiento predictivo se desarrolló en uno de los talleres de la empresa SAVAR, ubicado en Carr. A Playa Los Delfines, Ventanilla.

## **II. MARCO TEORICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

- Zambrano (2021) en su tesis de maestría “Estudio de la aplicación del mantenimiento predictivo en motores diésel en la provincia de Manabí”, tuvo como objetivo principal la realización de un análisis bibliográfico sobre la situación actual del mantenimiento en el sector automotriz, a su vez el diseño es de tipo pre experimental con un enfoque cualitativo basado en el estudio deductivo, para la complementación del objetivo se realizó una búsqueda de información en sus principales base de datos de la empresa SAVAR. Para Zambrano en su investigación concluye en una importante documentación de contenido especializado para la industria y un histórico de las posibles fallas, al no tener en cuenta el mantenimiento predictivo en todas sus etapas. El resultado de la aplicación de la tecnología de mantenimiento predictivo a los motores diésel en el estado de Manabí fue desfavorable.

Importancia: Del trabajo se consideró algunas definiciones sobre el mantenimiento predictivo y se contrasto con la metodología empleada.

- Álvarez (2019), en sus tesis de maestría “Metodología de diagnóstico basado en análisis discriminante para motores de combustión interna como una herramienta del mantenimiento predictivo mediante análisis de aceites lubricantes”, tuvo como objetivo principal el desarrollo de una metodología de diagnóstico basado en el análisis discriminante para motores de combustión interna como una herramienta de mantenimiento predictivo mediante el análisis de aceites lubricantes, tiene un tipo de diseño experimental, con un enfoque cuantitativo y de técnica de manipulación de dispositivos a su vez también desarrollo una metodología de diagnóstico basado en análisis discriminante para motores de combustión interna finalmente concluyó que es posible la

implementación de una metodología de diagnóstico de aceites lubricantes para motores de combustión interna basado en análisis discriminante con un 94.7% de casos clasificados correctamente que permite predecir el momento en el cuál el aceite estará deteriorado y no cumplirá su función lubricante.

Importancia: Del trabajo mencionado se consideró definiciones del análisis de aceite, lubricantes y calculo en los porcentajes de análisis discriminante.

- También Abid (2018) en su artículo científico "A data-driven prognostics approach for gearbox fault diagnosis and remaining useful life estimation using oil debris analysis" tuvo como objetivo principal un enfoque de pronóstico basado en datos para el diagnóstico de fallas y la estimación de la vida útil restante de los sistemas de engranajes, utilizando análisis de escombros de aceite y técnicas de aprendizaje automático, en su artículo detalló el enfoque de manera cualitativa y utilizo una técnica de recolección de datos, además Abid utilizo un conjunto de datos de análisis de escombros de aceite de un sistema de engranajes de turbina eólica para entrenar y probar su modelo de pronóstico basado en datos, los resultados mostraron que su modelo pudo diagnosticar con precisión las fallas en el sistema de engranajes, como el desgaste de los engranajes y la contaminación del aceite, además, el autor utilizó su modelo de pronóstico basado en datos para estimar la vida útil restante de los componentes del sistema de engranajes, lo que previene fallas inesperadas y costosas.

Importancia: Del artículo se consideró el diagnóstico de fallas y el procesamiento de datos.

- Rodríguez (2017) en su tesis de grado "Plan de mantenimiento predictivo de motores automotrices mediante análisis de aceite. Caso:

Empresa Coordinadora Mercantil S.A.”, el trabajo de investigación tuvo como objetivo general el diseño y la implementación de un plan de mantenimiento predictivo a través del análisis de aceite usado en los motores de la flota de transporte de la empresa Coordinadora Mercantil S.A., Sede Santiago de Cali, Colombia también cuenta con un diseño experimental de enfoque cuantitativo y se concluyó que el plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite fue exitoso, dado que al seguir el procedimiento establecido, se pudieron determinar el estado general de los motores automotrices de la flota de transporte de la empresa Coordinadora Mercantil, sede Cali, interviniéndose en las ocasiones que lo ameritaban, impidiendo de esta manera, fallas en ruta de las móviles, paradas no programadas que ocasionan pérdidas tanto económicas como de credibilidad en la empresa.

Importancia: Del trabajo de investigación se consideró definiciones del mantenimiento predictivo y análisis de aceite. Se contrastó sus resultados con los obtenidos en la investigación.

- Paubla y Mayra (2016), “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.” el trabajo de investigación tuvo como objetivo general plantear un programa de mantenimiento RCM a través de las pruebas de aceite para el monitoreo por condición de la flota de buses de la empresa SOMOS K, basado en necesidad que presentaba la empresa frente a la disponibilidad de los buses para la prestación del servicio, a su vez tuvo como diseño la investigación experimental y de método inductivo-deductiva con instrumentos que utilizaron diversas fuentes llegando a la conclusión de que la correcta interpretación y análisis de los resultados de laboratorio, permite al departamento de mantenimiento a generar un plan de acción y tomar medidas preventivas y/o correctivas para garantizar la confiabilidad de los equipos.



Importancia: Del trabajo de investigación se consideró definiciones sobre indicadores de mantenimiento, además da un claro ejemplo de como la implementación de un plan de monitoreo y control eleva la disponibilidad de la flota.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Roger (2021), en su tesis de grado “Aplicación del análisis de aceite para incrementar la disponibilidad mecánica de los cargadores de bajo perfil R1300G de la Empresa COMICIV, Kolpa 2018”, tuvo como objetivo general plantear el uso del análisis de aceite para incrementar la disponibilidad mecánica de los cargadores de bajo perfil R1300G de la empresa contratista Comiciv en la compañía minera Kolpa, se aplicó una metodología de investigación aplicada cuyo nivel fue experimental y diseño pre-experimental con pre-prueba y post-prueba, teniendo como grupo de análisis cuatro cargadores de bajo perfil R1300G, con tiempo de operación en promedio tres y cuatro años de antigüedad, se concluyó que el uso en conjunto del análisis de aceite con el mantenimiento preventivo mediante su aplicación, pudo incrementar la disponibilidad mecánica y reducir los costos de mantenimiento para una adecuada gestión del área, llegando a elevar la disponibilidad mecánica en 3.85% luego de modificar algunas actividades de mantenimiento.

Importancia: Del trabajo de investigación se consideró la selección de equipos por concepto de criticidad y definiciones de mantenimiento.

Dominguez (2019) en su tesis de grado “Implementación de un mantenimiento basado en el análisis de aceite para incrementar la disponibilidad de una excavadora Cat 336 de GYM - Tacna”, el trabajo de investigación tuvo como objetivo general dar un mantenimiento eficaz mediante el análisis de aceite el cual se realizó a través de programas de análisis, los análisis se hicieron con Mobil serv, programa que analiza los lubricantes de la maquinaria, se identifican los problemas que

se suscitan o que sucederán, se logra evitar las paradas mecánicas ocurrentes con frecuencia en el proyecto, las cuales frecuentan, se aplicó una metodología descriptiva de tipo documental y experimental, así mismo concluyó que el desarrollo del plan de mantenimiento, redujo en su totalidad las paradas, dando como resultado un rendimiento óptimo en el equipo, un menor gasto por pérdidas y tiempo consumido en el proyecto. Para el desarrollo de esta investigación, se realizó de acuerdo a cada manual del equipo.

Importancia: Del trabajo de investigación se consideró la selección de límites aceptables en el análisis de aceite según el fabricante y definiciones de lubricante.

Medina (2017) en su tesis de grado “Análisis y monitoreo del aceite lubricante en la anticipación de fallas de maquinaria pesada, como herramienta de mantenimiento proactivo”, el trabajo de investigación tuvo como objetivo general, anticipar las fallas producidas en los equipos Volvo mediante la implementación de un programa de mantenimiento proactivo, que permita un control de contaminación en sus unidades y de esta manera aumentar la disponibilidad y disminuir costos de mantenimiento de los equipos de maquinaria pesada, se aplicó una metodología de investigación aplicada cuyo nivel fue experimental y diseño pre experimental con pre prueba y pos prueba, por último se realizó una evaluación económica, mediante cuadros comparativos que nos muestran los beneficios de la herramienta usada, concluyó que el enfoque proactivo nos permite diagnosticar los problemas en los motores diésel, usando el análisis de aceite, brindando de esta manera un adecuado y seguro funcionamiento de sus equipos en sus actividades diarias.

Importancia: Del trabajo de investigación se consideró las definiciones del mantenimiento predictivo con un enfoque en el mantenimiento proactivo.

Galarza (2017) en su tesis de grado “Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390FL de Stracon Gym – Cajamarca”, tuvo como objetivo principal la mejora de la disponibilidad mecánica aplicando el plan de mantenimiento predictivo basado en los análisis de aceite, solo se medirá la disponibilidad como una herramienta de la gestión del mantenimiento, por tal motivo no se aplica la ecuación de OEE ( $OEE = \text{Disponibilidad} \times \text{Calidad} \times \text{Eficiencia}$ ), la investigación utilizó el método inductivo, ya que el estudio fue de lo específico a lo general, considerando los procedimientos del plan, además fue de tipo de investigación aplicada, de nivel experimental y diseño pre experimental, debido a que se aplicó e implementó el plan de mantenimiento predictivo, para la mejora de la disponibilidad aplicando un plan de mantenimiento predictivo basado en los análisis de aceite, se logró mejorar la disponibilidad del equipo analizado de un 89.66% a un 92%, el incremento es de 2.34 %; logrando superar el estándar corporativo de tener como mínimo un 90% de disponibilidad.

Importancia: Del trabajo de investigación se contrastó los resultados obtenidos y se consideró algunas definiciones y cálculos de indicadores de mantenimiento.

Cotrina (2016) en su tesis de grado “Evaluación de los parámetros de degradación de aceite como herramienta de gestión del mantenimiento de motores Diesel-Unimaq SA - Cajamarca”, el objetivo principal fue analizar los parámetros de desgaste de aceite lubricante en motores diésel, en la firma Unimaq SA ciudad de Cajamarca, Por ello al aplicaron técnicas para determinar la condición del aceite como: la oxidación,

nitricación, sulfatación, azufre, permite aseverar sobre el estado real del aceite y verificar el grado de contaminación a nivel molecular, si existe contaminación alguna los aditivos detergentes, dispersantes e inhibidores de corrosión que se vieron notablemente reducidos, se aplicó una metodología de la investigación no experimental descriptivo longitudinal, finalmente se concluyó que el aceite lubricante sufre alteraciones cuando es utilizado; producto de la interacción con los productos residuales de la combustión bajo los cuales se encontró sometido, como temperaturas elevadas, presencia de hollín, azufre, etc.

Importancia: Del trabajo de investigación se utilizó definiciones sobre el análisis de aceite y los parámetros condenatorios.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Historia del Mantenimiento**

Según Pérez (2021), menciona que la función del mantenimiento indica que a lo largo del proceso industrial que ha tenido lugar desde finales del siglo XIX, ha habido varias etapas en cuanto a la conservación de los equipos. En los comienzos de la revolución industrial, los trabajadores se encargaban personalmente de las reparaciones.

Desde la Primera y Segunda Guerra Mundial, el término “fiabilidad” comienza a surgir, lo que lleva a que los departamentos de mantenimiento no solo se enfoquen en reparar las fallas de los equipos, sino que también se centren en prevenirlas.

Clasificándose en el tiempo mejor el concepto de mantenimiento que dice: toda una serie de acciones que deben realizar las personas encargadas de este departamento o área, con la finalidad de que los equipos, maquinas, componentes e instalaciones involucrados dentro de un proceso industrial estén en las condiciones requeridas de funcionamiento para lo que fue diseñado, construido, instalado, y puesto en operación.

Esta serie de actividades incluyen toda una combinación de conocimientos, experiencias, habilidad y trabajo en equipo, junto con las otras dependencias de la organización, para que exista una buena labor administrativa y operativa, cumpliendo así con los indicadores de desempeño o de gestión que cada organización aplica y para que sus metas se alcancen.

También Moreno (2012) comenta que se puede definir el mantenimiento como: el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.

**Tabla 2.1 Evolución del mantenimiento a lo largo del tiempo.**

AÑO	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL
1780	Se trabaja solo el mantenimiento correctivo (CM).
1798	Utilización de partes intercambiables en las máquinas.
1903	La producción industrial es masiva.
1910	Se formó cuadrillas de mantenimiento correctivo.
1914	Se empieza aplicar el mantenimiento preventivo (PM).
1916	Se da inicio al proceso administrativo.
1927	Se utiliza estadística en la producción.
1931	Se trabaja en el control económico de la calidad del producto manufacturado.
1937	Se tiene en cuenta el concepto principio W.pareto.
1939	Los trabajos de actividades del mantenimiento preventivo se empiezan a controlar con datos estadísticos.
1946	Es más eficiente el control estadístico de calidad ( SQC).
1950	En el continente asiático, específicamente Japón, inicia con la implementación del control estadístico de calidad (SQC).
1950	En Estados Unidos (UU.EE.) se inicia el mantenimiento productivo.
1951	Se conoce el análisis de Weibull.
1960	Desarrollo del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).
1961	Inicio del Poka-Yoke (técnica de calidad a prueba de errores).
1962	Desarrollo de los círculos de calidad (QC).
1965	Implementación de la metodología del análisis causa raíz (RCA).
1968	Se da a conocer la Guía MSG-1, acreditada como el RCM mejorado.
1970	Expansión del uso de la computadora para la administración de activos (CMMS).
1971	Desarrollo del mantenimiento productivo total (TPM).
1978	Presentación de la Guía MSG-3 para mejorar el mantenimiento en aeronaves
1980	Desarrollo en la implementación de la optimización del mantenimiento planificado (PMO)
1982	Aplicación del RCM-2 en toda clase de industrias.
1995	Desarrollo para aplicar el proceso de los 5 Pilars of the Visual workplace (las 5s).
2005	Estudio de la filosofía de la conservación industrial(IC).

Fuente: ROLDAN-2009.

### **2.2.2. Tipos de mantenimiento**

Cotrina (2018) menciona que las necesidades de la industria a lo largo del tiempo han causado que el mantenimiento evolucione y pueda abarcar las distintas necesidades que se puedan presentar, así pues, hoy existe diferentes tipos de mantenimiento, los más comunes son:

- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento predictivo.

### **2.2.3. Definición del mantenimiento predictivo**

Existen varias definiciones del mantenimiento predictivo; una de ellas se puede interpretar como un tipo de mantenimiento, donde se asocia la relación de parámetros físicos con el desgaste o estado de una máquina. En el mantenimiento predictivo se tiene en cuenta la medición, el seguimiento y el monitoreo de parámetros y las circunstancias de operación de un equipo-máquina o una instalación. A tal producto, se precisa y se gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todas aquellas variables que se contemplan relevantes de medir y gestionar. El mantenimiento predictivo también se puede considerar como una técnica para presagiar el punto futuro de falla, anomalía, rotura o avería de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se disminuye y el tiempo de vida del componente se prolonga. (Pérez, 2021 pág. 48)

### **2.2.4. Ventajas, desventajas y aplicaciones del mantenimiento**

#### **predictivo.**

#### **Ventajas**

- Determinación precisa del tiempo para realizar el mantenimiento preventivo.

- Ejecución sin interrumpir el funcionamiento normal de equipos e instalaciones.
- Mejorar el conocimiento y el control del estado de los equipos.

### **Desventajas**

- Se requiere personal altamente calificado e instrumentación de análisis costosos.
- No es posible monitorear todos los parámetros funcionales significativos, por lo tanto, puede presentarse errores no detectados en los programas de monitoreo.
- Se puede presentar averías en el intervalo de tiempo comprendido entre dos medidas consecutivas.

### **Aplicaciones**

El mantenimiento predictivo es recomendado aplicar en los siguientes equipos o sistemas:

- Motores de combustión.
- Sistemas hidráulicos.
- Maquinarias rotativas.
- Motores eléctricos.
- Equipos estáticos.
- Instrumentaciones.

#### **2.2.5. Mantenimiento basado en condición (MBC)**

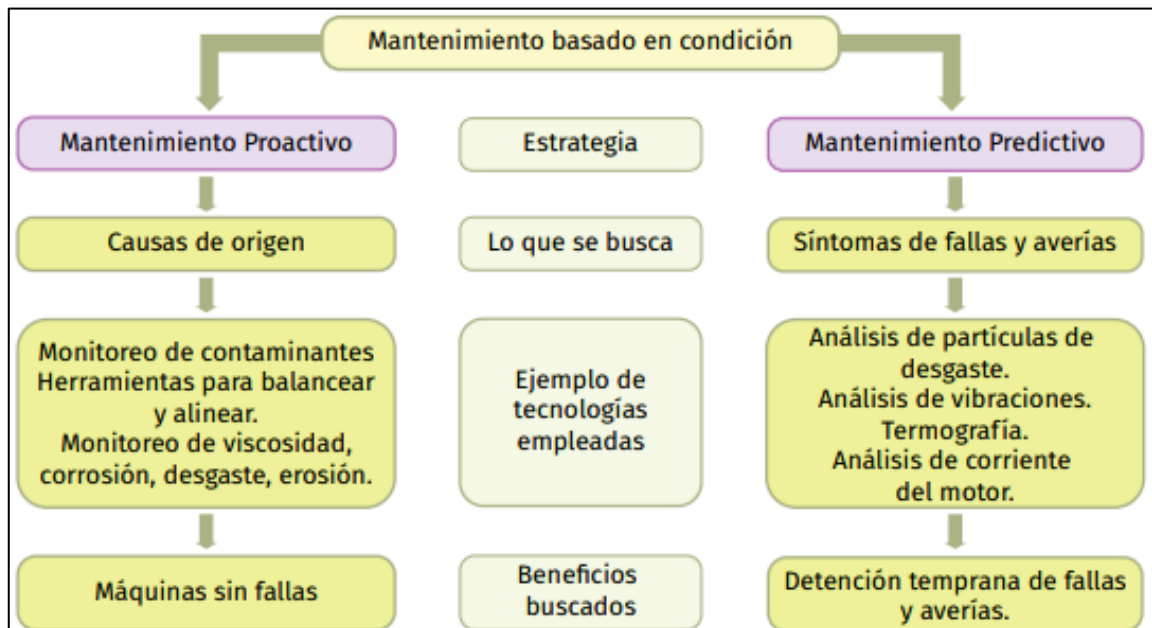
El mantenimiento basado en condición, MBC, es una estrategia de mantenimiento que basa sus resultados, es decir, disponibilidad, fiabilidad, coste de mantenimiento, vida útil de la instalación, seguridad y bajo impacto ambiental, en el diagnóstico previo de los equipos. Esta estrategia de mantenimiento tiene como objetivo extender la vida útil del equipo o sistema, aumentar la productividad y reducir los costes de operación. (Garcia, 2018).

El mantenimiento basado en condición tiene dos variantes importantes:

- El mantenimiento predictivo basado en condición
- El mantenimiento proactivo basado en condición



Figura 2.1 Mantenimiento basado en condición.



Fuente: GARCIA-2018

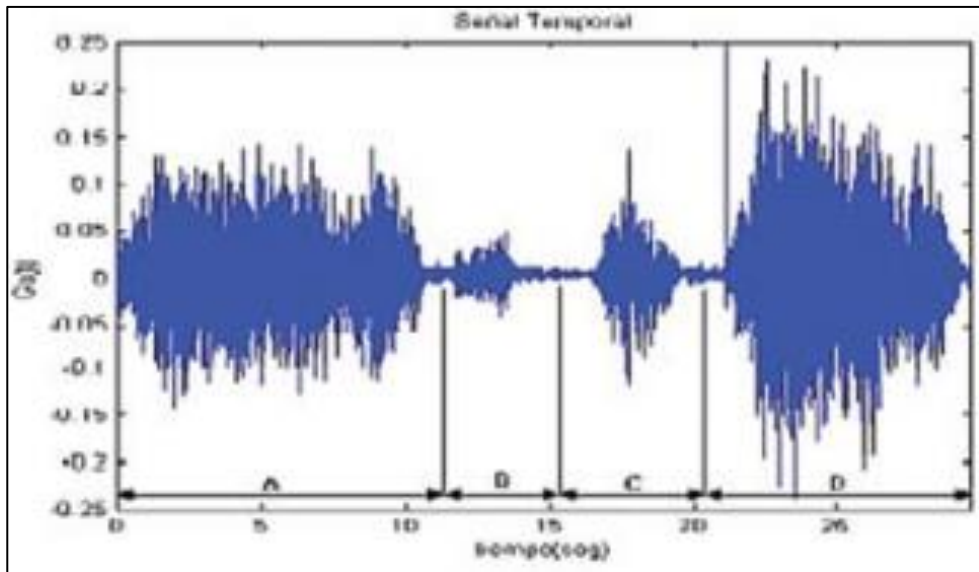
Como observamos en la figura 2.1 es un enfoque del mantenimiento basado en condición, según sus estrategias, metas, tecnologías aplicadas y sus beneficios.

### 2.2.6. Técnicas del mantenimiento predictivo basado en condición

A continuación, Álvarez (2013) detalla algunas de las técnicas más utilizadas en el mantenimiento predictivo basados en condición.

**Análisis de vibraciones:** Esta técnica consiste en medir las vibraciones de un equipo para detectar anomalías en el comportamiento del mismo. Las vibraciones pueden ser causadas por desalineamiento, desequilibrio, holguras, problemas de rodamientos, entre otras cosas. Al analizar las vibraciones, se puede predecir cuándo un equipo podría fallar y se puede tomar medidas preventivas para evitar la falla.

**Figura 2.2 Registro de vibraciones en un ciclo de trabajo en función del tiempo.**



Fuente: LABALEN Y CARRASCO-2009

**Termografía:** La termografía es una técnica que utiliza cámaras infrarrojas para medir la temperatura de un equipo. Las áreas que tienen una temperatura anormalmente alta o baja pueden indicar problemas como fricción, sobrecarga, o fallas en componentes eléctricos. (Keith, 2019)

**Figura 2.3 Registro de vibraciones en un ciclo de trabajo en función del tiempo.**

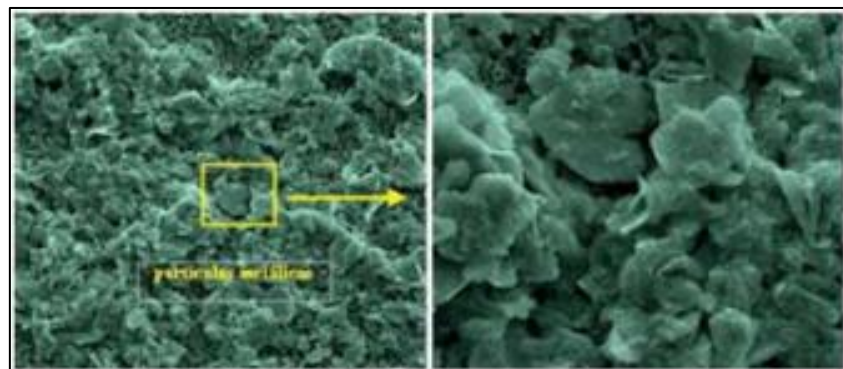


Fuente: WWW.INGIMAGE.COM-2019

**Análisis por ultrasonido:** El análisis de ultrasonido se utiliza para detectar problemas en los equipos mediante la medición de las ondas de sonido que se emiten. Las ondas de sonido pueden indicar desgaste, deformación, corrosión y otros problemas. (Alvarez, 2019)

**Análisis de aceite:** El análisis de aceite es otra técnica comúnmente utilizada en el mantenimiento predictivo basado en condición. El aceite de un equipo o sistema se analiza para detectar contaminantes, desgaste de piezas y otros indicadores de fallas inminentes. El análisis de aceite puede ayudar a identificar problemas antes de que se conviertan en fallas costosas. (Palmer, 2013)

**Figura 2.4 Análisis de aceites. Presencia de partículas sólidas.**



Fuente: LABALEN Y CARRASCO-2013

### **2.2.7. Tribología, fricción y desgaste**

#### **Tribología**

La tribología es una ciencia fundamental en la que se estudian los fenómenos relacionados con la fricción, el desgaste y la lubricación, con el objetivo de mejorar la eficiencia y la vida útil de las máquinas en diferentes áreas de la industria y la ingeniería. (Álvarez, 1999 pág. 1)

#### **Fricción**

Fricción es la acción y efecto de friccionar o rozar o lo que es lo mismo desplazar con una determinada fuerza un objeto sobre otro.

En la actualidad desde el punto de vista de ingeniería la fricción se puede definir desde dos puntos de vista (Álvarez, 1999 pág. 25)

**Enfoque energético:** La fricción es la transformación de la energía mecánica al inicio, durante y fin del movimiento de los dos cuerpos en contacto. (Aldaz, 2008)

**Enfoque mecánico:** La fricción es la fuerza que se opone al movimiento relativo de dos cuerpos en contacto siempre que exista el movimiento o cuando existen fuerzas que tienden a producir el movimiento. (Álvarez, 1999 pág. 26)

### **Desgaste**

El desgaste es un proceso complejo que se produce en las superficies de los cuerpos sólidos debido a la fricción de otro cuerpo o medio; trayendo por consecuencia la variación de la macro y micro geometría superficial; de la estructura: y de las propiedades de las capas superficiales; con o sin pérdida de material. (Álvarez, 1999 pág. 92)

Existen tipos de desgaste, estos son los siguientes:

- **Por erosión:** Abrasión causada por la exposición a líquidos – gases o fluidos.
- **Por fatiga:** Delaminación superficial debido a la tensión mecánica a largo plazo.
- **Por cavitación:** cavitación por impacto de implosión de burbujas en líquidos.
- **Abrasivo:** Arañazos por partículas duras en los lubricantes (efecto “lija”)
- **Adhesivo:** debido al contacto de los metales, la transferencia de metales y la soldadura fina, no hay una película lubricante y se aplica una gran carga.
- **Corrosivo:** Cambio de la superficie por agentes químicos.

### 2.2.8. Fundamentos de lubricación

Los lubricantes vienen en muchas formas, ya sean líquidos, grasas o sólidos, dependiendo de los requerimientos de su aplicación. Los lubricantes proporcionan algunos o todos los siguientes beneficios:

- Reducción de fricción y desgaste.
- Control de temperatura.
- Control de contaminación.
- Prevenir ataque químico.
- Transmitir energía.

**Figura 2.5 Lubricación deficiente Vs Buena lubricación.**



Fuente: OIL ANALYSIS BASICS-2004

### Condiciones del aceite Básico

Los lubricantes varían de manera significativa de un producto a otro. La figura 2.5 muestra algunas de las pruebas usadas comúnmente para describir las propiedades del aceite básicos.

**Tabla 2.2 Propiedades claves de los aceites básicos**

<b>Propiedad</b>	<b>¿Por qué es importante?</b>	<b>¿Cómo se determina?</b>	<b>ATM No.</b>
<b>Viscosidad</b>	Define el grado de viscosidad del aceite básico.	Viscosímetro de flujo capilar por gravedad.	D445
<b>Índice de Viscosidad</b>	Define la relación entre la temperatura y la viscosidad.	Variación indexada de la viscosidad entre 40°C y 100°C.	D2270
<b>Densidad relativa</b>	Define la densidad del aceite con relación al agua.	Hidrómetro.	D1298
<b>Punto de inflamación</b>	Define propiedades de volatilidad y inflamabilidad a altas temperaturas.	Probador de punto de flama, temperatura a la que se obtiene una chispa de flama en la superficie.	D92/D93
<b>Punto de fluidez</b>	Define el comportamiento del aceite a bajas temperaturas.	Flujo por gravedad en un contenedor de prueba, temperatura a la que se alcanzan 22,000 sCt aprox.	D97/IP15

Fuente: ASTM (American Society of Testing Materials)-2002

La mayoría de los aceites básicos son minerales, lo que significa que son producidos a partir del petróleo crudo utilizando diferentes procesos de refinación. Usualmente, la refinación comienza con la destilación en fracciones donde las moléculas son seleccionadas de acuerdo con su tamaño y tipo al variar la temperatura y la presión (vacío). (Troyer, y otros, 2004 pág. 5)

Los aceites básicos minerales lubricantes son combinaciones de millones de moléculas diferentes de hidrocarburos. Generalmente, los aceites lubricantes se producen a partir de aceites básicos parafínicos. ocasionalmente, se utilizan aceites nafténicos para ciertas aplicaciones especiales, especialmente en donde es importante la fluidez a baja temperatura. En la Figura 2.9 se comparan algunas propiedades específicas de los aceites básicos. (Troyer, y otros, 2004 pág. 6)

**Tabla 2.3 Características claves de los aceites básicos nuevos**

Propiedad	Metodo ASTM	Aceite Parafinico	Aceite Nafténico	Aceite Aromático
Viscosidad (cSt) @ 40°C	D445	40	40	36
Viscosidad (cSt) @ 100°C	D445	6.2	5	4
Indice de viscosidad	D2270	100	0	-185
Densidad relativa	D287	0.8628	0.9194	0.9826
Punto de Inflamación °C	D92	229	174	160
Punto de goteo °C	D97	-15	-30	-24
% Parafinico	D3238	66%	45%	23%
% Nafténicos	D3238	32%	41%	36%
% Aromatico	D3238	2%	14%	41%

Fuente: ASTM-2002

### **Lubricantes sintéticos**

Un pequeño porcentaje de los lubricantes operativos están formulados con aceites sintéticos en lugar de aceites refinados a partir de petróleo crudo. Hay muchos tipos diferentes de aceite sintético con diferentes propiedades. A continuación, se presentan algunos beneficios potenciales asociados con el uso de aceites sintéticos:

- Mejor resistencia a la oxidación.
- Mejor lubricidad.
- Mejor resistencia térmica.
- Intervalos de drenados extendidos.

Estos beneficios deben ser comparados con las posibles limitantes, relacionadas con el uso de lubricantes sintéticos, para determinar la viabilidad de su uso. Estos factores pueden incluir: (Troyer, y otros, 2004 pág. 6)

- Alto costo de compra.
- Incompatibilidad con recubrimiento de sellos.
- Toxicidad potencial.
- Altos costo de disposición.
- Posible incompatibilidad con el aceite mineral.

## **Aditivos y sus funciones**

los aditivos son químicos que se añaden al aceite básico para alentar una o más de las propiedades de desempeño. En general, se puede decir que los aditivos son usados para:

- Mejorar las propiedades existentes del aceite básico.
- Suprimir propiedades indeseables del aceite básico.
- Impartir nuevas propiedades al aceite básico.

A continuación, detallaremos los aditivos más comunes y sus funciones:

**Antioxidantes/inhibidores de oxidación:** Los aceites lubricantes reaccionan con el oxígeno, especialmente en altas temperaturas, formando hidroperóxidos, radicales libres, acetonas, aldehídos y ácidos orgánicos. La velocidad con la que ocurre este proceso llamado oxidación, depende de los siguientes factores (Barbero, y otros, 2017):

- Aeración: Afecta la cantidad de oxígeno disponible para reaccionar con las moléculas de aceite.
- Temperatura: La tasa de oxidación es aproximadamente el doble cada vez que la temperatura se incrementa en 10°C
- Agua: Provoca hidrólisis y promueve la oxidación.
- Catalizadores metálicos: Cobre, plomo, hierro y otros metales químicamente activos promueven la oxidación del aceite.

Las reacciones oxidativas cambian las propiedades químicas y físicas del aceite de las siguientes maneras:

- Incremento de viscosidad.
- Incremento de acidez.
- Incremento de densidad relativa.
- Oscurecimiento.
- Barniz en las superficies de los componentes.
- Acumulación de lodos.



Figura 2.6 Comparativa al suministrar aditivos al aceite.



Fuente: OIL ANALYSIS BASICS-2004

Los aditivos antioxidantes/inhibidores de oxidación comunes son:

- Fenoles.
- Ditiósfotos de Zinc (también proporcionan protección anti-desgaste)
- Animas aromáticas.
- Alquil sulfuro.

**Inhibidores de corrosión:** El agua puede afectar negativamente al aceite y las superficies de los equipos. El óxido causado por la contaminación del agua es una forma común de desgaste corrosivo que acorta la vida útil de las piezas mecánicas de acero. Para brindar protección contra la oxidación, muchos aceites de motor están formulados con aditivos antioxidantes.

**Figura 2.7 Comparativa al suministrar aditivos al aceite**



Fuente: OIL ANALYSIS BASICS-2004

Como se observa en la figura 2.7, los inhibidores de óxido son moléculas polares. Están unidos químicamente a las superficies de acero (metalófilos) y tienen colas solubles en aceite (oleófilos). Los aditivos forman una película protectora que repele el agua de la superficie de hierro o acero. Al separar el agua de la superficie del componente se inhibe el proceso de oxidación (Bielli, 2011). Los siguientes son los aditivos anticorrosivos más comunes:

- Sulfatos.
- Fosfatos.
- Ácidos Orgánicos, succiniamidas, ésteres y aminas.

### **Dispersantes y detergentes**

Los dispersantes son moléculas polares que recubren los lodos y las partículas de hollín, inhibiendo su aglomeración y evitando que se asienten en las superficies de las piezas, especialmente en las zonas más frías del motor (cárter, techo, etc.). Al mantener las partículas pequeñas y finamente divididas, duran más suspendidas efectivamente y no se condensarán fácilmente en la superficie de los componentes.

Los detergentes ayudan a mantener limpias las superficies de alta temperatura (pistones, anillos, válvulas, etc.) de depósitos que se

forman por sub productos de la combustión. Además, proporcionan la basicidad a los aceites de motor para neutralizar los ácidos generados como sub productos de la combustión y oxidación del aceite. (Alvaréz, 2013)

#### **2.2.9. Método de muestreo de aceite**

La toma de muestra es el aspecto más crítico del análisis de aceite. Si no se obtienen una muestra representativa, todos los esfuerzos subsecuentes del análisis de aceite serán anulados. Existen dos objetivos principales para la obtención de una muestra de aceite representativa: (Troyer, y otros, 2004 pág. 21)

Maximizar la densidad de información: las muestras deben tomarse de tal forma que obtengamos la mayor cantidad posible de información.

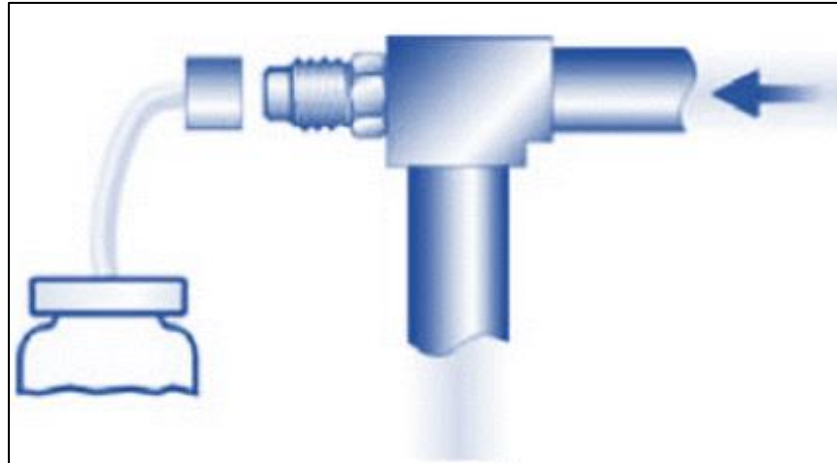
Minimizar la distorsión de información: las muestras deben ser extraídas de tal forma que la concentración de información sea uniforme, consistente y representativa. (Troyer, y otros, 2004 pág. 21)

Por lo tanto, es importante establecer un método de muestreo de aceite para no llegar a diagnósticos erróneos del equipo. Los posibles métodos son:

##### **Muestreo de aceite por conector**

Este método de extracción se requiere que el equipo cuente con una válvula pre-instalada en el punto donde se desea obtener la muestra, de preferencia en los codos del sistema de lubricación o en zonas de turbulencia. Cuando se realiza el muestreo solo se debe conectar una sonda en la válvula y se debe llenar el frasco 3/4 partes, este método es generalmente usado en equipos cuya lubricación es por circulación. (Chang, 2008).

**Figura 2.8 Extracción de muestras de aceite lubricante por conector**

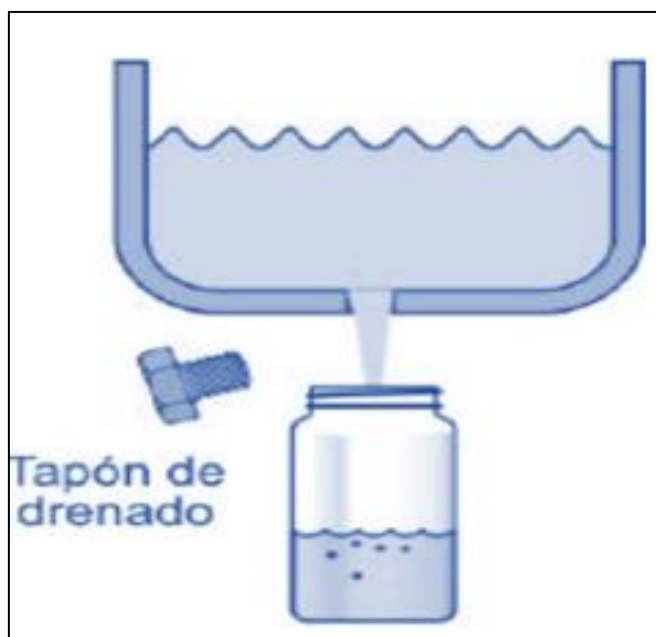


Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2004

### **Muestreo de aceite por tapón de drenado**

Este método de extracción de muestra es el menos confiable, debido a que los sedimentos, partículas de desgaste, etc. se encuentran en el fondo del cárter o depósito de lubricante los cuales ingresan al frasco de muestreo proporcionando incluso partículas de desgaste anterior. Este método se puede realizar para inspección visual mas no es una buena muestra para ser enviada a laboratorio. (Killeen, 2019)

**Figura 2.9. Extracción de muestra de aceite lubricante por tapón de drenado**

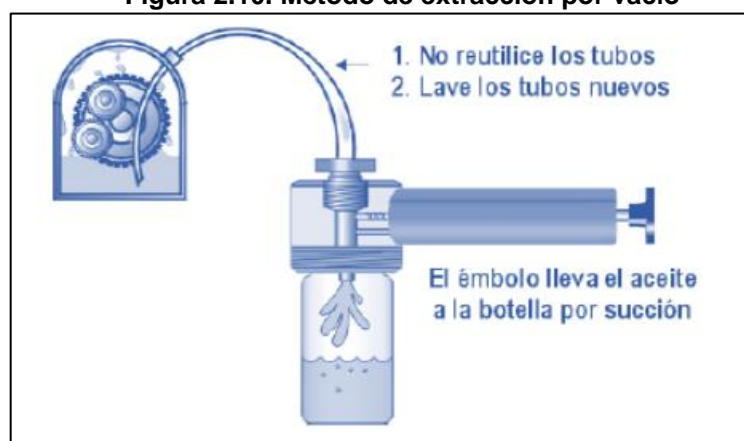


Fuente: [HTTP://ANALISISTECNICODEFALLAS.COM](http://ANALISISTECNICODEFALLAS.COM)-2007

### **Método de extracción por vacío**

Es el método más común de extracción de muestras de aceite, cuando se requiere tomar las muestras de tanques o depósitos estáticos, para este método se emplea una bomba la cual genera un vacío facilitando la extracción del aceite lubricante a través de una manguera hasta el frasco. (Abid, 2021)

**Figura 2.10. Método de extracción por vacío**



Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2004

Este método requiere de ciertos requisitos para poder obtener una muestra representativa.

- El equipo debe estar a la temperatura de trabajo.
- Evitar la contaminación externa de los equipos utilizados.
- Limpiar la zona de muestreo o el punto de muestreo.

#### **2.2.10. Razones para realizar análisis de aceite**

Esencialmente, el análisis de aceite se realiza para mejorar la calidad de las decisiones de mantenimiento de la máquina y lubricación hay tres categorías principales del análisis de aceite: (Troyer, y otros, 2004 pág. 41)

**Salud del lubricante:** este punto trata sobre la evaluación de las propiedades físicas, químicas y de los aditivos del aceite.

**Contaminación del lubricante:** los contaminantes son agentes provenientes del medio ambiente o generada internamente. La contaminación compromete la confiabilidad de la máquina y promueve la falla del lubricante.

**Desgaste de la maquina:** cuando los componentes se deterioran, generan partículas, estos son analizados por los técnicos que permiten tomar decisiones efectivas de mantenimiento para controlar el desgaste. Para fines, se manejará estas tres categorías como la metodología SACODE (salud, contaminación y desgaste). (Troyer, y otros, 2004 pág. 41)

**Tabla 2.4 Pruebas más utilizadas en el análisis del aceite**

Técnica SACODE del análisis de aceite	Pruebas
Salud del lubricante	Viscosidad, TBN, FTIR( infrarroja por transformadas de Fourier
Contaminación del lubricante	Conteo de partículas, humedad, elementos metálicos.
Desgaste de la máquina	Densidad ferrosa, ferro/gráfica analítica, elementos metálicos.

Fuente: TROYERYOTROS-2004

### **2.2.11. Pruebas de aceite más comunes para aceite lubricante de motores diésel y sistemas hidráulicos**

**Conteo de partículas:** El método proporciona la cantidad de partículas que hay en el aceite en un rango específico de tamaños por volumen de fluido (usualmente por ml o 100 ml). La concentración de partículas y sus datos de distribución debe expresarse en términos de códigos de niveles de contaminación solidad ISO 4406. (Troyer, y otros, 2004)

**Tabla 2.5 Codigo de contaminacion solida ISO 4406:99**

ISO 4406:1999 Code Chart		
Range	Particulas por ml	
Code	Desde	Hasta
24	80000	160000
23	40000	80000
22	20000	40000
21	10000	20000
20	5000	10000
19	2500	5000
18	1300	2500
17	640	1300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2.5	5
8	1.3	2.5
7	0.64	1.3
6	0.32	0.64
5	0.16	0.32
4	0.08	0.16
3	0.04	0.08
2	0.02	0.04
1	0.01	0.02

Fuente: Oil Analysis Basics-2004

Según la ISO 4406 (pruebas de limpieza) estableció un mínimo de 18/16/13, la cual indica un límite de partículas por ml entre:

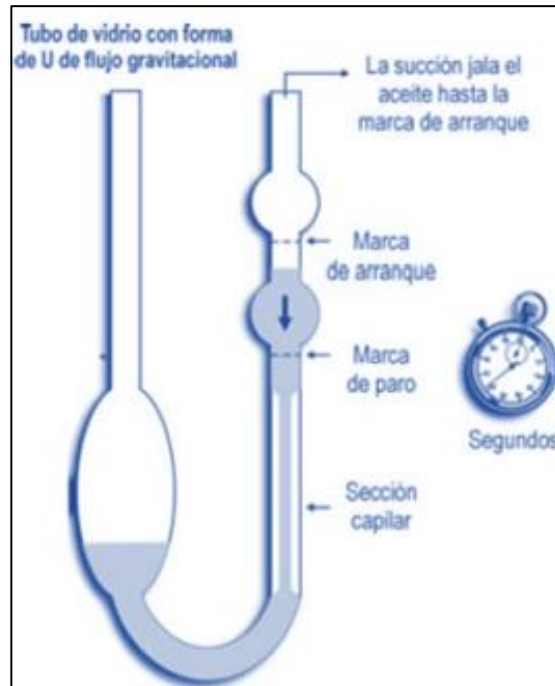
- 18 = 1300 y 2500 > 4 µm
- 16 = 320 y 640 > 6 µm
- 13 = 40 y 80 > 14 µm

**Viscosidad:** La viscosidad cinemática es la medida de la resistencia de un fluido a fluir por acción de la gravedad, para el caso de los motores diésel la viscosidad se mide a 100 °C. Este valor puede convertirse en centistokes (cSt) o segundos saybolt universales ( SUSO SSU) La medición se realiza mediante un tubo capilar de un viscosímetro



calibrado bajo una presión y temperatura determinado donde se mide el tiempo en segundos que este tarda en fluir una distancia conocida. (Troyer, y otros, 2004)

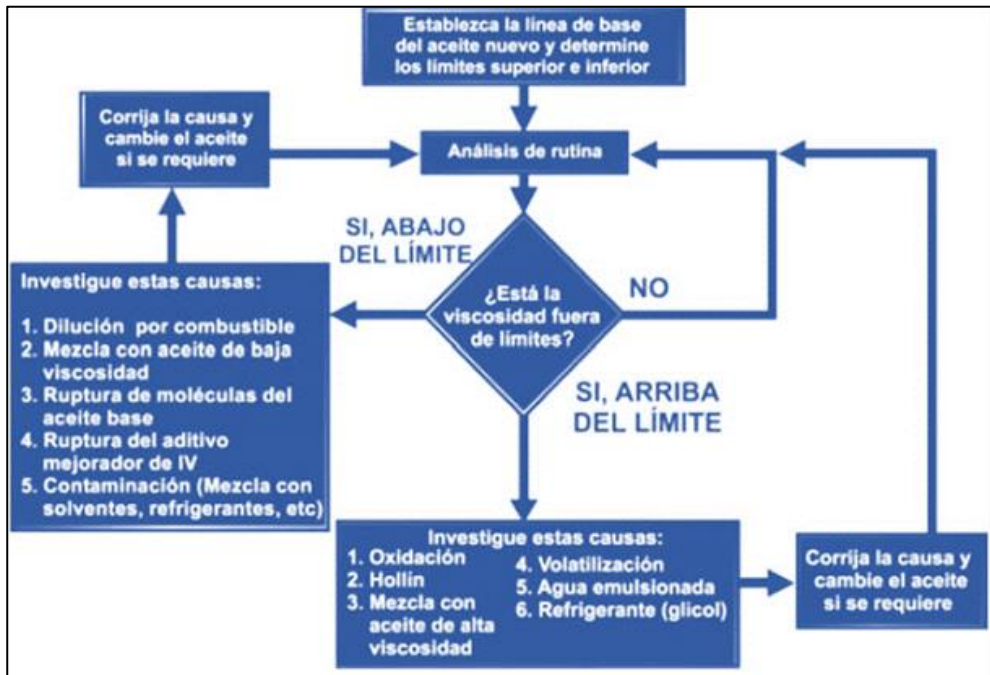
**Figura 2.11 Viscosímetro capilar ASTM D445-97**



Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2008

En la figura 2.12 se muestra el diagrama de acción de la viscosidad, en el cual se muestra las acciones a realizar según los resultados de análisis de aceite.

Figura 2.12 Acción de la viscosidad

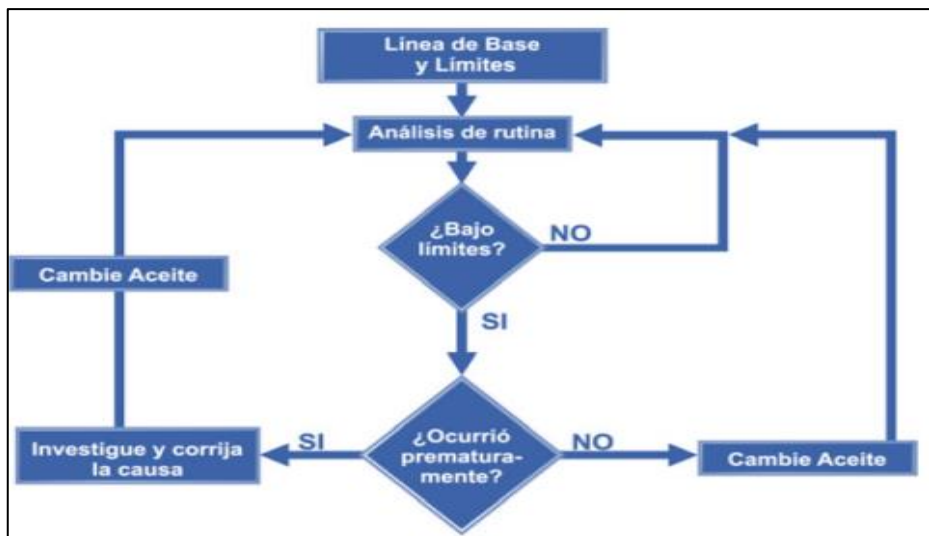


Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2008

**Número básico total (TBN)**

El número básico total mide la reserva alcalina de un aceite lubricante para contrarrestar la formación de compuestos ácidos que se puedan presentar en el motor, esta prueba es aplicada principalmente a aceites lubricante de motores diésel. (Troyer, y otros, 2004 pág. 48) En la figura 2.13 se muestra un diagrama de acción para el TBN.

Figura 2.13 Acción del TBN



Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2008

## Espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR)

FTIR es método rápido para monitorear parámetros del aceite lubricante, en la tabla 2.6 se muestra los parámetros que se pueden analizar bajo este método.

Tabla 2.6 Parámetros analizados por FTIR

Parámetro	Número de Onda (cm <sup>-1</sup> )
Oxidación	• Aceite Mineral - 1750 • Éster Orgánico - 3540 • Éster Fosfatado - 815
Sulfatación	1150
Nitración	1630
Hollín	200
Agua	• Aceite Mineral - 3400 • Éster Orgánico - 3625
Glicol	880, 3400, 1040 y 1080
Combustible	• Diesel - 800 • Gasolina - 750 • Combustible de avión 795 - 815
Inhibidores de Fenol	3650
ZDDP Antidesgaste/antioxidante	980

Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2008

Este método mide el porcentaje y tamaño de Hollín, Oxidación, Nitración y Sulfatación. Además, detecta la cantidad de Glicol-combustible y agua que son medidos en porcentajes.

**Hollín:** se produce por una mala combustión de aire-combustible, provocando que el aceite de motor se espese y obstruya los filtros. Las causas pueden ser:

- Inyectores en mal estado.
- Temperatura de operación del motor baja.
- Obstrucción o suciedad en el filtro de aire.
- Uso de combustible de mala calidad.

**Oxidación:** Se nombra oxidación a la reacción química que existe al juntar una molécula de aceite con el oxígeno ocasionando que el aceite de motor se espese, ocasionando obstrucción de filtros y otros problemas internos en el motor. Las posibles causas son:

- Presencia de cobre en el aceite.

- Sustancias contaminantes en el refrigerante del motor.
- Temperaturas altas de operación.
- Prolongada frecuencia de cambio de aceite.

**Nitración:** Los compuestos de nitrógeno se forman durante la combustión. Esto a menudo causa problemas en motores de gas natural, mientras en los motores diésel se presentan en pequeñas cantidades. Este fenómeno puede causar obstrucciones en los filtros, acumulación de elementos pesados en los pistones, formación de barnices en pistones y válvulas. (Holand, y otros, 2015)

**Sulfatación:** el azufre es un agente muy perjudicial para los componentes internos del motor encontrándose generalmente en combustibles. En la reacción química de la combustión, el azufre del diésel suele combinarse con agua que provienen de la humedad del sistema y forma ácidos. Los ácidos corroen los componentes internos del motor como:

- Camisas.
- Pistón.
- Válvulas
- Guías de válvulas

Las posibles causas pueden ser:

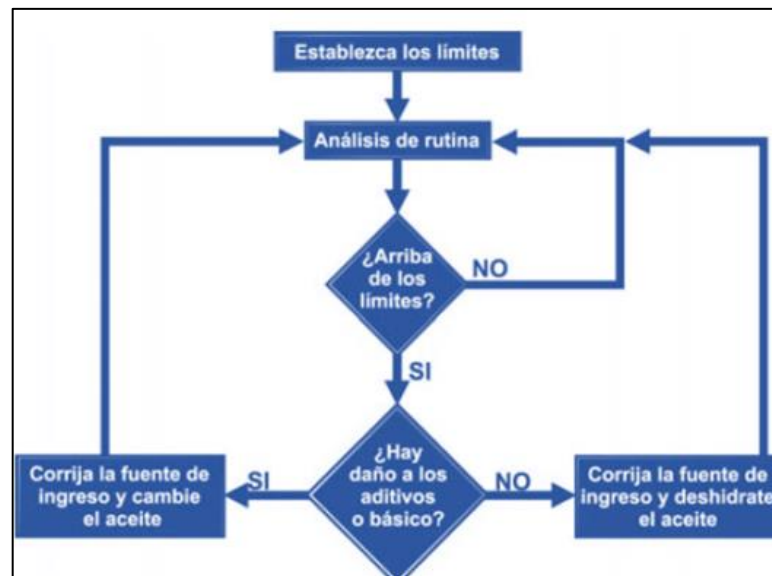
- Presencia de humedad en depósitos del sistema de lubricación.
- Demasiada presencia de azufre en combustible.

Variación de temperatura de combustión y ambiente.

### **Contenido de agua por Karl Fisher**

Este método reporta el contenido de agua como concentración en porcentaje o partes por millón (ppm) del agua total (libre y disuelta) en la muestra de aceite. en la figura 2.14 se muestra el diagrama de acción para el agua. (Montano, 2013)

Figura 2.14 Acción contaminación con agua



Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2008

### Espectroscopia de elementos

La espectroscopia de elementos cuantifica los materiales presentes en la muestra de aceite, y los reporta en parte por millón (ppm), los espectrómetros reportan la concentración de 15 o más elementos, estos indicadores nos proporcionan información de los elementos contaminantes, partículas provenientes del desgaste de la máquina y el agotamiento de ciertos aditivos del aceite lubricante. En la tabla 2.7 se muestra los elementos comunes observados mediante este análisis.

Tabla 2.7. Elementos observados en el análisis de espectroscopia de elementos

Elemento	Desgaste	Contaminación	Aditivo
Hierro (Fe)	X	X	
Cobre (Cu)	X	X	X
Cromo (Cr)	X		
Estaño (Sn)	X		
Aluminio (Al)	X	X	
Plomo (pb)	X		
Silicio (Si)		X	X
Sodio (Na)		X	X
Boro (Bo)		X	X
Calcio (Ca)		X	X
Magnesio (Mg)		X	X
Zinc (Zn)	X		X
Fósforo (P)		X	X
Molibdeno (Mo)			X
Potasio (K)		X	

Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2008

El incremento de los elementos como hierro (Fe), cobre (Cu), cromo (Cr), Estaño (Sn), Aluminio (Al) Plomo (Pb) puede indicar problemas de desgaste de la máquina. En la figura 2.15 se muestra un diagrama de acción cuando estos superen los límites establecidos. El incremento de las partículas de silicio (Si), potasio (K), sodio (Na), indican contaminación ya sea polvo u otros contaminantes.

**Tabla: 2.8 Origen de partículas metálicas en el motor.**

Motor	Hierro	Cobre	Plomo	Aluminio	Silicio	Cromo	Estaño	Sodio	Potasio
Cojinetes		X	X	X			X		
Bujes		X		X			X		
Arbol de levas	X								
Refrigerante					X	X		X	X
Cigüeñal	X								
Camisa	X					X			
Valvulas de escape	X					X			
Cojinetes anti-friccion	X					X			
Empaquetaduras					X				
Combustible			X					X	
Carcasa	X			X					
Tierra					X				
Aditivos					X				
Enfriador de aceite		X							
Bujes de bomba de aceite				X					
Bomba de aceite	X			X					
Pistones	X			X					
Anillos	X					X			
Valadas de empuje		X	X	X			X		
Engranajes de cadenas	X								
Turbo	X			X					
Guías de valvulas	X	X							
Tren de valvulas	X								
Bujes de bielas		X	X	X			X		
Bielas	X								

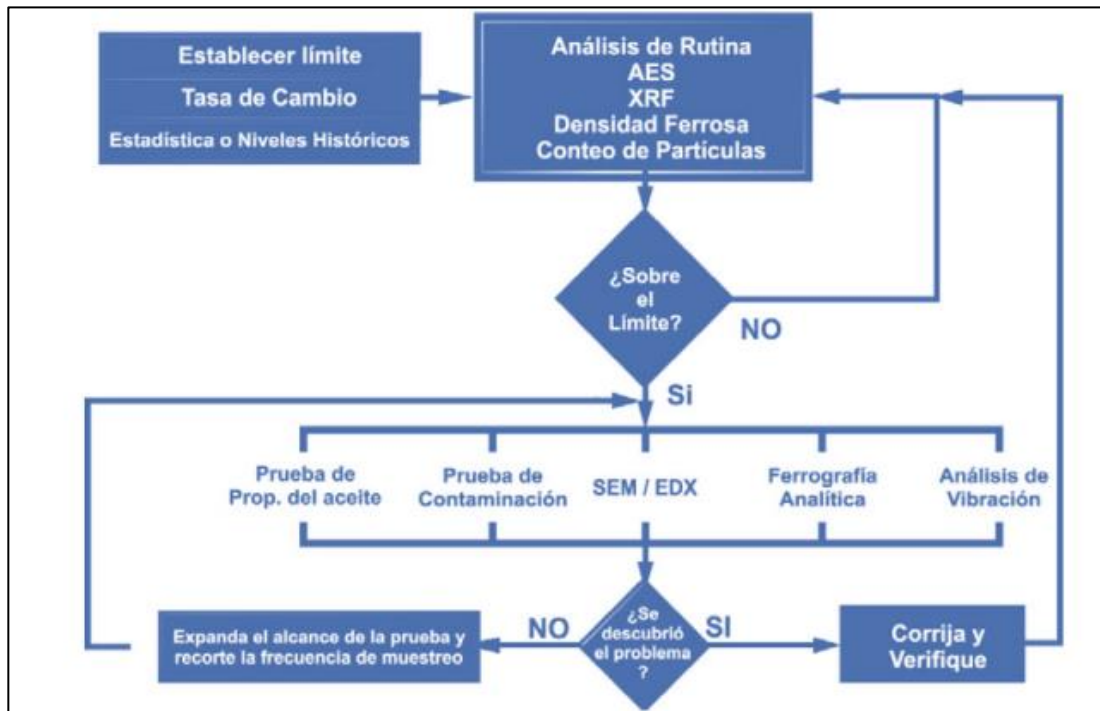
Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2008

**Tabla:2.9 Origen de partículas metálicas en sistemas Hidráulicos**

Motor	Hierro	Cobre	Plomo	Aluminio	Silicio	Cromo	Estaño	Sodio	Potasio
Cojinetes	X	X	X				X		
Bielas	X					X			
Bujes		X							
Cilindros	X		X						
Cojinetes anti-frinccion	X								
Empaquetaduras				X					
Engranajes	X								
Guías		X							
Tierra				X	X				
Motores	X								
Aditivos					X			X	
Enfriador de aceite		X							
Pistones	X	X							
Bombas	X			X					
Bielas	X					X			
Valvula de carrete	X	X				X			
Placas de empuje		X							
Valvulas	X								
Aletas	X								

Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2008

**Figura 2.15. Acción de partículas de desgaste**

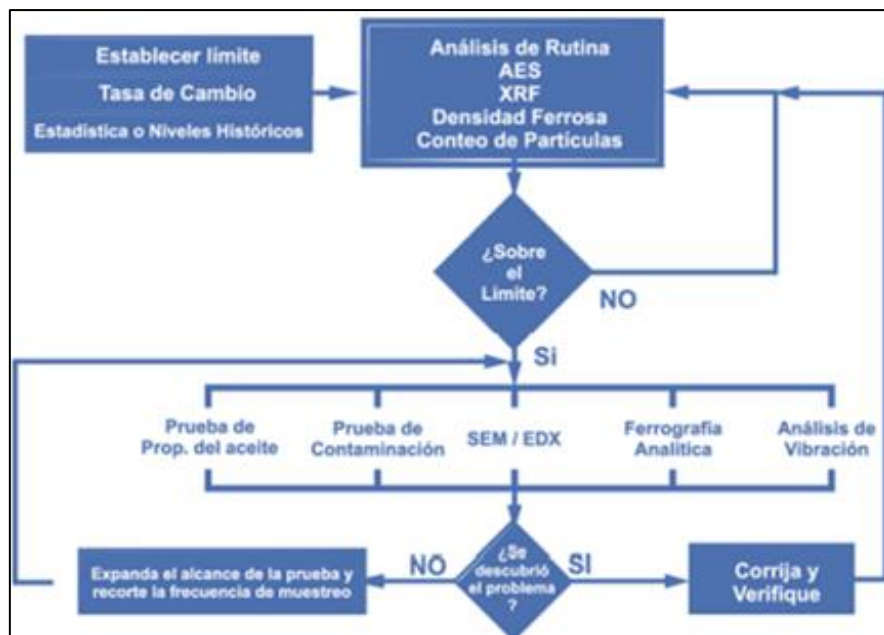


Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2008

## Densidad ferrosa

Técnica que se utiliza para detectar y cuantificar la presencia de partículas de hierro en el aceite, lo que indica un desgaste anormal en los componentes lubricados. La densidad ferrosa se mide utilizando un dispositivo llamado contador de partículas ferrosas, que utiliza un sensor magnético para detectar la presencia de partículas de hierro en la muestra de aceite (Ortiz, 2013)

Figura 2.16. Acción de partículas de desgaste



Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2008



### **Ferrografía analítica**

La ferrografía analítica implica el análisis de partículas de desgaste depositadas en un portaobjetos para hacer un ferrograma o en una membrana para analizar el filtrograma. El análisis de la morfología de la partícula (forma), color, tamaño, capacidad de reflexión, apariencia de la superficie, detalle de los bordes, angulosidad, contenido de elementos y concentración relativa proporcionan al analista pistas acerca de la naturaleza, gravedad y causa raíz del problema de desgaste (Troyer, y otros, 2004 pág. 50)

#### **2.2.12. Límites de los fabricantes original de maquinaria (OEM)**

Estos límites miden el incremento o variación de las partículas de desgaste de la máquina en un período de uso del aceite lubricante, los cuales son recomendados por los fabricantes originales de maquinaria (OEM). En la tabla 2.10 se muestra los límites de referencia del OEM's

**Tabla 2.10. Límites de acción del OEM's**

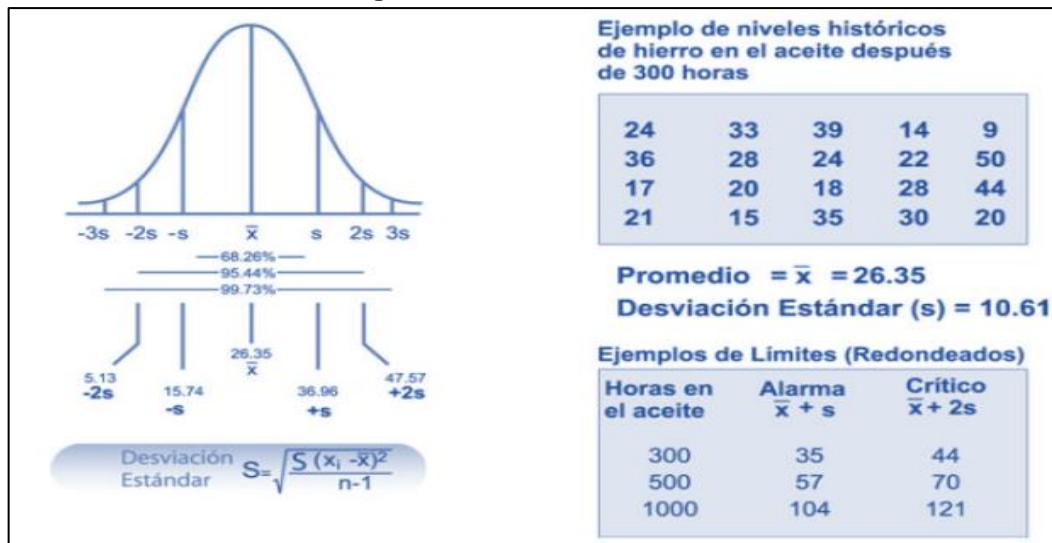
Elemento	CATERPILLAS	CUMMINS	DETRIT DIESEL	MAN
Hierro (Fe)	100	60-80	94-140	118
Cobre (Cu)	45	20	23	45
Plomo (Pb)	100	100	100	100
Aluminio (Al)	15	15	15	15
Cromo ( Cr)	15	15	15	15
Estaño ( Sn)	20	20	25	20

Fuente: Tribología centrado en confiabilidad Nivel II (p. 216)

#### **Límites estadísticos**

Los límites estadísticos se aplican cuando se tiene un historial de resultados de análisis de aceite de los equipos que se desea monitorear, estos resultados deben de reflejar los estados o condiciones reales del equipo. En la gráfica 2.17 se muestra un ejemplo de límites estadísticos.

Figura 2.17. Límites estadísticos



Fuente: OIL ANALYSIS BASIC-2008

### Plan de Mantenimiento:

**Definición de Plan:** Es una intensión o un proyecto. Es un modelo del sistema que se prepara antes del despliegue para guiar y gestionar la operación. En este sentido, el plan es también un documento que especifica los detalles necesarios para realizar la obra.

**Definición de implementación:** Una implementación es la realización de una aplicación, instalación o la ejecución de un plan, idea, modelo científico, diseño, especificación, estándar, algoritmo o política. (Distíngase siempre el término implementación de implantación, puesto que una implantación se realiza de forma impuesta u obligatoria al usuario sin importar su opinión; en cambio en la implementación se involucra al usuario en el desarrollo de lo que se está realizando). (Pérez, 2021)

**Definición de plan de mantenimiento:** El plan de mantenimiento puede verse como un conjunto de tareas individuales, cada una de ellas con entidad propia y generadora por sí misma de una orden de trabajo y de un informe de realización, o considerar que el plan es un conjunto

de gamas de mantenimiento, esto es, como un conjunto de tareas con unas características comunes que permiten agruparlas en forma de 'gamas' (Moreno, 2012 pág. 39)

### **2.2.13. Preámbulo para elaborar un plan de mantenimiento.**

- Determinar los objetivos, metas que se quiere lograr.
- Definir las unidades vehiculares críticas, para darles prioridad a estas. Pero el plan de mantenimiento se aplicará a toda la flota vehicular.
- Revisar los mantenimientos previos realizados a las unidades vehiculares, el historial de mantenimiento. Qué sistemas o componentes presentaron más averías y con qué frecuencia ocurrieron.
- Consultar los manuales, es necesario conocer las especificaciones y recomendaciones que da el fabricante.
- Ejecutar un cronograma de actividades (plan de mantenimiento) a realizar con el apoyo de algunas estrategias, herramientas, etc.
- Aplicar el plan de mantenimiento a la flota vehicular.
- Hacer seguimiento pos-implementación del plan de mantenimiento sobre la correcta aplicación.

### **2.2.14. Métodos para el análisis de fallas**

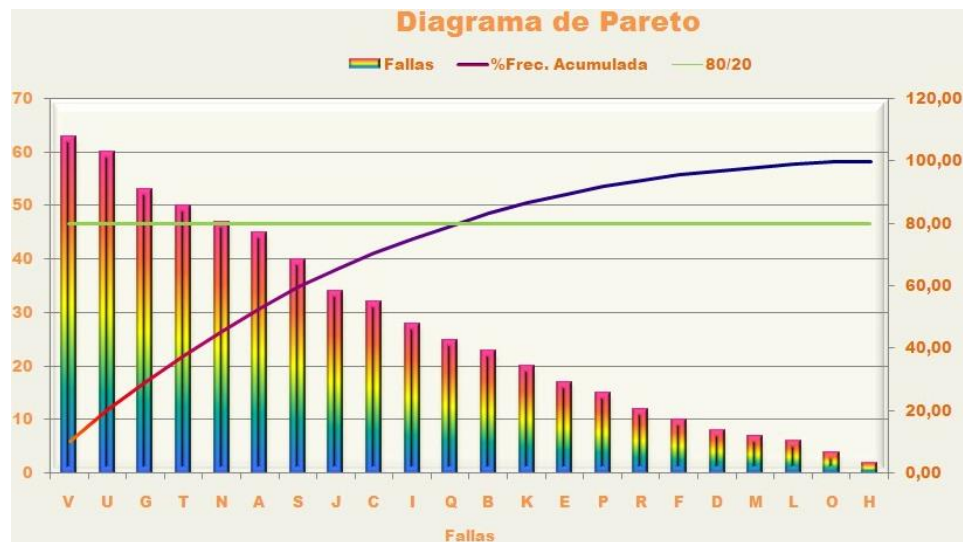
Mediante el análisis de fallas, se puede determinar la causa raíz del problema. Originado en máquinas, equipos, sistemas, etc. Es una estrategia utilizada para solucionar problemas, además de prevenir y corregir errores, optimizar la disponibilidad de sistemas o equipos. Los métodos más utilizados son: gráfico de Pareto y diagrama de Ishikawa.

#### **Gráfico de Pareto.**

Es una herramienta que ayuda a clasificar mediante gráfica los valores de un problema, de acuerdo al nivel de importancia e identificar la causa raíz para dar solución al problema. El principio de Pareto se efectúa mediante la regla 80/20, es decir, el 80 % de averías de un sistema o

máquina son producto de un 20 % de causas posibles para su fallo. Pocos vitales, muchos triviales quiere decir, muchas averías insignificantes frente a pocas averías muy significantes. (Delgado, 2022 pág. 34)

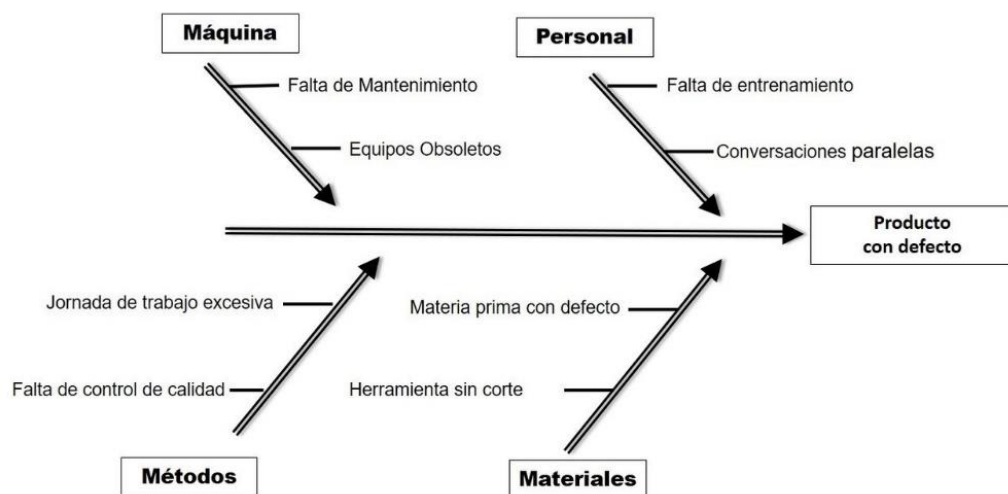
Figura 2.18 Diagrama de Pareto.



### Diagrama de Ishikawa

Es una herramienta que se representa mediante una gráfica, permite visualizar las causas y sub-causas de los factores involucrados a producir un problema (efecto) e identificar soluciones, decisiones acertadas para la mejora de tal problema. (Delgado, 2022 pág. 35)

Figura 2.19 Diagrama de Ishikawa



### 2.2.15. Indicadores de Mantenimiento

La mayoría de las casas mundiales que tratan el mantenimiento, como SAE, Oreda, Eireda, ESReDa, Aladon, Military Standard, Afnor, British Standard, etc., aceptan tres indicadores básicos: confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, como las medidas más estandarizadas que permiten evaluar el grado de gestión y operación por parte de los elementos estructurales de mantenimiento. (Mora, 2009 pág. 468)

**Confiabilidad:** Valora las acciones que ejecuta producción sobre el manejo y la operación de los equipos, desde la óptica de su fabricación y su explotación. Las medidas fundamentales en que se apoya son las cantidades y los tiempos de fallas inherentes a los equipos. (Mora, 2009 pág. 468)

**Mantenibilidad:** Mide las actividades de reparaciones y tareas proactivas que realiza el área de mantenimiento sobre los equipos. Sus medidas básicas son el volumen de reparaciones (o tareas planeadas) y los tiempos efectivos de realización y sus demoras. En el caso de la mantenibilidad, la evaluación se asocia a los grupos de personas que hacen los mantenimientos o las reparaciones. (Mora, 2009 pág. 468)

**Disponibilidad:** es un concepto utilizado en la gestión de activos y mantenimiento industrial para medir la capacidad de un equipo o sistema mecánico para estar en funcionamiento y cumplir con su función cuando es requerido. Se refiere a la disponibilidad operativa y funcional de un activo, teniendo en cuenta aspectos como el tiempo de inactividad debido a fallas, reparaciones, mantenimiento planificado y otros factores que pueden afectar su rendimiento (Palmer, 2013)

#### **Evaluación de disponibilidad**

La disponibilidad mecánica está definida como la relación entre las horas trabajadas y las horas usadas en reparación. Para un período determinado, es calculado dividiendo el número de horas trabajadas

entre la suma de horas trabajadas y las horas usadas en las paradas mecánicas”. (Zegarra, 2016 pág. 31)

$$D = \frac{T_0}{T_0 + T_P} \quad (2.1)$$

**Donde:**

**T<sub>0</sub>** = horas trabajadas

**T<sub>p</sub>** = horas en reparación

Afirmo, si dividimos el numerador y el denominador entre el número de paradas por motivos mecánicos (incluye las paradas programadas y las no programadas) que tuvo la máquina en el período de cálculo, tendremos lo siguiente: (Zegarra, 2016 pág. 31)

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.2)$$

**Donde:**

**D** = disponibilidad

**MTBF** = tiempo promedio entre fallas

**MTTR** = tiempo promedio de reparación

### **Tiempo promedio entre fallas (MTBF)**

Es un indicador donde muestra el tiempo promedio que la máquina trabaja antes de parar por algún motivo mecánico. (Zegarra, 2016 pág. 30)

$$MTBF = \frac{N^0 \text{ de horas de operacion}}{N^0 \text{ de paradas correctivas}} \quad (2.3)$$

### **Tiempo promedio de reparación (MTTR)**

Es un indicador donde muestra el tiempo promedio que demoran las reparaciones o intervenciones a la máquina por motivos mecánicos. Es el tiempo que la máquina se encuentra bajo el estado de reparación inoperativa para el trabajo”. (Zegarra, 2016 pág. 31)

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{N^0 \text{ de reparaciones correctivas}} \quad (2.4)$$

### **2.3. Marco Conceptual**

#### **Mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite**

El mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite es un tipo de mantenimiento el cual se aplica con el objetivo de conocer y monitorear el estado de los equipos más indispensables de la compañía con el fin de saber su estado actual de funcionamiento, analizando el cambio de su variable. (Mora, 2009)

El mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite es la aplicación de técnicas analíticas al aceite lubricante de una máquina para identificar la presencia de contaminantes, desgaste y condiciones anormales, con el objetivo de prevenir fallos y optimizar el rendimiento del equipo. (Rosemeier, 2006)

El mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite es un enfoque de mantenimiento proactivo que utiliza el análisis de muestras de aceite para detectar y evaluar el desgaste, la contaminación y las condiciones operativas anormales de los componentes mecánicos de una máquina. (Keith, 2019)

El mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite el proceso de recolección periódica de muestras de aceite lubricante de las máquinas en funcionamiento, seguido del análisis de esas muestras para detectar el desgaste, la contaminación y otros problemas potenciales (Gresham, 2008)

El mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite es una estrategia de mantenimiento que se basa en el análisis de muestras de aceite para identificar la presencia de contaminantes, desgaste y condiciones anormales en los componentes de una máquina. (Thomas, 2004)

Por lo tanto, el mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite es una técnica de mantenimiento que nos ayuda a pronosticar fallas futuras en los equipos mediante en monitoreo y control de las muestras de aceite.

## **Disponibilidad**

La disponibilidad es la capacidad de un equipo o sistema mecánico para estar operativo cuando es requerido, teniendo en cuenta tanto el tiempo de funcionamiento como el tiempo de inactividad debido a fallas, mantenimiento y reparaciones. (Mora, 2009)

La disponibilidad es la relación porcentual entre el tiempo en que un equipo o sistema está disponible y el tiempo total en que debería estarlo, teniendo en cuenta los tiempos de parada por mantenimiento, reparaciones y fallas. (Uribe, 2010)

La disponibilidad es la probabilidad de que un equipo o sistema esté en condiciones de operar cuando es requerido, considerando el tiempo de funcionamiento efectivo y los tiempos de parada debido a fallas y actividades de mantenimiento. (Díaz, 2012)

La disponibilidad es la capacidad de un equipo o sistema para estar disponible y en condiciones de operar cuando se le requiere, teniendo en cuenta tanto el tiempo de funcionamiento efectivo como el tiempo de inactividad debido a mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. (Pérez, 2021)

La disponibilidad la capacidad de un equipo o sistema para estar operativo y cumplir con su función cuando es necesario, considerando el tiempo de operación y el tiempo de inactividad debido a mantenimiento, reparaciones y fallas. (Basso, 2015)

En conclusión, la disponibilidad es la capacidad de un equipo o sistema mecánico para estar en funcionamiento y cumplir con sus funciones cuando es requerido.



### **Análisis de aceite.**

El análisis de aceite es una técnica de mantenimiento predictivo y preventivo que permite evaluar el estado del lubricante y detectar posibles problemas en el equipo, mediante el estudio de sus propiedades físicas, químicas y la presencia de contaminantes. (Rico, 2012)

El análisis de aceite es una herramienta clave en el mantenimiento predictivo, que permite identificar el desgaste, la contaminación y otros problemas potenciales en las máquinas, con el objetivo de tomar acciones preventivas y evitar fallos inesperados. (Robles, 2013)

El análisis de aceite es una técnica de diagnóstico para identificar el desgaste, la contaminación y las condiciones anormales en los equipos y maquinarias, a través de la interpretación de los resultados de laboratorio y la aplicación de criterios de evaluación. (Medina, 2014)

El análisis de aceite es una herramienta para evaluar la calidad y el estado de los lubricantes, así como para detectar señales tempranas de desgaste y fallos en los equipos, brindando pautas para la interpretación de los resultados y la toma de decisiones. (Fisler, 2015)

El análisis de aceite destaca su importancia en la fiabilidad de los equipos, enfocándose en la identificación de los componentes del lubricante y los indicadores de desgaste, con el fin de implementar estrategias de mantenimiento efectivas y maximizar la vida útil de los equipos. (Roldán, 2017)

Por lo tanto, el análisis de aceite es una técnica fundamental en el mantenimiento predictivo. Permite evaluar el estado del lubricante, identificar desgaste, contaminación y condiciones anormales, con el propósito de tomar acciones antes del fallo.

## 2.4. Definición de términos básicos

Según Álvarez (2013) en su artículo “Implementación de un programa de mantenimiento”, menciona los siguientes términos:

**Tracto-camión:** Vehículo motorizado diseñado para remolcar semi-remolques y soportar la carga que la transmiten éstos a través de la quinta rueda.

**Análisis de aceite:** Conjunto de procedimientos y mediciones aplicados al aceite usado en las máquinas y equipos, que facilitan el control tanto del estado del lubricante, como de manera indirecta establecer el estado de los componentes.

**API:** Instituto Americano del Petróleo.

**Centistokes (cSt):** Unidad de medida de la viscosidad cinemática del aceite.

**Frecuencia de cambio de aceite:** Es el tiempo que se determina se debe cambiar un aceite lubricante por uno nuevo.

**FTIR (Infrarrojos por Transformada de Fourier):** es un método de espectroscopia infrarroja para medir o cuantificar las partículas de contaminación y/o desgaste presente en el lubricante.

**Índice de Viscosidad (IV):** Es una propiedad del lubricante el cual indica la variación de la viscosidad del aceite con respecto a la variación de la temperatura.

**Aceite lubricante:** Sustancia líquida la cual se coloca al equipo para reducir el rozamiento y evitar el desgaste.

**MTBF (Mid Time Between Failure):** Tiempo medio entre paradas.

**MTTR (Mid Time To Repair):** Tiempo medio para reparar.

**OEM (Original Equipment Manufacturer):** Fabricante de equipos originales confecciona piezas o componentes que se utilizan en los productos de otra empresa.

**SAE:** Sociedad de Ingenieros Automotrices

**SACODE:** Técnica de interpretación del resultado de análisis de aceite.

**TBN (Número Básico Total):** Propiedad de los aceites de motor el cual hace referencia a la capacidad del aceite para neutralizar los ácidos que se forman durante la combustión y pasan a través de los anillos al lubricante.

**Viscosidad:** Es la resistencia de que presentan los fluidos al desplazamiento.

**Falla:** es el cese de un equipo o sistema para realizar una función específica.

### **III. HIPOTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis general**

La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite mejora la disponibilidad de los tractocamiones Sinotruk C7H, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022.

##### **3.1.2. Hipótesis específicos**

**H1:** La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite aumenta el MTBF de los tractocamiones Sinotruk C7H, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022.

**H2:** La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite disminuye el MTTR de los tractocamiones Sinotruk C7H, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022.

### 3.2. Operacionalización de variable

Tabla 3.1. Operacionalización de variables

Variables	Definicion Conceptual	Definicion Operacional	Dimensiones	Indicadores	Indices	Metodo	Tecnica
Variable 1 Plan de Mantenimiento Predictivo	El mantenimiento predictivo nos permite predecir cuando se puede presentar la falla en un equipo, y realizar acciones correctivas sin perjuicio a su funcionamiento normal. Estos controles se realizan de forma periódica, dependiendo del tipo de máquina, edad del equipo, condiciones de operación (Buchelli y Garcia, 2015, p. 1)	Recopilar de informacion del aceite lubricante.	Identificacion de componente	Caracterisiticas del componente	Datos	HIPOTETICO DEDUCTIVO	DOCUMENTAL EMPIRICO
				Especificaciones del componente	Datos		
				Intervalos de Mantenimiento	Datos		
		Establcer los limites condenatorios del aceite lubricante	Analisis de Aceite	Definir los parametro a analizar	Datos		
				Establecer limites condenatorios	Datos		
		Recolectar la muestras de aceite lubricante	Recoleccion de Datos	Metodo de muestreo de aceite	Datos		
				Muestreo de aceite	Datos		
				Evaluar e interpretar las reportes de analisis de aceite	Resultado y Diagnostico		
Diagnostico y graficas de seguimiento	Datos						
Evaluacion de la disponibilidad	Datos						
Variable 2 Disponibilidad	Es la a confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado ( Dairo Mesa, 2006, p. 3)	Probalidad que un equipo realice correctamente su funcion durante un rango de tiempo	Confiabilidad	$MTBF = \frac{\text{Tiempo entre fallas}}{N \text{ Fallas}}$	Horas		
		Probabilidad que un equio pueda ser reparado o mantenido en tiempo esperado	Mantenibilidad	$MTTR = \frac{\text{Tiempo para reparar}}{N \text{ Fallas}}$	Horas		

## IV.METODOLOGIA DEL PROYECTO

### 4.1. Diseño Metodológico:

El informe final es de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, el diseño de investigación es experimental, nivel pre experimental y un estudio explicativo – longitudinal.

- **Tipo Aplicada:** Según Valderrama enuncio “La investigación aplicada tiene como finalidad conocer la realidad social, económica, política y cultural de su ámbito, y proponer soluciones concretas, reales, factibles y necesarias a los problemas que se han planteado” (Valderrama, 2013).

Por ello la investigación está orientada a comprender la situación problemática en la que se encuentra la flota de tractocamiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR, a fin de implementar un Plan de mantenimiento Predictivo basado en los análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los tractocamiones, así mismo cumplir los objetivos trazados por la empresa.

- **Diseño de la investigación experimental:** Según Valderrama enuncio “La investigación experimental tiene como finalidad manipular de forma deliberada las variables independientes para conocer los efectos sobre las variables dependientes” (Valderrama, 2013).

La investigación es experimental debido a que manipulara la variable independiente que en nuestra investigación es el plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite que se implementara, para poder analizar los datos recopilados e historial de mantenimiento de los tractocamiones Sinotruk C7H que nos

permita identificar el incremento deseado en la variable dependiente que es la disponibilidad.

- **Nivel pre experimental:** Según Valderrama enuncio “La finalidad de una investigación pre-experimental es reunir un solo grupo para el trabajo experimental, donde se ejecutará la pre-prueba, luego se dispondrá el tratamiento experimental y, finalmente se ejecutará la pos-prueba donde se medirá nuevamente la variable dependiente” (Valderrama, 2013)

La presente investigación es nivel pre-experimental debido a que se recolectara la data antes y después de haber aplicado el plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite a fin de mejorar la disponibilidad de los tractocamiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR.

- **Enfoque Cuantitativo:** Según Valderrama enuncio “La recopilación y el análisis de los datos nos permite responder objetivamente la formulación de los problemas de la investigación con métodos estadísticos para contrastar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas” (Valderrama, 2013).

En la presente investigación se procederá con la recolección de datos, que nos permitan medir la mejora de la disponibilidad de los tractocamiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR.

- **Investigación Explicativa (Nivel de profundidad):** Valderrama enuncio “La finalidad de la investigación explicativa es encontrar la razón por la que ocurre un fenómeno determinado, así como averiguar en qué condiciones ocurre o por qué dos o más variables están relacionadas” (Valderrama, 2013).

En la presente investigación se utilizará el Diagrama de Ishikawa para determinar las causas principales de la baja disponibilidad de la flota de tractocamiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR.

- **Estudio Longitudinal (alcance temporal):** Según Valderrama enunció “Se analizan los cambios a través del tiempo en determinadas variables, en puntos o periodos especificados, para identificar tendencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. El Diseño Longitudinal se divide en tres: Tendencia, Evolutivo y Panel” (Valderrama, 2013).

En la presente investigación se utilizará el estudio longitudinal tipo panel debido a que se toma la misma muestra a los tractocamiones en los tiempos determinados según el programa de muestreo.

#### **4.2. Método de investigación:**

Según Valderrama “El método de investigación Hipotético –Deductivo parte de un marco teórico para la formulación de una hipótesis mediante un razonamiento deductivo, que será validado empíricamente” (Valderrama, 2013)

El informe presenta el método hipotético-deductivo, debido a que partiremos por aseveraciones de nuestra hipótesis, donde buscaremos validarlas, deduciendo de ellas conclusiones que debe confrontarse con los hechos reales.

#### **4.3. Población y muestra**

##### **4.3.1. Población**

Según Valderrama “La población es un grupo finito o infinito de elementos, seres o cosas que comparten características comunes susceptibles de ser observados” (Valderrama, 2013).



Las unidades de observación del presente trabajo de investigación son la flota de tractocamiones (62 unidades) Sinotruk C7H, pertenecientes a la empresa SAVAR.

#### **4.3.2. Muestra**

Según Valderrama “La muestra es un subconjunto modelo de un universo o población” (Valderrama, 2013).

También Valderrama “El muestreo no probabilístico recibe influencia del investigador, pues se selecciona la muestra atendiendo razones de comodidad y según su criterio. El muestreo no probabilístico se divide en tres: Muestreo por cuotas, Muestreo intencional y Muestreo - Bola de nieve” (Valderrama, 2013).

En la investigación se utilizará el muestreo no probabilístico intencional, se consideró 08 tractocamiones Sinotruk con los siguientes criterios:

- Recorrido y tiempo de vida útil semejantes.
- Igual año de fabricación (antigüedad).
- Condiciones de disponibilidad y operación de la empresa.
- Misma condición de operación.

#### **4.4. Lugar de estudio**

El lugar de estudio son las instalaciones de la empresa SAVAR, ubicada en el distrito de Ventanilla, departamento del Callao. Lugar en el cual se implementará el plan de mantenimiento predictivo en el periodo 2021 a 2022.

#### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de información**

##### **4.5.1. Técnicas**

Según Espinoza “La técnica empírica de recolección de datos nos permite observar de primera fuente el objeto a estudiar, a su vez se subdivide en

las siguientes técnicas empíricas: Observación, Entrevista, Encuesta y Cuestionario” (Espinoza, 2010).

En la investigación se tomará como técnica empírica la observación que nos permitirá acumular y sistematizar información de los tractocamiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR.

Según Espinoza “La técnica documental de recolección de datos nos permite recopilar pruebas para validar la hipótesis de la investigación. Se compone de varios tipos de documentos: publicaciones periódicas, informes, protocolos, documentos, información y estadísticas, así como todos los documentos de instituciones y empresas que registran información de su funcionamiento” (Espinoza, 2010).

En la investigación se tomará la técnica documental para recopilar información a través de manuales de fabricante, ordenes de trabajo, check list y reportes de análisis de aceite.

#### **4.5.2. Instrumentos**

Según Valderrama “Los instrumentos son herramientas materiales utilizados por el investigador para recopilar y almacenar información. Pueden ser formularios, prueba de conocimientos o escalas de actitudes; también pueden ser listas de chequeo, inventarios, cuadernos de campo y ficha de datos” (Valderrama, 2013).

En la presente investigación se utilizará los siguientes instrumentos para la recolección de datos.

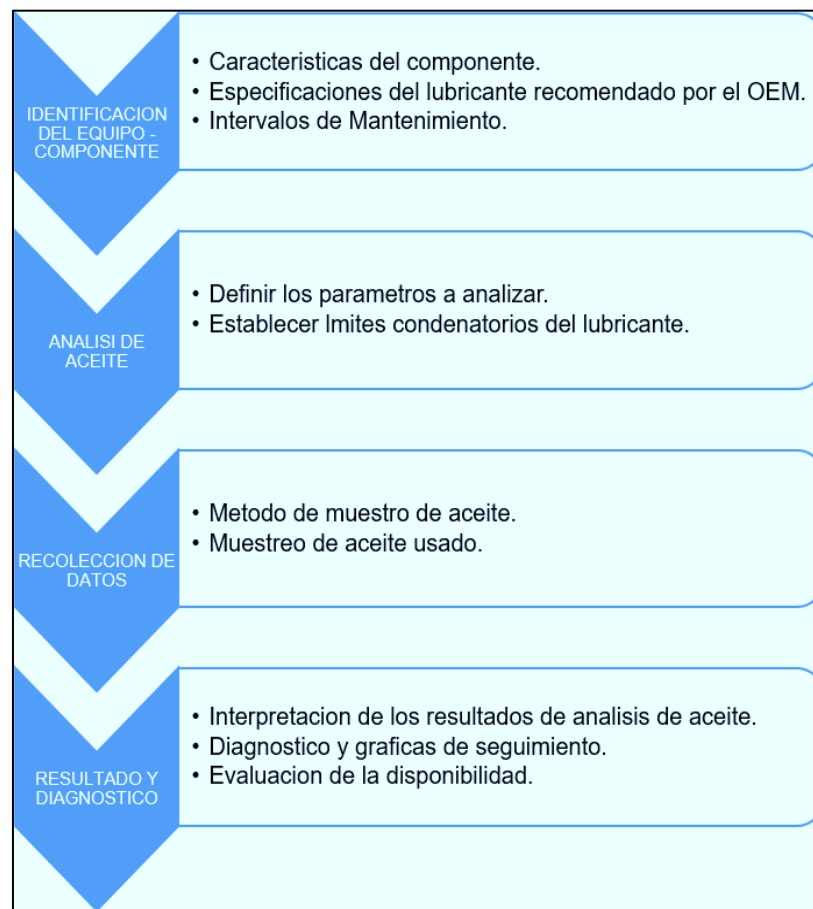
- Orden de trabajo
- Reportes de Análisis de aceite
- Manuales de fabricante
- Fichas Técnicas
- Check List

- Data Histórica
- Normas

#### 4.6. Análisis y procesamiento de datos

Una vez recolectados los datos, se analizaron para averiguar si se tratan de datos que forman una distribución normal, a través de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk. Luego, se procesaron según lo indicado utilizando diagramas para evidenciar parámetros estadísticos y de manera inferencial a través de la prueba T-Student para la comparación de medias relacionadas. La información se procesará con el software estadístico SPSS, con los datos recolectados del software podremos determinar si hay diferencia entre el antes y después de la implementación, Así mismo la implementación del plan de Mantenimiento Predictivo determina las siguientes etapas:

**Figura 4.1 Plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite**



Buchelli y García (2015) aplicaron una metodología para determinar las fallas tempranas en motores de combustión interna a diésel mediante la técnica de análisis de aceite, por ello se tomó como referencia para la elaboración del plan de mantenimiento predictivo.

### **Plan de mantenimiento preventivo.**

El formato del plan de mantenimiento preventivo nos permite describir las actividades que se realizan en el mantenimiento preventivo de las unidades, donde se evidencia la toma de muestra y frecuencia de cambio de aceite y filtros en los sistemas motor e hidráulico, tal como se muestra en la figura 4.2.


Figura 4.2. Plan de mantenimiento preventivo de equipos.

PLAN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS-PROPUESTA TRACTO - SINOTRUCK							PME-SINTK-V1				
SISTEMA	OPERACIONES	MANO OBRA				KM DE OPERACIÓN					
		CANT	NIVEL	NIVEL	TIEMPO (MINUTOS)	TIEMPO TOTAL	D/C 15000 Km <sup>4</sup>	PM1 30000 Km <sup>4</sup>	PM2 60000 Km <sup>4</sup>	PM3 90000 Km <sup>4</sup>	PM4 120000 Km <sup>4</sup>
SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	Elabore el PTS, antes de iniciar con las tareas.						X	X	X	X	X
	Prohibido Fumar alrededor de la maquina: Peligro de Explosión						X	X	X	X	X
	Utilice su EPP especifico.						X	X	X	X	X
	Bloquear la energía: Aplicar procedimiento de Bloqueo y etiquetado.						X	X	X	X	X
	Inspeccione mensualmente el extintor, ubicación adecuada. No opere con prendas sueltas: peligro de atrapamientos.						X	X	X	X	X
MOTOR	Comprobar Grado de saturación del elemento filtrante a través del indicador de mantenimiento	1	M2		42	42	X	X	X	X	X
	Revisar el Estado de correas	1	M2		96	96	X	X	X	X	X
	Revisar Tensor de correas ( Sustituir si es necesario )	1	M2		72	72	X	X	X	X	X
	Revisar la Estanqueidad del sistema de admisión ( Tubo de admisión entre el filtro de aire y el motor )	1	M2		30	30	X	X	X	X	X
	Revisar Estanqueidad del Sistema de Escape	1	M2		6	6	X	X	X	X	X
	Revisar Estanqueidad de tuberías de combustible	1	M2		18	18	X	X	X	X	X
	Revisar la Estanqueidad de tuberías de aceite	1	M2		18	18	X	X	X	X	X
	Verificar el Estado del Filtro separador de Agua	1	M2		30	30	X	X	X	X	X
	Verificar el Estado del Filtro de aire	1	M2		18	18	X	X	X	X	X
	Limpieza del Respiradero de Motor	1	M2		18	18	X	X	X	X	X
	Limpieza de la Válvula de descarga automática de polvo del filtro de aire	1	M2		24	24	X	X	X	X	X
	Limpieza del Tanque de Combustible	1	M2		96	96				X	X
	Tomar Muestra de aceite de Motor	1	M2		24	24	X	X	X	X	X
	Cambio de Aceite de Motor	1	M2		42	42		X	X	X	X
	Cambiar Filtro de Aceite de Motor	1	M2		138	138		X	X	X	X
	Cambio Filtro (elemento) de combustible	1	M2		48	48		X	X	X	X
	Cambio del Filtro de aire primario	1	M2		18	18	X	X	X	X	X
	Cambio del Filtro de aire secundario	1	M2		18	18	X	X	X	X	X
	Cambio del Filtro separador de agua	1	M2		30	30	X	X	X	X	X
	Cambiar Empaque de tapa de balancines	1	M2		30	30				X	X
	Calibración de Válvulas de motor	1	M2		138	138				X	X
	Controlar el Nivel del Líquido Refrigerante	1	M2		6	6	X	X	X	X	X
	Limpieza exterior con aire y agua del radiador e intercooler	1	M2		30	30		X	X	X	X
Medición de concentración de PH del liquido refrigerante	1	M2		25	25				X	X	
Cambiar Líquido refrigerante	1	M2		36	36					X	
TRANSMISIÓN	Comprobar el funcionamiento del Disco de embrague a través del indicador de desgaste	1	M2		15.6	15.6	X	X	X	X	X
	Revisar el nivel de liquido de embrague	1	M2		7.8	7.8	X	X	X	X	X
	Revisar el nivel de aceite de la Caja de cambios	1	M2		15.6	15.6	X	X	X	X	X
	Revisar la Estanqueidad de los agregados caja de cambios	1	M2		36	36	X	X	X	X	X
	Realizar la toma de muestra de aceite de Caja de cambios	1	M2		15.6	15.6		X	X	X	X
	Revisar la Estanqueidad de los agregados diferencial	1	M2		36	36	X	X	X	X	X
	Revisar el Nivel del aceite Diferencial Delantero	1	M2		15.6	15.6		X	X	X	X
	Revisar el nivel del aceite Diferencial Posterior	1	M2		15.6	15.6		X	X	X	X
	Realizar la toma de muestra de Aceite del Diferencial Delantero	1	M2		15.6	15.6		X	X	X	X
	Realizar la toma de muestra de aceite del Diferencial Posterior	1	M2		15.6	15.6		X	X	X	X
	Cambiar el aceite del Diferencial Delantero	1	M2		54.6	54.6		X	X	X	X
	Cambiar el aceite de Diferencial Posterior	1	M2		54.6	54.6		X	X	X	X
	Cambiar aceite de los Cubos	1	M2		54.6	54.6		X	X	X	X
Cambiar el Aceite de caja de cambios	1	M2		54.6	54.6				X	X	
Cambiar el Aceite de retardador	1	M2		54.6	54.6			X		X	
SUSPENSIÓN	Comprobar los daños en las ballestas	1	M2		60	60	X	X	X	X	X
	Comprobar el reajuste general de la Suspensión	1	M2		114	114			X	X	X
	Verificar la presión de inflado de los neumáticos	1	M2		30	30	X	X	X	X	X
	Reapretar tuercas de pernos de rueda con el torque recomendado	1	M2		39	39	X	X	X	X	X
DIRECCIÓN	Comprobar el Juego de dirección y estado del varillaje de la dirección	1	M2		36	36	X	X	X	X	X
	Revisar el Nivel de aceite de la dirección	1	M2		15.6	15.6	X	X	X	X	X
	Revisar la Estanqueidad de los agregados servo-dirección	1	M2		36	36	X	X	X	X	X
	Cambio del Filtro de la dirección	1	M2		18	18				X	X
Cambiar el Aceite de la Dirección	1	M2		54.6	54.6				X	X	
ELÉCTRICO	Revisar el estado del Arrancador, alternador, baterías y cables.	1	E2		23.4	23.4	X	X	X	X	X
	Revisar el Sistema eléctrico y luces (terminales)	1	E2		48	48	X	X	X	X	X
NEUMÁTICO	Revisar la Estanqueidad de tuberías líquidas del sistema neumático	1	M2		18	18	X	X	X	X	X
	Cambiar el Filtro secador de aire	1	M2		18	18					X
FRENOS	Comprobar la Regulación del juego de la zapata de freno	1	M2		96	96	X	X	X	X	X
	Comprobar el Estado y funcionamiento del freno de motor	1	M2		72	72	X	X	X	X	X
	Comprobar la Posición de los ejes de levas de freno	1	M2		30	30	X	X	X	X	X
	Revisar el Desgaste de zapatas de frenos	1	M2		30	30	X	X	X	X	X
HIDRÁULICO	TANQUE HIDRAULICO DE TOLVA: Revisar si tienes fugas o rajaduras. Revisar nivel de aceite, rellenar de ser necesario.	1	M2		30	30	X	X	X	X	X
	Cambiar Filtro Hidráulico	1	M2		25	25	X	X	X	X	X
	Cambiar Filtro de aire del sistema hidráulico de levante de tolva	1	M2		36	36	X	X	X	X	X
	Cambiar el aceite del Sistema Hidráulico	1	M2		23.4	23.4				X	X
	Limpia alrededor de Tapa-Filtro para evitar que la suciedad ingrese al tanque.	1	M2		48	48	X	X	X	X	X
	MANGUERAS HIDRÁULICAS: Verificar si existen fugas o daños a las mangueras de succión, presión y retorno.	1	M2		15.6	15.6	X	X	X	X	X
CHASIS Y CARROCERÍA	Toma de muestra de aceite	1	M2		18	18	X	X	X	X	X
	TOMA DE FUERZA BOMBA: Revisar estado y fugas.	1	M2		15.6	15.6	X	X	X	X	X
	Limpia la mesa del perno rey, base superior de quinta rueda	1	M2		10	10	X	X	X	X	X
	Lubricar la base superior de la quinta rueda, mecanismo de trabamiento	1	M2		10	10	X	X	X	X	X
	Regulación del conjunto de trabamiento	1	M2		15	15	X	X	X	X	X
OTROS	Torque de los tornillos de fijación del perno rey, zapatas y mesa de quinta rueda	1	M2		15	15	X	X	X	X	X
	Verificar componentes de la quinta rueda si presentan desgastes y deformación	1	M2		15	15	X	X	X	X	X
	Comprobar el estado del techo de la cabina del operador	1	M2		30	30			X	X	X
	Comprobar el estado del Cinturón de seguridad	1	M2		18	18				X	X
	Comprobar el Funcionamiento de las chapas de puerta	1	M2		18	18				X	X
	Verificar el estado del asiento	1	M2		18	18				X	X
	Lavado y Engrase en General	1	M2		72	72	X	X	X	X	X
Evaluación Start Diagnosis **	1	M2		20	20			X	X	X	

### Formato de Orden de Trabajo No Planificado.

El formato de orden de trabajo no planificado comprende los siguientes tipos: Mantenimiento Correctivo de Emergencia Factor Mantenimiento, Mantenimiento Correctivo Emergencia Factor Externo y Mantenimiento Correctivos, son actividades que afectan directamente a una baja disponibilidad.

Figura 4.3 Formato de orden de trabajo no planificado.

		<b>ORDEN DE TRABAJO</b> MTO-21.01		Nro de OT	
				Fecha de OT	
PLACA:		KILOMETRAJE		TIPO DE OT:	
PRIORIDAD:		HOROMETRO:		TALLER:	
FECHA Y HORA INGRESO:	/	FECHA Y HORA SALIDA:	/		
DESCRIPCIÓN DEL REPORTE:					
CONDUCTOR:		OPERACIÓN:			
ACTIVIDAD:		H. INICIO:		H. FIN:	
MODO DE FALLA:					
FALLA:					
CAUSA:		OPERAC. :		MANT. :	
SOLUCIÓN:					
ACTIVIDAD:		H. INICIO:		H. FIN:	
MODO DE FALLA:					
FALLA:					
CAUSA:		OPERAC. :		MANT. :	
SOLUCIÓN:					
ACTIVIDAD:		H. INICIO:		H. FIN:	
MODO DE FALLA:					
FALLA:					
CAUSA:		OPERAC. :		MANT. :	
SOLUCIÓN:					
ACTIVIDAD:		H. INICIO:		H. FIN:	
MODO DE FALLA:					
FALLA:					
CAUSA:		OPERAC. :		MANT. :	
SOLUCIÓN:					
FECHA Y HORA INICIO:	/	FECHA Y HORA FIN:	/		
OBSERVACIÓN:					
TECNICOS RESPONSABLES:					
TÉCNICO 01	TÉCNICO 02	PLANNER DE MANTENIMIENTO	SUPERVISOR DE TALLER	JEFE DE TALLER	



### Aviso de Mantenimiento

El formato de aviso de mantenimiento nace de la solicitud del área de operaciones, el cual describe los modos de fallas presentes en el equipo, mayormente reportado por el conductor.

Figura 4.5 Formato de trabajo planificado.

DÍA		MES		AÑO		HORA		CORRELATIVO	
PLACA:		CONDUCTOR		H. OT:					
MARCÁ:		TALLER:		APLICACIÓN					
KILOM. / HORA:									
ITEM	DESPERFECTOS REPORTADOS								COD. COMP.
Página 1									
CONDUCTOR		SUPERVISOR DE OPERACIÓN		SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO		PLANIFICADOR DE MANTENIMIENTO			
Firma		Sello y firma		Sello y Firma		Sello y Firma			

### Frecuencias de Mantenimiento

En las tablas siguientes se muestra las frecuencias y los tipos de mantenimiento de acuerdo a lo recomendado por el OEM para los sistemas motor e hidráulico.

Tabla 4.1. Frecuencia de mantenimiento del sistema de motor.

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	TIPO DE ACEITE	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO - KM				
				PM0 150000	PM1 30000	PM2 60000	PM3 90000	PM4 120000
Aceite de Motor	12	Galones	SAE 10W-40		X	X	X	X



**Tabla 4.2. Frecuencia de mantenimiento del sistema hidráulico.**

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	TIPO DE ACEITE	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO - KM			
				PM0 4 meses	PM1 6 meses	PM2 6 meses	PM3 6 meses
Aceite Hidraulico	25	Galones	NUTO H-46	X	X	X	X

### Dializador de Aceite Hidráulico

Parte de la implementación de un plan de mantenimiento predictivo en el sistema hidráulico, fue adquirir un dializador de aceite de la marca PURIFISA, cumplimiento las siguientes características:

**Tabla 4.3. Ficha técnica del dializador DAH (01).**

<b>Dializador DAH (01)</b>	
Modelo	DAH (01)
Acople Entrada	3/4"
Acople Salida	1/2"
E/B	Piusi
Elemento Filtrante	1
Manómetro	1/4" NPT
Peso bruto	60 KG.
Caudal (GPM)	5-8

Fuente: PURIFISA-2005

Figura 4.6 Dializador hidráulico.



Fuente: PURIFISA-2005

### Programa de muestreo de aceite

Se elaboró un programa de muestreo para llevar un control de los parámetros del aceite lubricante: salud, contaminación y desgaste de los sistemas motor e hidráulico, en este programa se recolecto muestras de aceite para el periodo de prueba el cual se detalla en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Programa de muestreo de aceite de motor

Programa de muestreo de Aceite de Motor				
Km uso del aceite	Primera ronda de muestreo	Segunda ronda de muestreo	Tercera ronda de muestreo	Cuarta ronda de muestreo
0				
30,000	Muestreo			
32,500	Muestreo			
35,000	Muestreo			
0				
30,000		Muestreo		
32,500		Muestreo		
35,000		Muestreo		
37,500		Muestreo		
0				
30,000			Muestreo	
32,500			Muestreo	
35,000			Muestreo	
37,500			Muestreo	
40,000			Muestreo	
0				
30,000				Muestreo
32,500				Muestreo
35,000				Muestreo
37,500				Muestreo
40,000				Muestreo
42,500				Muestreo

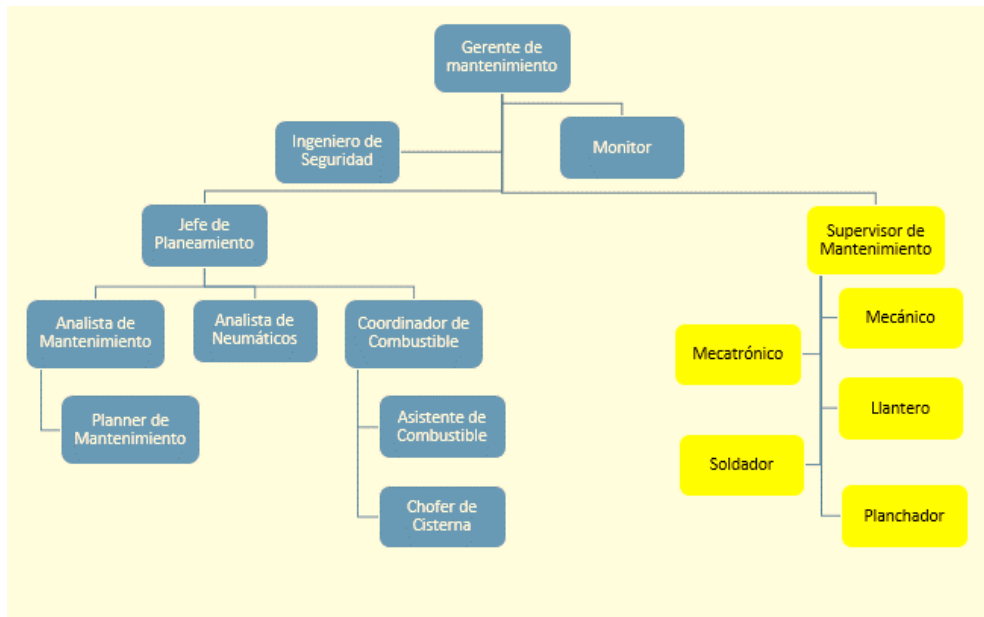
Tabla 4.5. Programa de muestreo de aceite hidráulico.

Programa de muestreo de Aceite hidráulico			
Tiempo (meses)	Primera ronda de muestreo	Segunda ronda de muestreo	Tercera ronda de muestreo
0			
6	Muestreo & Dializado		
8	Muestreo & Dializado		
0			
6		Muestreo & Dializado	
8		Muestreo & Dializado	
10		Muestreo & Dializado	
0			
6			Muestreo & Dializado
8			Muestreo & Dializado
10			Muestreo & Dializado
12			Muestreo & Dializado

### Diagrama de responsabilidad del área de mantenimiento SAVAR

Parte de la implementación de un plan de mantenimiento predictivo fue elaborar un diagrama de responsabilidades con todos los involucrados que nos permite lograr el éxito de la implementación.

Figura 4.7 Responsabilidades del área de mantenimiento SAVAR.



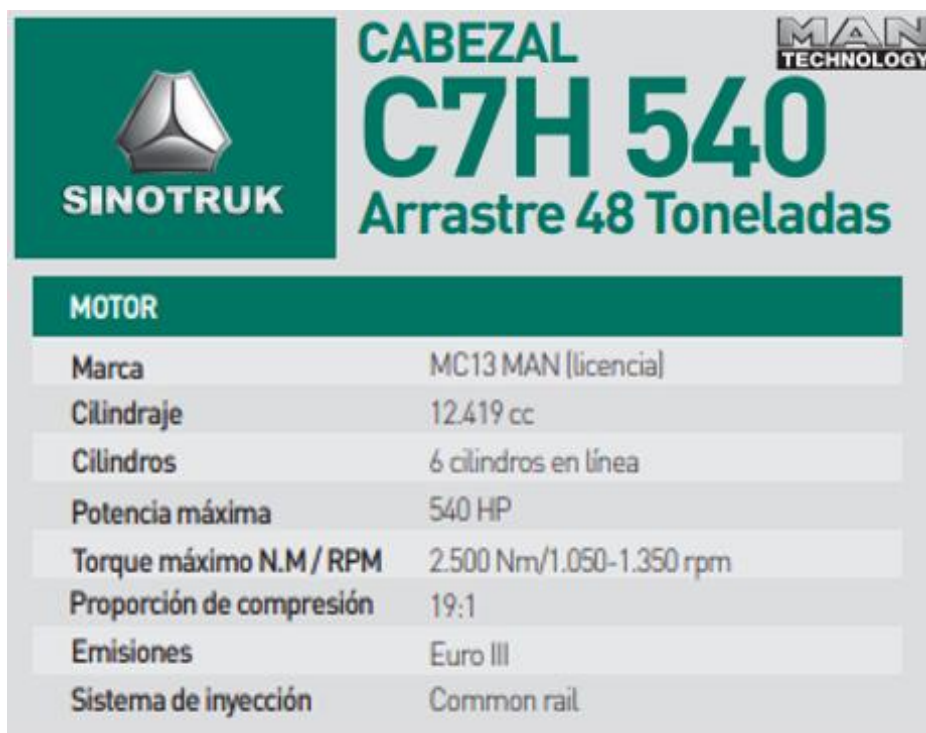
#### 4.6.1. Identificación y diagnóstico del equipo

Según el análisis de criticidad realizado se determinó los sistemas motor e hidráulico de alta criticidad, por ende, mayor impacto en la disponibilidad de la Operación de Transporte Concentrado, por tanto, se seleccionó estos sistemas como principal objeto de estudio del plan de mantenimiento predictivo para los tractocamiones que comprende la operación.

#### Características del componente.

Para el sistema de motor de combustión interna diésel se cuenta con la marca MC13 MAN Technology para los 08 tractocamiones como objeto de estudio de la investigación, y sus características principales se muestran en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Programa de muestreo de aceite de motor.



The image shows a specification card for a Sinotruk C7H 540 engine. It features the Sinotruk logo on the left and the MAN Technology logo on the right. The main text reads 'CABEZAL C7H 540 Arrastre 48 Toneladas'. Below this is a table with engine specifications.

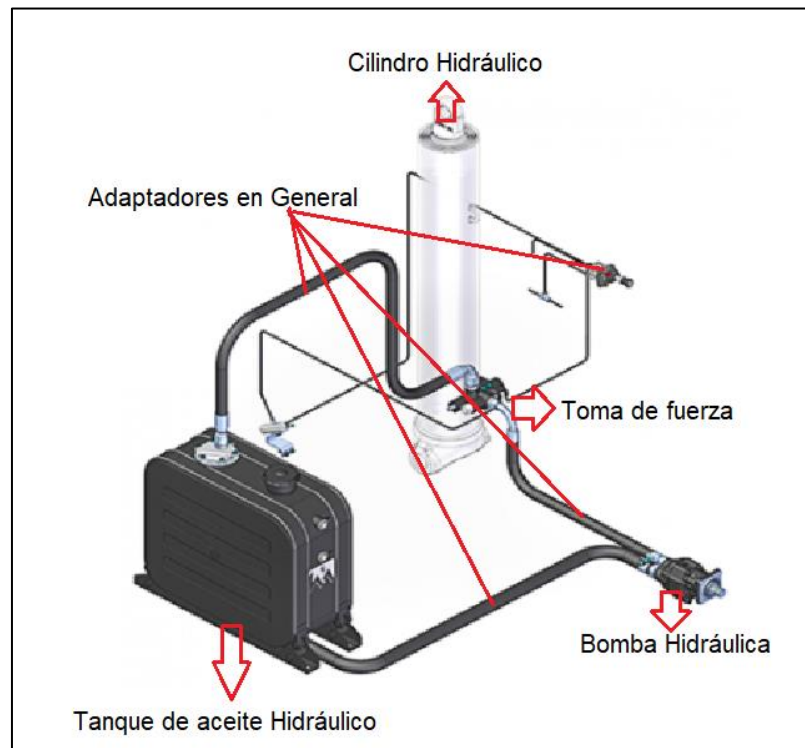
MOTOR	
Marca	MC13 MAN (licencia)
Cilindraje	12.419 cc
Cilindros	6 cilindros en línea
Potencia máxima	540 HP
Torque máximo N.M / RPM	2.500 Nm/1.050-1.350 rpm
Proporción de compresión	19:1
Emisiones	Euro III
Sistema de inyección	Common rail

Fuente: MAN TECHNOLOGY-2010

Para el sistema hidráulico se seleccionó el kit hidraulico Mcstill, que comprende los siguientes componentes: Toma de fuerza, Bomba Hidráulica, Adaptadores en General, Tanque de aceite Hidráulico y Cilindro Hidráulico.

A continuación, se detalla la ubicación de los componentes:

**Figura 4.8 Componentes del sistema hidráulico.**



### **Especificaciones del lubricante**

#### **Sistema motor.**

Aceite SAE 10W- 40.

El fabricante original de la máquina (OEM) proporciona una base de los requisitos de lubricación necesarios para mantener la máquina, dichas especificaciones se muestran en la tabla 4.7.

**Tabla 4.7. Especificaciones del motor MC13 y ciclo de cambio,**

Conjunto	Nombre del producto del petróleo	Nivel de calidad y grado de viscosidad	Fabricante recomendado o especificaciones del producto	Volumen de producto del petróleo	Recorrido o periodo para el primer cambio	Recorrido o periodo de intervalo para el cambio	Notas
MC13	Aceite para motor diésel	ACEA E4/M 3277 10W/40	Mobil Delvac XHP Extra 10W-40 Castrol Vecton Long Drain 10W-40 Shell Rimula R6 M 10W-40	42 L (Volumen a echar para la primera vez) 40 L (volumen a echar sin cambiar el cartucho de filtro)	Vehículos para transporte de larga distancia: 100.000 Km o 12 meses para condiciones de operación de alta velocidad; 80.000 Km o 12 meses para condiciones de operación en ciudades; 60.000 Km o 6 meses para condiciones de operación de carga pesada tipo I; 40.000 Km o 6 meses para condiciones de operación de carga pesada tipo II: prevalecerá lo que ocurra primero	Vehículos para transporte de larga distancia: 100.000 Km o 12 meses para condiciones de operación de alta velocidad; 80.000 Km o 12 meses para condiciones de operación en ciudades; 60.000 Km o 6 meses para condiciones de operación de carga pesada tipo I; 40.000 Km o 6 meses para condiciones de operación de carga pesada tipo II: prevalecerá lo que ocurra primero	1. El aceite para cualquier otro motor (incluyendo WD615 Y D12) no será aplicable para el motor MC, de lo contrario, causara daños graves al motor en muy poco tiempo, y para estos daños causados, Sinotruk sólo brindará servicios pagados. 2. Se tomara como estandar el combustible vendido en el mercado formal. Si la calidad del combustible no alcanza el estandar, se debera acortar en consecuencia el recorrido para el cambio de aceite.
		ACEA E4/M 3277 5W/40	Mobil Delvac 1 SHC 5W-40 Castrol Enduron plus 5W-40 Shell Rimula R6 ME 5W-30		Vehículos para ingeniería municipal, Vehículos para ingeniería civil, camiones de volteo para transporte y camiones mezcladores: 40.000 Km o 10 meses (30.000 Km o 6 meses para condiciones adversas) prevalecerá lo que ocurra primero  Camiones mineros: 20.000 Km o 4 meses o 1.000 horas, prevalecerá lo que ocurra primero	Vehículos para ingeniería municipal, Vehículos para ingeniería civil, camiones de volteo para transporte y camiones mezcladores: 40.000 Km o 10 meses (30.000 Km o 6 meses para condiciones adversas) prevalecerá lo que ocurra primero  Camiones mineros: 20.000 Km o 4 meses o 1.000 horas, prevalecerá lo que ocurra primero	

Fuente: MANUAL DE FABRICANTE-SINOTRUK-2016

Como se muestra en la tabla 4.7 para las condiciones adversas presentes en la operación transporte Concentrado hacen que la frecuencia de cambio de aceite motor sea 30,000 km, utilizando nivel de calidad y grado de viscosidad ACEA 34/M 3277 10W – 40.

**Sistema Hidráulico.**

Aceite SAE Nuto H-46

El sistema hidráulico instalado en los tractocamiones Sinotruk se realizó por la empresa Mcsil S.A.C. El proveedor en el manual de mantenimiento menciona lo siguiente

**Tabla 4.8. Tipo de lubricante – Sistema Hidráulico**

ITEM	LUBRICANTE	NORMA	CONDICIONES DE TRABAJO
1	ACEITE	ISO 46	CLIMAS FRIOS
2	HIDRAULICO	ISO 68	CLIMAS CALIDOS

Fuente: MANUAL DE MANTENIMIENTO - MCSIL SAC - 2015

Se observa de la tabla que el aceite hidráulico que se debe utilizar para las condiciones de trabajo presente en la operación Transporte Concentrado es el ISO 46.

Se utilizó el aceite hidráulico Mobil Delvac Nuto H46, debido a que comparte con las propiedades y características de la norma ISO 46. Se aprecia en la siguiente tabla:

**Tabla 4.9. Propiedades y especificaciones de aceite Nuto H**

PROPIEDAD	NUTO H32	NUTO H46	NUTO H68	NUTO H100	NUTO H150
Grado	ISO 32	ISO 46	ISO 68	ISO 100	ISO 150
Corrosion de la tira de cobre, 3h, 100 C, Clasificacion, ASTM D130	1A	1A	1A	1A	1A
Densidad a 15 C, kg/l, ASTM D1298	0.872	0.876	0.882	0.884	0.887
Emulsion, tiempo hasta 3 ml de emulsion, 54C, min, ASTM D1401	15	15	20	-	-
Emulsion, tiempo hasta 3 ml de emulsion, 82 C, min, ASTM D1401	-	-	-	10	5
Punto de inflamacion, copa abierata cleveland, °C, ASTM D92	212	226	234	242	258
Viscosidad cinemarica @100 C, mm2/s, ASRM D445	5.3	6.6	8.3	11	14.9
Viscosidad cinematica @ 40 C, mm2/s, ASTM D445	31.4	44	63.3	96	150
Punto de fluidez, °C, ASTM D97	-2.4	-2.4	-1.8	-1.8	-1.8
Indice de viscosidad, ASTM D2270	98	98	98	98	98

Fuente: MOBIL DELVAC-2017

## Frecuencia de Mantenimiento

**Tabla 4.10. Intervalo de mantenimiento preventivos motores MC13**

ITEM	TRANSITO DE CARGA	CONDICIONES DE TRABAJO	INTERVALO DE MANTENIMIENTO		
			KILOMETRAJE	MESES	HORAS
1	TRANSPORTE DE LARGA DISTANCIA	DE ALTA VELOCII	100000	12	-
		EN CIUDADES	80,000	12	-
		CARGA PESADA	60,000	6	-
		CARGA PESADA	40,000	6	-
2	TRANSPORTE DE MEDIA DISTANCIA	NORMALES	40,000	10	-
		ADVERSAS	30,000	6	-
3	TRANSPORTE DE CORTA DISTANCIA	MINERIA	20,000	4	1000

Fuente: MANUAL DE MANTENIMIENTO – SINOTRUK-2015

De la tabla se observa que las frecuencias de mantenimiento de cambio de aceite y filtros para un motor MC13, que trabaja en medianas distancias a condiciones adversas. Se debe utilizar el intervalo de mantenimiento de 30,000 km o 6 meses.

**Tabla 4.11. Frecuencia de mantenimiento – Sistema Hidráulico**

ITEM	ACTIVIDAD	CODIGO	CANTIDAD UNIDADES	FRECUENCIA
1	Apriete de tuercas y pernos			2 semanas
2	Revision de el nivel de aceite			2 semanas
3	Revision del estado del aceite			2 semanas
3	Sellado de flexibles (mangueras hidraulicas)			2 semanas
4	Control del estado de felxibles y sus roces			2 semanas
5	Revicion de fugas de aceite			2 semanas
6	Inspeccion de filtros			2 semanas
7	Cambio de filtros			6 meses
8	Cambio de aceite hidraulico			6 meses

Fuente: Manual de Mcsti SAC - 2010

De la tabla 4.11 se observa que las frecuencias de mantenimiento de cambio de aceite y filtros para el sistema hidráulico instalado por Mcstil S.A.C, debe realizarse con una frecuencia de 6 meses.

#### 4.6.2. Análisis de aceite

##### Definir parámetros a analizar

Se procederá a describir los parámetros y métodos utilizados en análisis de aceite de los lubricantes monitoreados en la investigación. Así También mencionar los métodos utilizados para cada ensayo fue determinado por la empresa Mobil Delvac Sac, encargada de realizar los análisis de aceite en el laboratorio.

**Tabla 4.12. Parámetros y métodos en el análisis de aceite**

ITEM	PARAMETRO	METODO
1	VISCOSIDAD CINEMATICA A 40 C Y 100 C	ASTM D7279 - 18
2	NUMERO TOTAL DE BASICIDAD (TBN)	ANA - MET . OGC.2
3	AGUA	ANA - MET . OGC.1
4	PARTICULAS DE DESGASTE	ASTM D5185 - 18
5	PARTICULAS DE CONTAMINACION	ASTM D5185 - 18
6	OXIDACION	ASTM E2412 - 10 (2018)
7	HOLLIN	ASTM E2412 - 10 (2018)
8	INDICE PQ	ASTM D8184 - 18



## Limites condenatorios

Los límites condenatorios son valores establecidos por el fabricante (OEM), para comparar los resultados de las muestras obtenidas y ver si el porcentaje o cantidad de contaminantes se encuentra dentro de los límites establecidos, a continuación, se detallan las tablas de límites condenatorios:

**Tabla 4.13. Tabla de límites condenatorios: Motor**

TIPO	ELEMENTO	UNIDAD	NORMAL	PRECAUCION	CRITICO
SALUD	VISCOSIDAD A 100 C	cSt	<=12	12	>17.5
	OXIDACION	Abs / 0.1 mm	<=0.2	0.2	>0.3
	TBN	mgKOH	<=12	12	>15
	HOLLIN	Abs / 0.1 mm	<=2	2	>2.5
CONTAMINACION	POTASIO (K)	ppm	<=25	25	>50
	SODIO (Na)	ppm	<=25	25	>70
	AGUA (cualitativo)	DETECTA DO SI / NO	-	-	-
	INDICADOR DE REFRIGERANTE (Cualitativo)	DETECTA DO SI / NO	-	-	-
	SILICIO (Si)	ppm	<=15	15	>25
DESGASTE	ALUMINIO (Al)	ppm	<=10	10	>20
	COBRE (Cu)	ppm	<=15	15	>45
	ESTAÑO (Sn)	ppm	<=9	9	>15
	HIERRO (Fe)	ppm	<=50	50	>125
	INDICE PQ	-	<=30	30	>50
	PLOMO (Pb)	ppm	<=15	15	>20

Fuente: MANUAL DE MOTOR MAN-2010

**Tabla 4.14. Tabla de límites condenatorios: Hidráulico**

TIPO	ELEMENTO	UNIDAD	NORMAL	PRECAUCION	CRITICO
SALUD	VISCOSIDAD A 40 C	cSt	<=12	12	>17.5
	OXIDACION	Abs / 0.1 mm	<=0.2	0.2	>0.3
CONTAMINACION	CODIGO ISO 4406	-	<=18/16/13	18/16/13	>20/18/15
	POTASIO (K)	ppm	<=25	25	>50
	SODIO (Na)	ppm	<=25	25	>70
	SILICIO (Si)	ppm	<=15	15	>25
	AGUA (cualitativo)	DETECTA DO SI / NO	-	-	-
	INDICADOR DE REFRIGERANTE (Cualitativo)	DETECTA DO SI / NO	-	-	-
DESGASTE	ALUMINIO (Al)	ppm	<=10	10	>20
	COBRE (Cu)	ppm	<=15	15	>45
	ESTAÑO (Sn)	ppm	<=9	9	>15
	HIERRO (Fe)	ppm	<=50	50	>125
	INDICE PQ	-	<=30	30	>50
	PLOMO (Pb)	ppm	<=15	15	>20

Fuente: Manual de Mcsti SAC - 2010

### 4.6.3. Recolección de información

#### Método de muestreo de aceite

En la investigación se utilizó el método de extracción por bomba de vacío, debido a que los componentes a analizar no están equipados con válvulas para toma de muestra y se lubrican por presión. En el método utilizamos las siguientes herramientas:

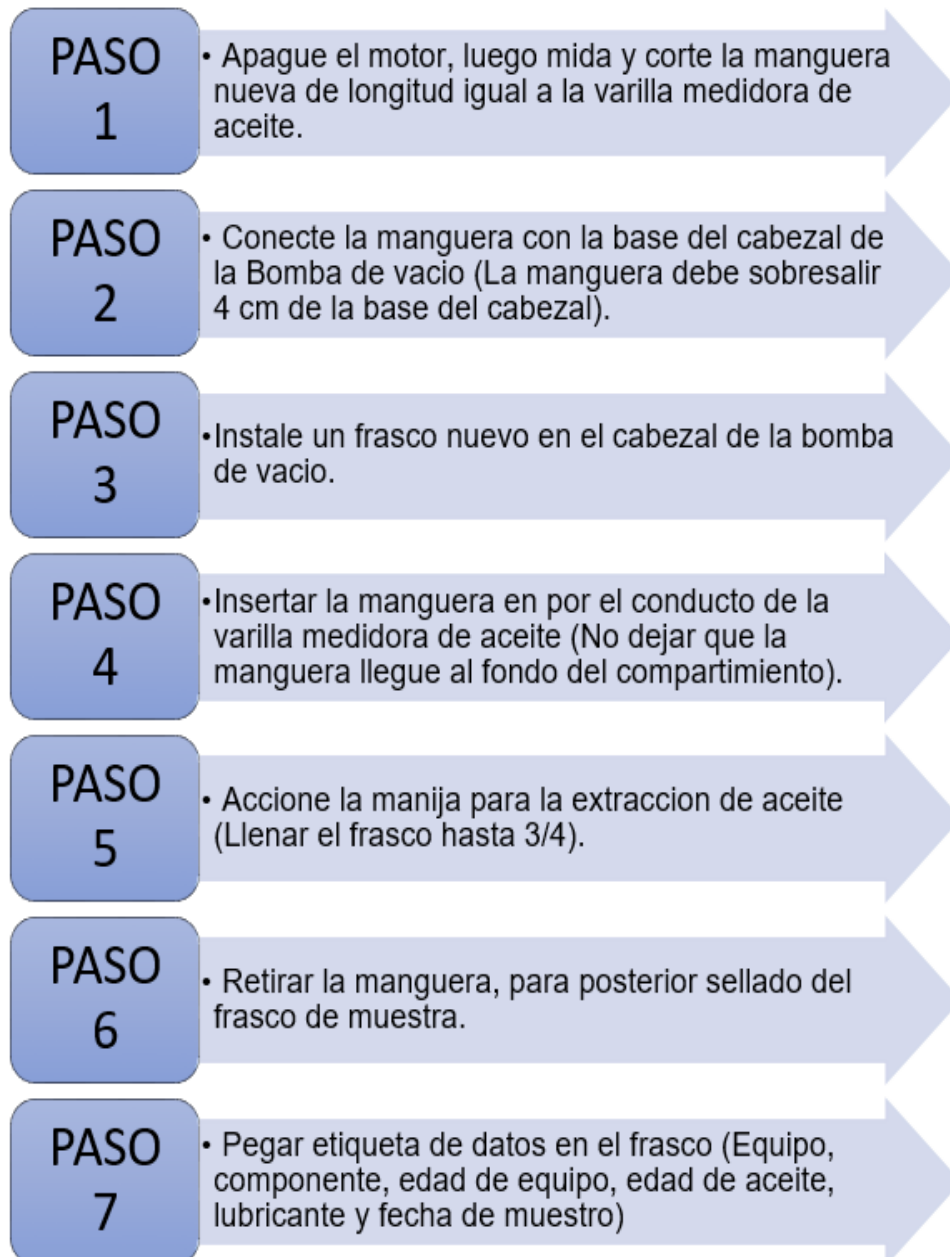
**Tabla 4.15. Tabla de herramientas utilizadas en el muestreo de aceite**

ITEM	DESCRIPCION	FOTO
1	BOMBA DE VACIO	
2	MANGUERA DE DIAMETRO 3/16"	
3	FRASCO PVC	
4	ETIQUETA DE IDENTIFICACION	

### Procedimiento del muestreo de aceite

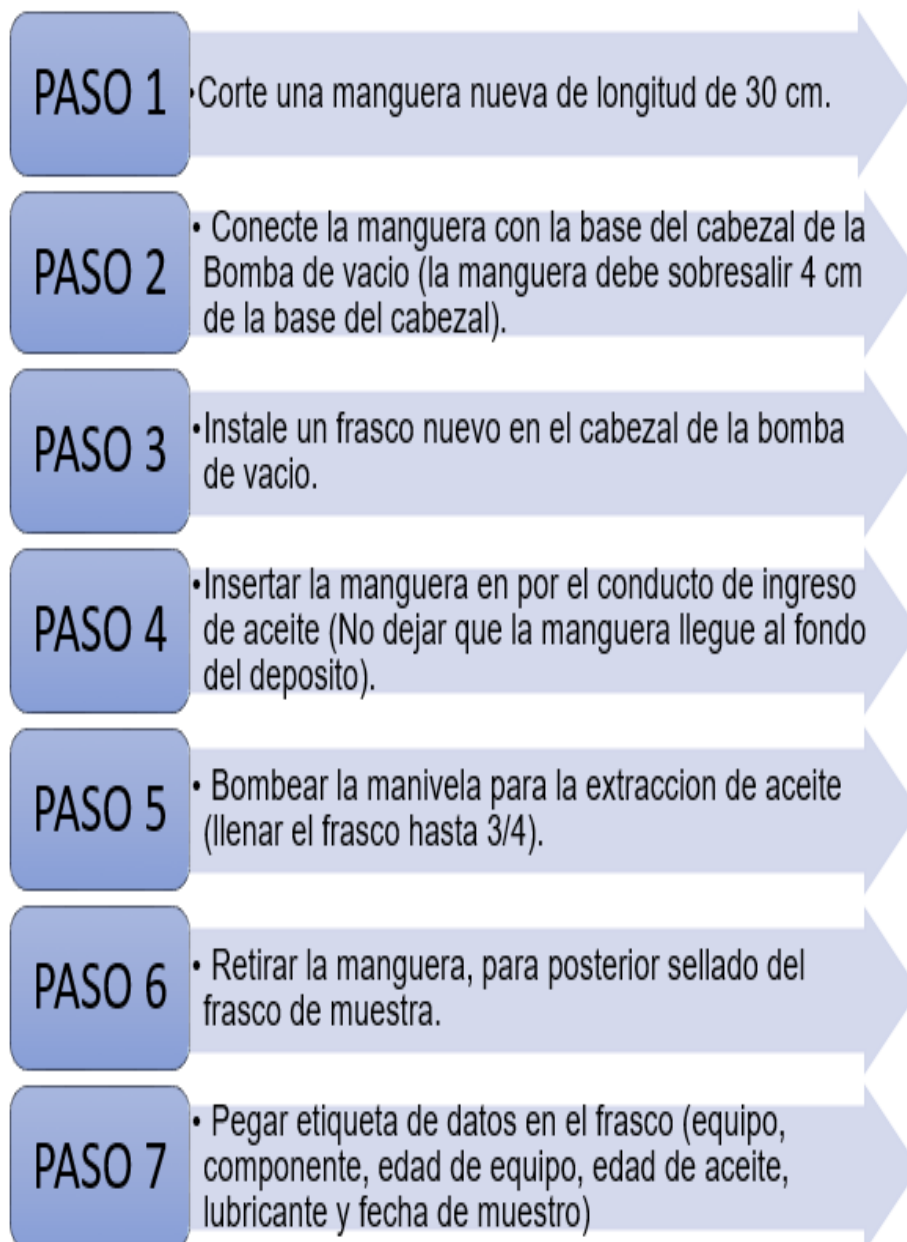
Para la toma de muestra de aceite de motor se debe seguir los pasos que a continuación se van a detallar, con el fin de obtener una muestra confiable y de esa manera obtener resultados confiables que nos permitan una toma de decisiones acertadas.

**Figura. 4.9. Procedimiento para obtener el muestreo de aceite: sistema de Motor.**



Para la toma de muestra de aceite hidráulico se debe seguir los pasos que a continuación se van a detallar, con el fin de obtener una muestra confiable y de esa manera obtener resultados confiables que nos permitan una toma de decisiones acertadas.

**Figura. 4.10. Procedimiento para obtener el muestreo de aceite: Sistema hidráulico.**



#### 4.6.4. Resultado e diagnostico

##### Interpretación de resultados

El análisis de aceite y la interpretación de los resultados son fundamental para diagnosticar correctamente el estado de los lubricantes y componentes.

Para la investigación se utilizó el método SACODE, que se refiere a:

- SA: Salud del lubricante.
- CO: Contaminación del lubricante.
- DE: Desgaste del componente.

Tabla 4.16. Estado del aceite lubricante y componentes

ITEM	ESTADO	DESCRIPCION
1	NOMAL	El aceite está dentro de los parámetros normales Las partículas de contaminación y desgaste se encuentran dentro del rango normal.
2	PRECAUCION	El aceite se encuentro por encima de los valores normales, pero por debajo de los valores criticos y se debe realizar un seguimiento estricto antes que se produzca la falla. Las partículas de contaminación y desgaste se encuentra por encima de los valores normales, pero por debajo de los valores criticos y <u>se debe realizar un seguimiento</u>
3	CRITICO	El aceite se encuentra por encima del los valores criticos, se deben tomar acciones inmediatas. Las partículas de contaminación y desgaste se encuentra por encima de los valores criticos y se deben tomar acciones inmediatas.

## Diagnostico

En la tabla 4.17 y 4.18 se muestran los resultados de análisis de aceite obtenidos en las tres etapas siguientes: Pre-implementación, Prueba y Post-implementación.

**Tabla 4.17. Resultado de análisis de aceite para el sistema motor.**

COMPONENTE	ESTADO DE REPORTE	ETAPA		
		Pre Implementacion	Prueba	Post Implementacion
MOTOR	Alerta	8	0	7
	Normal	66	30	73
	Precaución	8	2	6
Total general		82	32	86

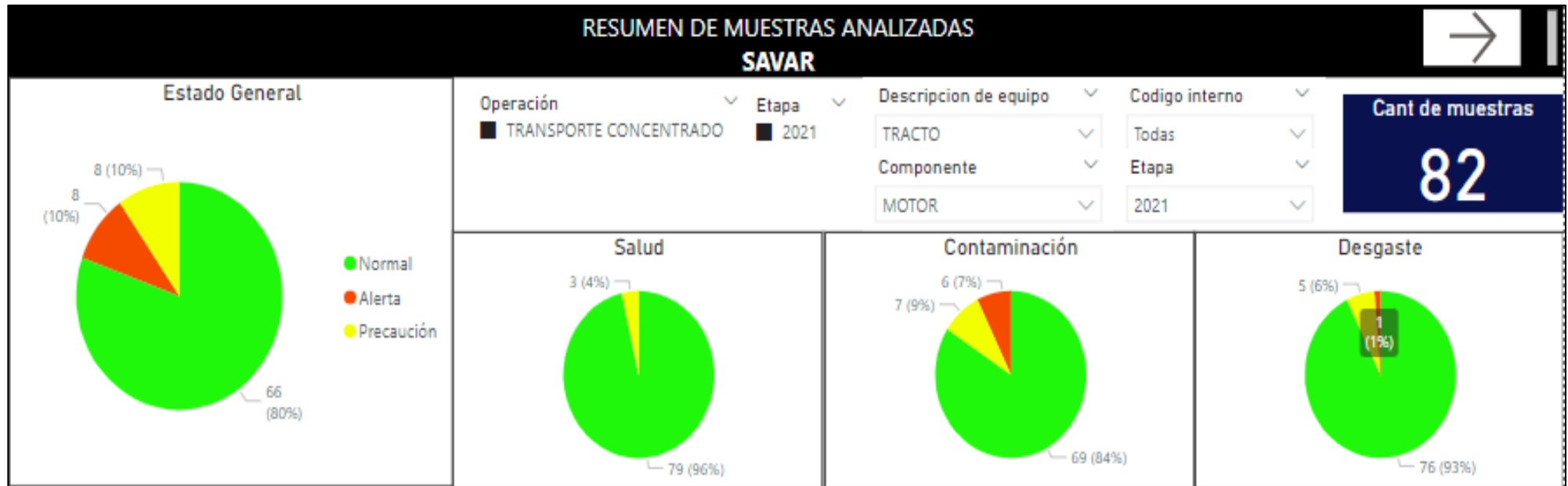
Se obtuvo un total de 200 muestras recolectadas para el sistema de motor en las 03 etapas.

**Tabla 4.18. Resultado de análisis de aceite para el sistema hidráulico**

COMPONENTE	ESTADO DE REPORTE	ETAPA		
		Pre Implementacion	Prueba	Post Implementacion
HIDRÁULICO	Alerta	65	0	0
	Normal	1	24	27
	Precaución	0	0	2
Total general		66	24	29

A continuación, se mostrarán los cuadros resumen de los reportes de análisis de aceite con el uso de la herramienta Power BI.

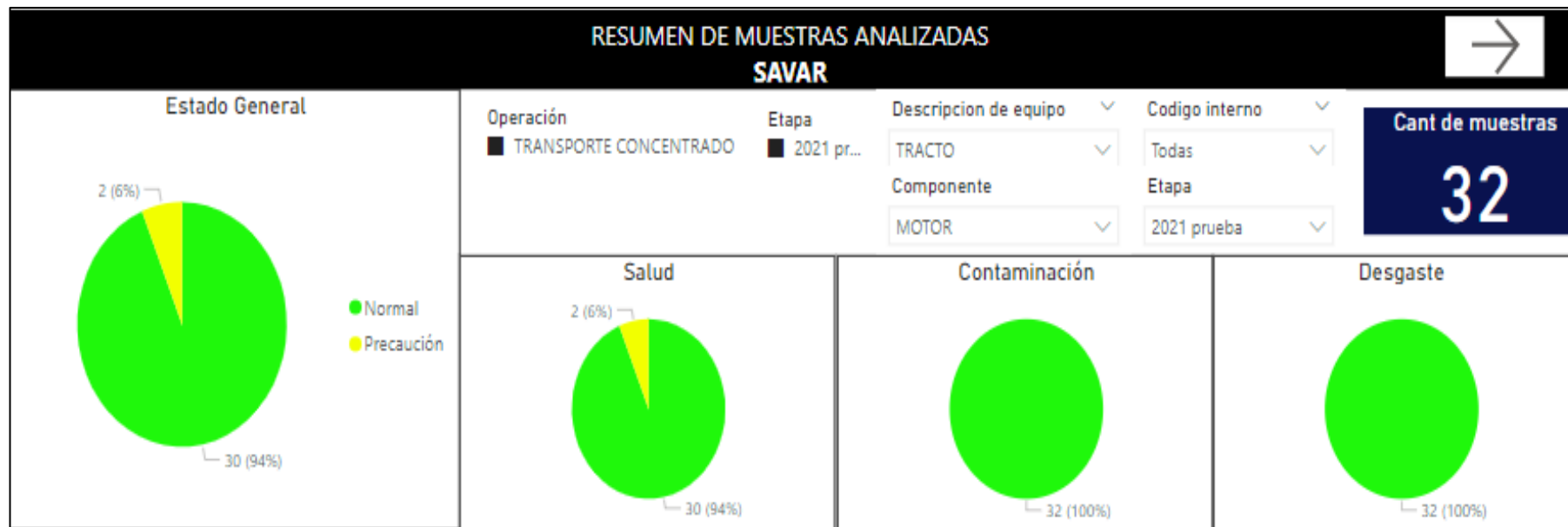
Figura. 4.11 Resumen del estado general del análisis de aceite para el sistema motor, Pre-implementación.



Podemos deducir lo siguiente:

- Se observa que el 80% de los resultados obtenidos se encuentran en estado normal esto quiere decir tanto el aceite lubricante y la condición del motor se mantuvieron por debajo de los límites de precaución y alerta.
- Se observa que el 10% de los resultados presento una condición de precaución al cual se le hizo un seguimiento más estricto de tal forma que no se llegue a un estado de acción.
- Se observa que el 10% de los resultados presento una condición de alerta, se procedió a realizar el seguimiento correspondiente con las gráficas y poder tomar acciones inmediatas.
- Se analizó un total de 82 muestras a la flota de tractocamiones en la etapa de Pre-implementación.

Figura. 4.12 Resumen del estado general del análisis de aceite para el sistema motor, Prueba

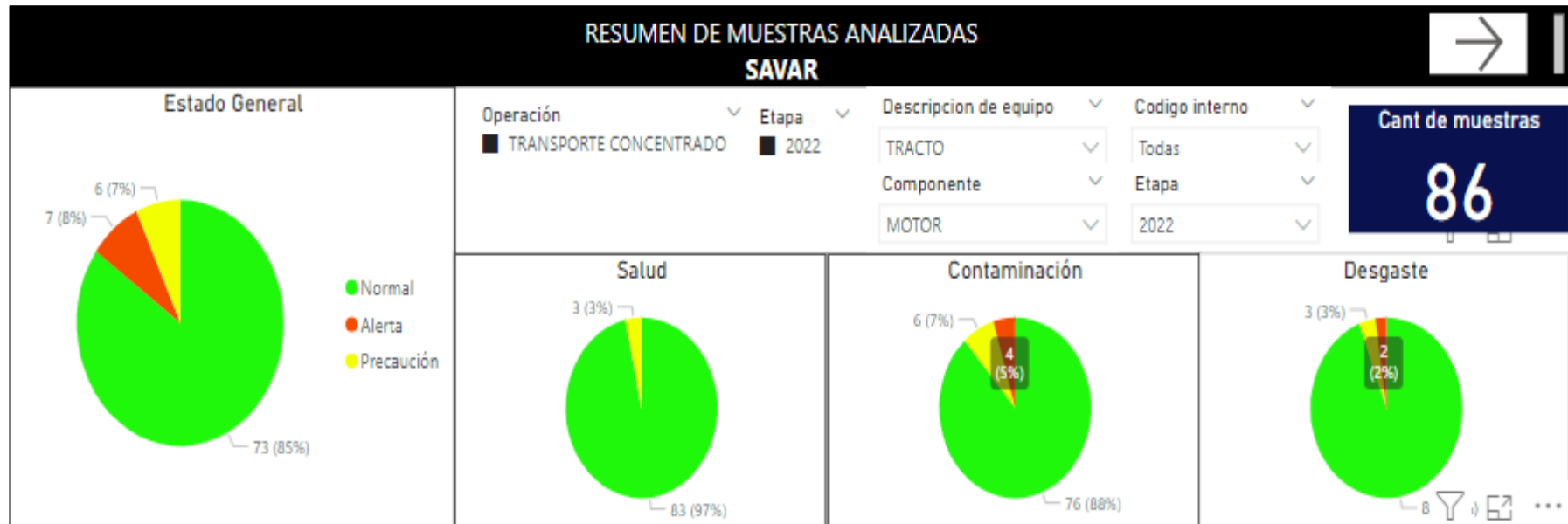


Podemos deducir lo siguiente:

- Se observa que el 94% de los resultados obtenidos se encuentran en estado normal esto quiere decir tanto el aceite lubricante y la condición del motor se mantuvieron por debajo de los límites de precaución y alerta.
- Se observa que el 6% de los resultados presento una condición de precaución al cual se le hizo un seguimiento más estricto de tal forma que no se llegue a un estado de acción.
- Se observa que los resultados de precaución se dieron en la salud del aceite lubricante, una vez pasado los 40,000 kilómetros de uso.
- Se analizó un total de 32 muestras a la flota de tractocamiones en la etapa de prueba.



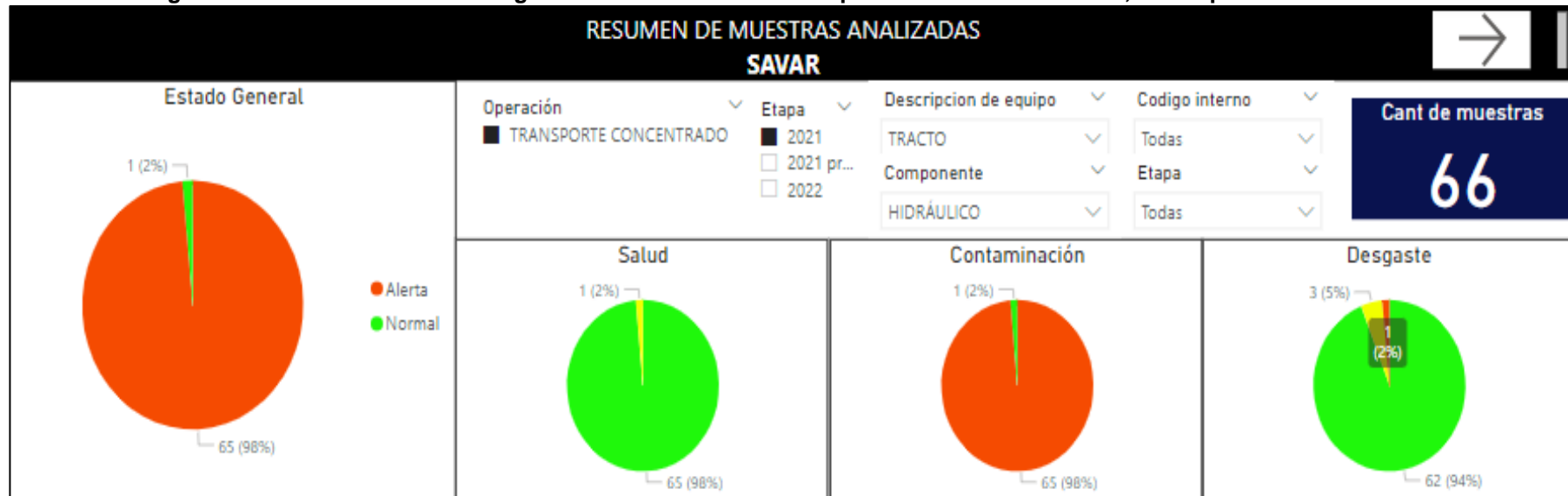
Figura. 4.13 Resumen del estado general del análisis de aceite para el sistema motor, Post-implementación.



Podemos deducir lo siguiente:

- Se observa que el 85% de los resultados obtenidos se encuentran en estado normal esto quiere decir tanto el aceite lubricante y la condición del motor se mantuvieron por debajo de los límites de precaución y alerta.
- Se observa que el 7% de los resultados presento una condición de precaución al cual se le hizo un seguimiento más estricto de tal forma que no se llegue a un estado de acción.
- Se observa que el 10% de los resultados presento una condición de alerta, se procedió a realizar el seguimiento correspondiente con las gráficas y poder tomar acciones inmediatas.
- Se analizó un total de 86 muestras a la flota de tractocamiones en la etapa de post-implementación

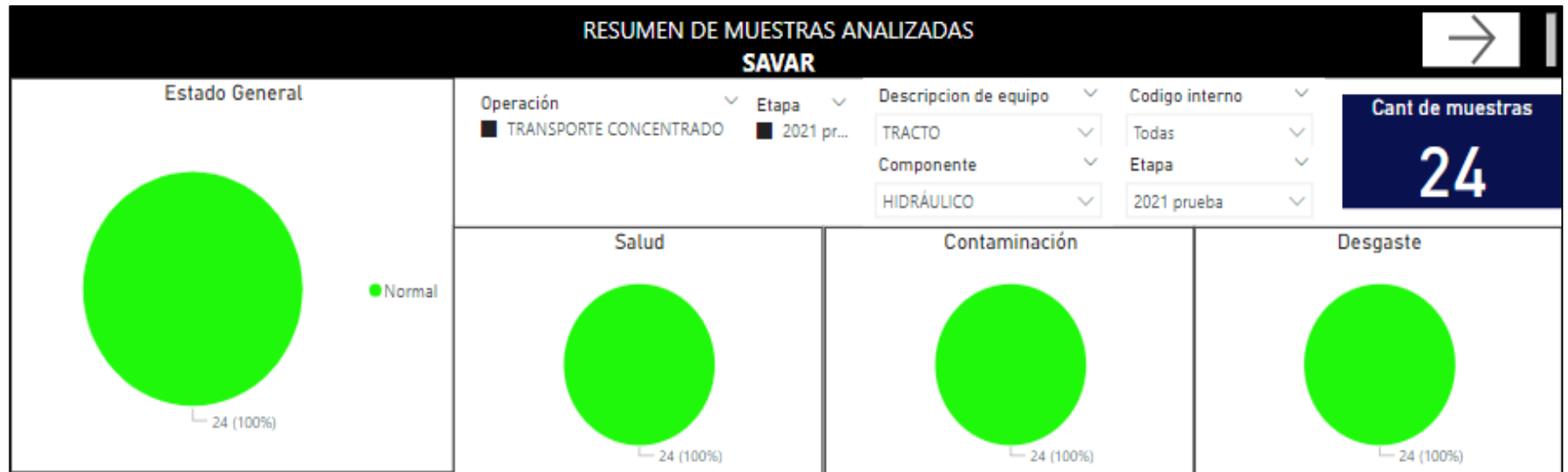
Figura. 4.14 Resumen del estado general del análisis de aceite para el sistema hidráulico, Pre-implementación.



Podemos deducir lo siguiente:

- Se observa que el 98% de los resultados obtenidos se encuentran en alerta, la mayor parte se dio en el parámetro de contaminación posiblemente por las condiciones de operación de las unidades y la falta de un dializador de aceite hidráulico que mantenga las condiciones en el ISO 46.
- Se observa que el 2% de los resultados presentó una condición normal, en los parámetros de salud y desgaste de igual forma se realizó un seguimiento.
- Se analizó un total de 66 muestras a la flota de tractocamiones en la etapa de Pre-implementación.

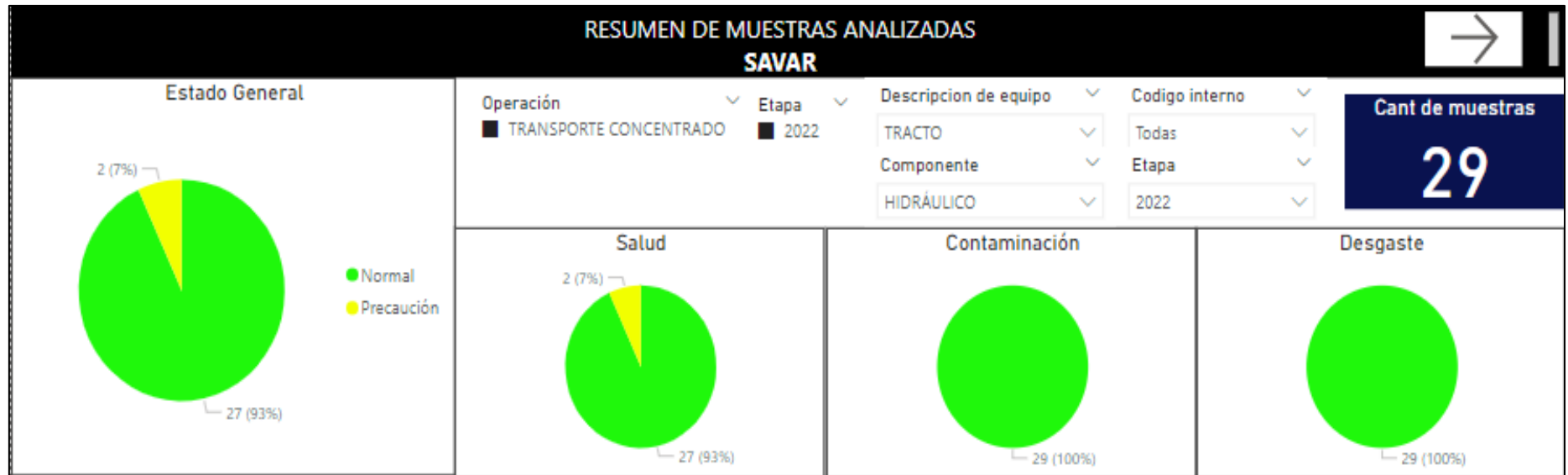
Figura. 4.15 Resumen del estado general del análisis de aceite para el sistema hidráulico, Prueba



Podemos deducir lo siguiente:

- Se observa que el 100% de los resultados se encuentran en estado normal utilizando el dializador de aceite hidráulico, esto quiere decir tanto el aceite lubricante y la condición del sistema hidráulico se mantuvieron en bajo la norma ISO 46 (18/16/13)
- Se observa que los parámetros de salud y desgaste se encuentran por debajo de los límites condenatorios, de igual forma se realizó el seguimiento.
- Se analizó un total de 24 muestras a la flota de tractocamiones en la etapa de Prueba

Figura. 4.16 Resumen del estado general del análisis de aceite para el sistema hidráulico, Post-implementación.



Podemos deducir lo siguiente:

- Se observa que el 93% de los resultados obtenidos se encuentran en estado normal esto quiere decir tanto el aceite lubricante y la condición del sistema hidráulico se mantuvieron por debajo de los límites de precaución y alerta.
- Se observa que el 7% de los resultados presento una condición de precaución al cual se le hizo un seguimiento más estricto de tal forma que no se llegue a un estado de acción.
- Se observa que los resultados de precaución se dieron en la salud del aceite lubricante, una vez pasado los 12 meses de uso.
- Se analizó un total de 29 muestras a la flota de tractocamiones en la etapa de Post-implementación.

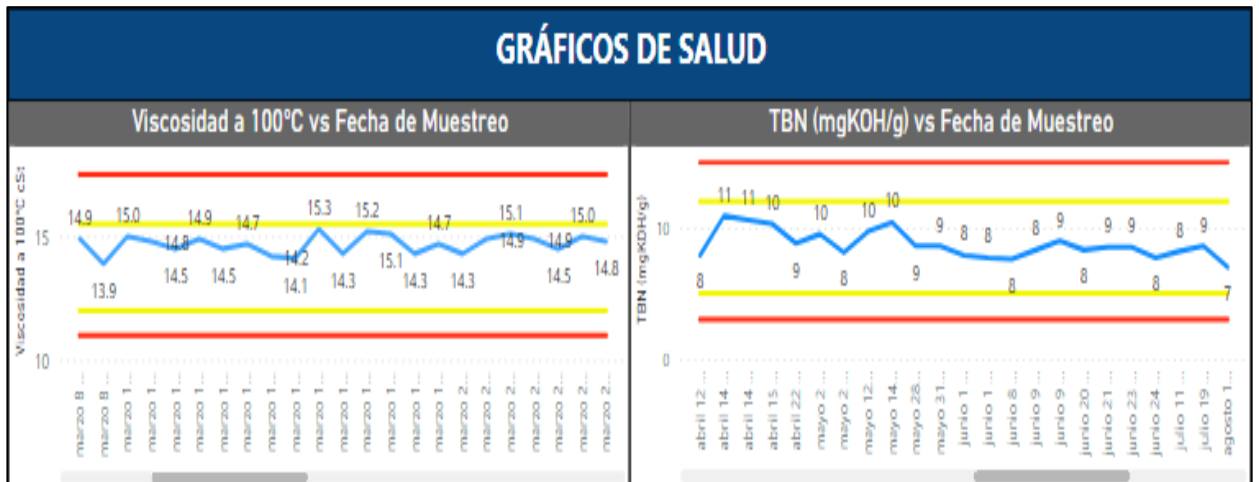
#### 4.6.5. Seguimiento de gráficos

Los resultados de análisis de aceite de los sistemas motor e hidráulico en las 3 etapas fueron llevados a gráficos donde se realiza el seguimiento a los niveles de salud, contaminación y desgaste (SACODE) del lubricante y estos se mantengan dentro de los límites condonatorios establecidos.

#### Sistema Motor Pre-implementación.

**Salud:** En las siguientes figuras se muestra los resultados de la salud del lubricante

Figura. 4.17 Salud del lubricante: viscosidad a 100°C y TBN (mgKOH/g).

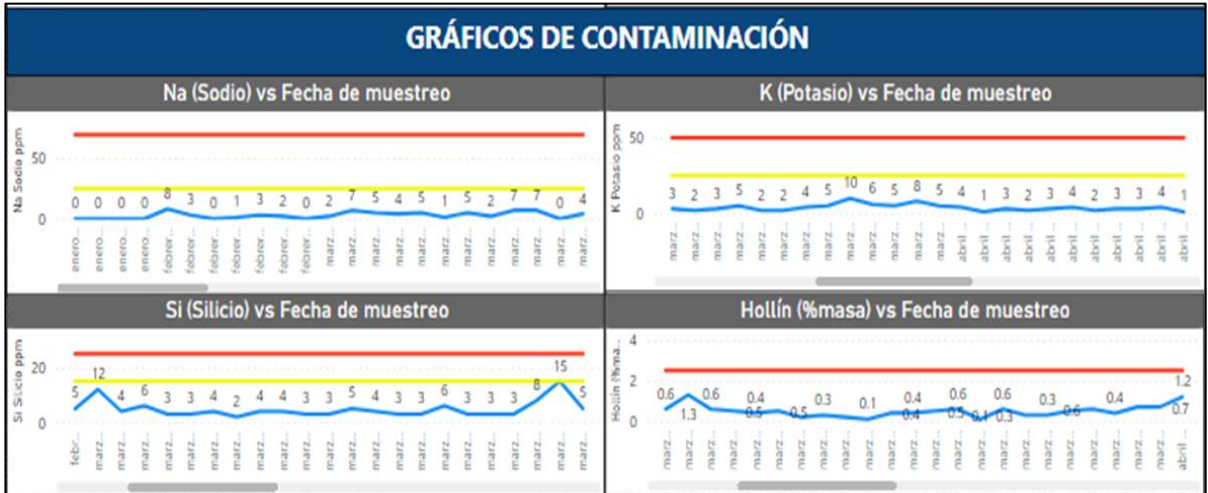


La viscosidad (cSt) Mínima: 13.00 y Máxima: 16.50, se mantiene dentro los límites permisibles (estándar: 14.75), en rangos promedios de 30000km. Ver Tabla 4.13 y Figura 4.17.

TBN (mgKOH/g) Mínima: 6.0 y Máxima: 10.00, se mantiene dentro los límites permisibles (estándar: 13.5), en rangos promedios de 30000km. Ver Tabla 4.13 y Figura 4.17.

**Contaminación:** En las siguientes figuras se muestra el seguimiento a los elementos de contaminación del lubricante.

**Figura. 4.18 Resultados de contaminación del lubricante: Na, K, Si, Hollín. Pre implementación**

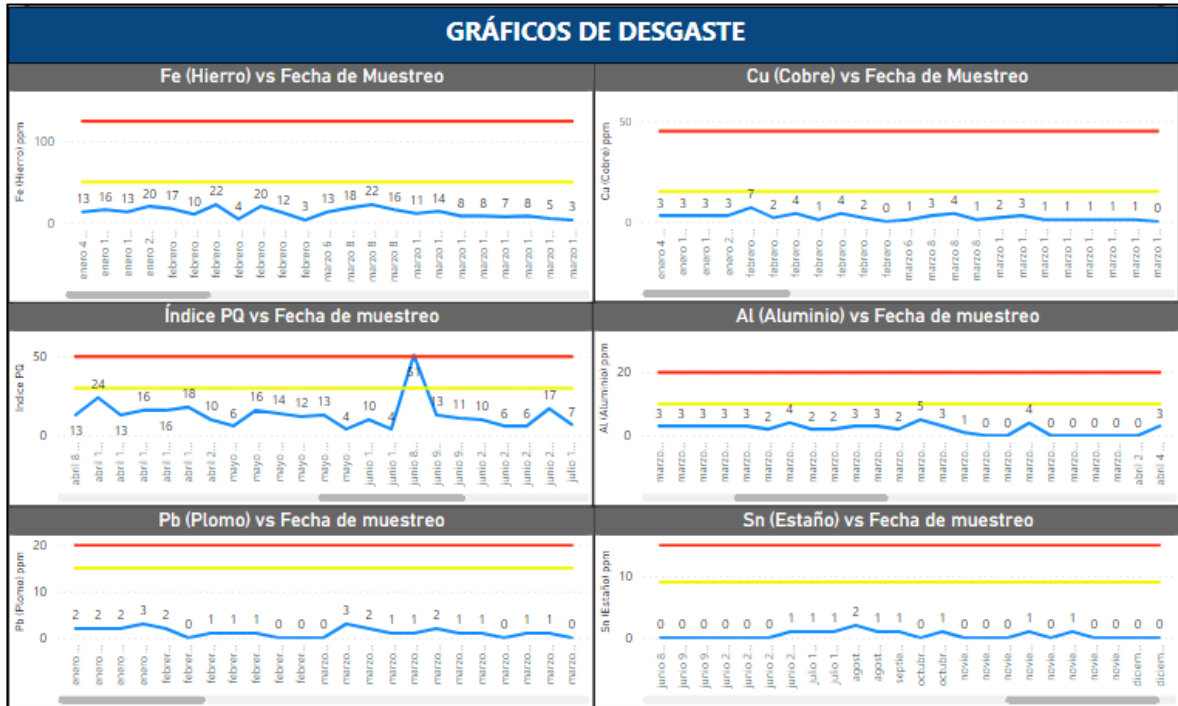


Los elementos contaminantes en (ppm) tales como: Sodio (Na), Potasio (K) y Silicio (Si), se encuentran dentro de los límites permisibles en rangos promedios de 30000km de recorrido. Ver Tabla 4.13 y Figura 4.18.

El Hollín (%masa), Mínima: 0.1 y Máxima: 1.3, se mantiene dentro los límites permisibles (estándar: 2), en rangos promedios de 30000km. Ver Tabla 4.13 y Figura 4.18.

**Desgaste:** En las siguientes gráficas se muestra el seguimiento a las partículas de desgaste del lubricante.

**Figura. 4.19 Resultados del desgaste del lubricante: Fe, Cu, índice de PQ, Al, Pb y Sn. Pre implementación.**



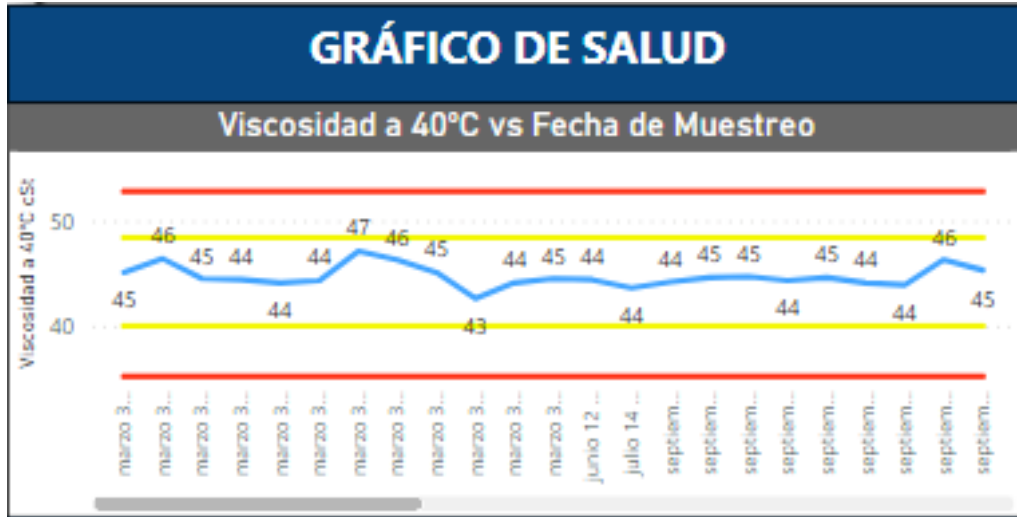
Los elementos de desgaste en (ppm) tales como: Hierro (Fe), Cobre (Cu), Aluminio(Al), Plomo (Pb) y Estaño (Sn), todos se encuentran dentro de los límites permisibles en rangos promedios de 30000km de recorrido. Ver Tabla 4.13 y Figura 4.19.

El Índice PQ, Mínima: 4 y Máxima: 51, se mantiene dentro los límites permisibles (estándar: 40), en rangos promedios de 30000km. Ver Tabla 4.13 y Figura 4.18.

### Sistema Hidráulico Pre-implementación.

**Salud:** En las siguientes gráficas se muestra los resultados de la salud del lubricante

**Figura. 4.20 Resultados de salud del lubricante: Viscosidad. Pre-implementación.**

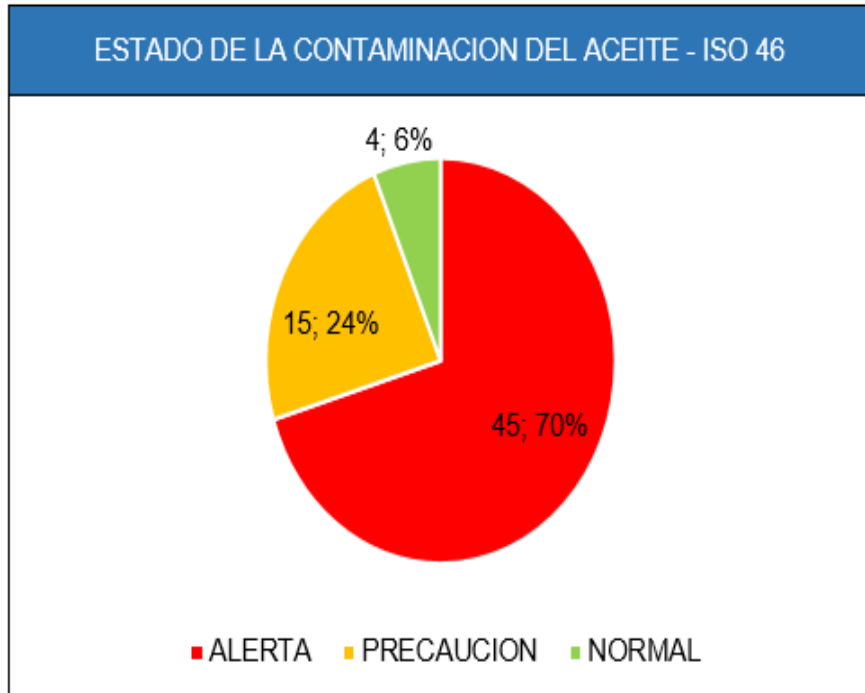


La viscosidad (cSt) Mínima: 43.00 y Máxima: 47.00, se mantiene dentro los límites permisibles (estándar: 45.00), en rangos promedios de 30000km. Ver Tabla 4.14 y Figura 4.20.



**Contaminación:** En las siguientes gráficas se muestra el seguimiento a los elementos de contaminación del lubricante.

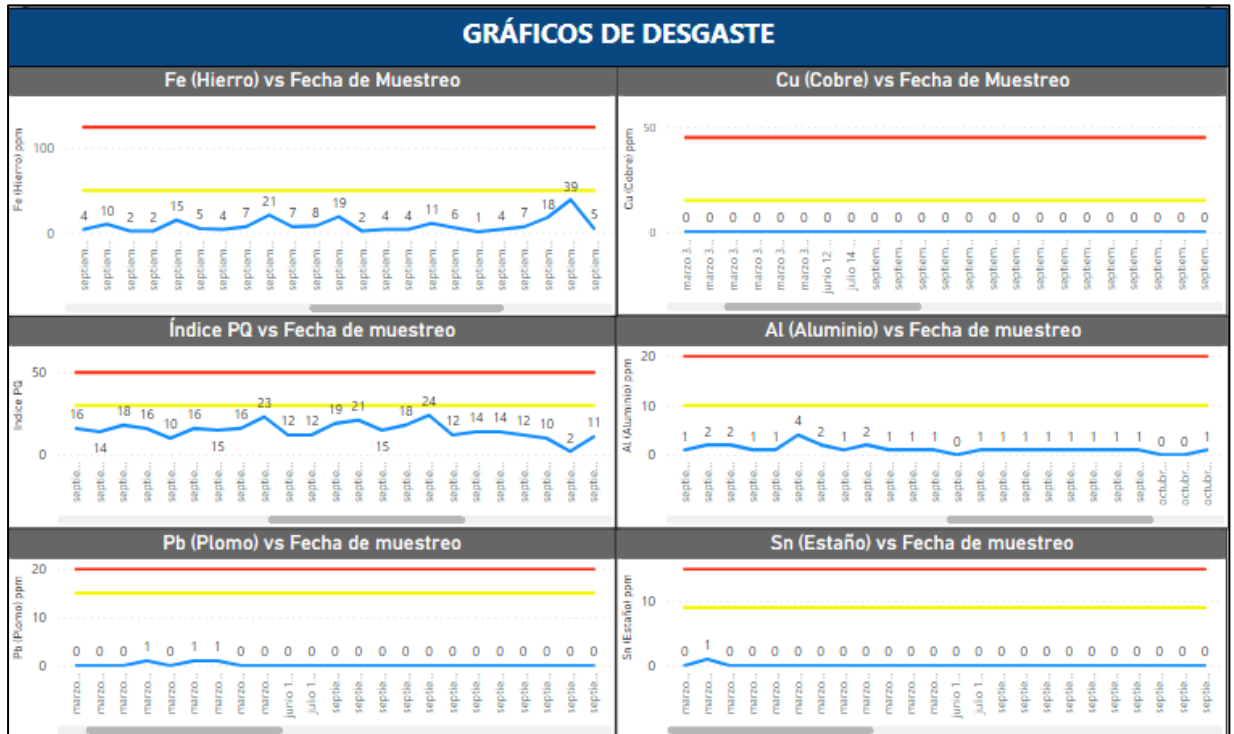
**Figura. 4.21 Resultados de contaminación del lubricante. Pre-implementación.**



- Se observa que el 6% de los resultados obtenidos se encuentran en estado normal, esto quiere decir que se mantuvieron los parámetros del estándar ISO 46 en el lubricante.
- Se observa que el 24% de los resultados obtenidos se encuentran en estado de precaución, al cual se le hizo un seguimiento más estricto de tal forma que no se llegue a un estado de alerta.
- Se observa que el 70% de los resultados obtenidos se encuentran en estado alerta, esto quiere decir que sobre pasaron los parámetros del estándar ISO 46 en el lubricante.

**Desgaste:** En las siguientes gráficas se muestra el seguimiento a las partículas de desgaste del lubricante.

**Figura. 4.22 Resultados del desgaste del lubricante: Fe, Cu, índice de PQ, Al, Pb y Sn. Pre implementación.**



Los elementos de desgaste en (ppm) tales como: Hierro (Fe), Cobre (Cu), Aluminio(Al), Plomo (Pb) y Estaño (Sn), todos se encuentran dentro de los límites permisibles. Ver Tabla 4.14 y Figura 4.22.

El Índice PQ, Mínima: 2 y Máxima: 24, se mantiene dentro los límites permisibles (estándar: 40). Ver Tabla 4.14 y Figura 4.22.

## Sistema Motor Prueba.

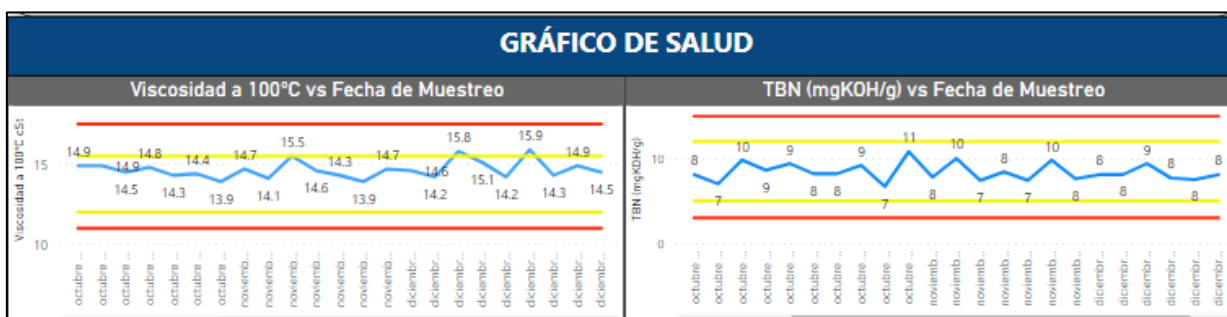
En la etapa de prueba, en el sistema de motor se consideró a 8 tractocamiones que comparten características iguales, a continuación, se detalla los siguientes equipos.

**Tabla 4.19. Unidades de prueba.**

ITEM	COMPONENTE	PLACA	MARCA	MODELO	TIPO DE ACEITE
1	MOTOR	AWG894	SINOTRUCK	C7H	Movil Delvac 10W-40
2	MOTOR	AWI730	SINOTRUCK	C7H	Movil Delvac 10W-40
3	MOTOR	AWI775	SINOTRUCK	C7H	Movil Delvac 10W-40
4	MOTOR	AWI830	SINOTRUCK	C7H	Movil Delvac 10W-40
5	MOTOR	AWI878	SINOTRUCK	C7H	Movil Delvac 10W-40
6	MOTOR	AWI883	SINOTRUCK	C7H	Movil Delvac 10W-40
7	MOTOR	AWJ741	SINOTRUCK	C7H	Movil Delvac 10W-40
8	MOTOR	AWN773	SINOTRUCK	C7H	Movil Delvac 10W-40

**Salud:** En las siguientes figuras se muestra el seguimiento a los elementos de la salud del lubricante.

**Figura. 4.23 Salud del lubricante: viscosidad a 100°C y TBN (mgKOH/g). Prueba**



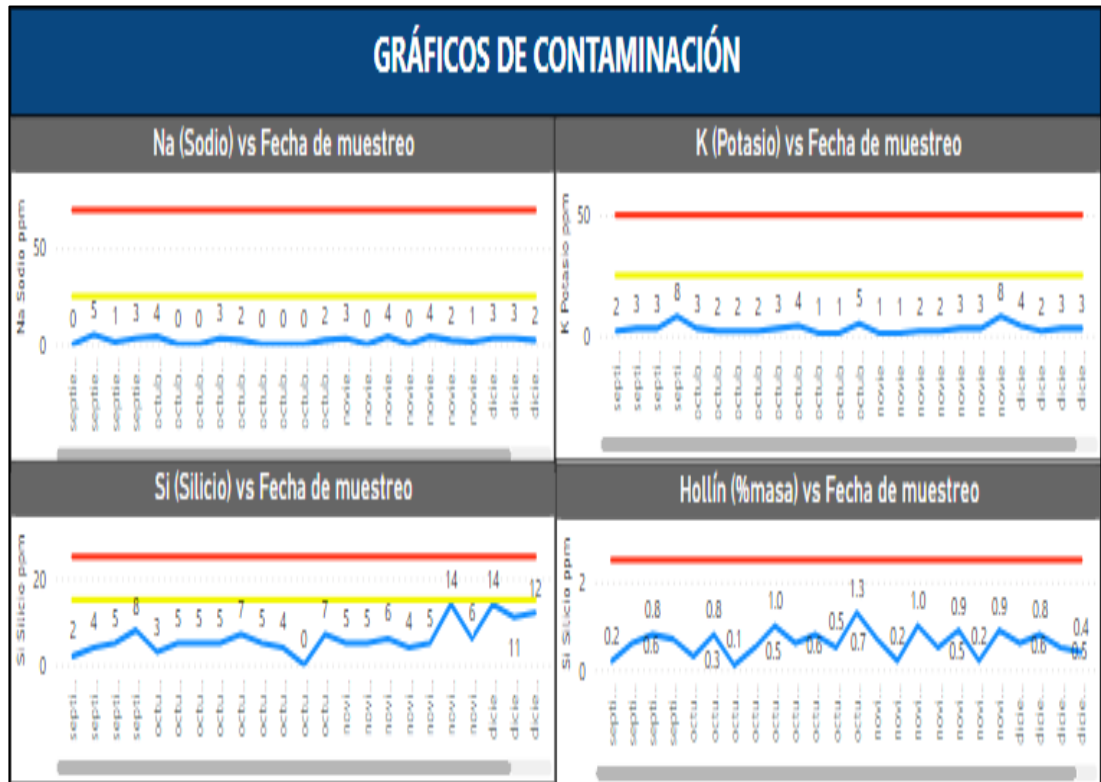
De la figura 4.23 se observa que los valores de viscosidad llegaron Sodio, Potasio, Silicio y Hollín se encuentra dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante hasta los 30,000 Km. Nos permite deducir que podemos optimar la frecuencia de mantenimiento hasta encontrar valores de precaución, sin afectar la vida útil de los componentes internos del sistema motor.

La viscosidad (cSt) Mínima: 13.9 y Máxima: 15.90, se mantiene dentro los límites permisibles (estándar: 14.75), en rangos promedios de 30000km. Ver Tabla 4.13 y Figura 4.17.

TBN (mgKOH/g) Mínima: 6.0 y Máxima: 10.00, se mantiene dentro los límites permisibles (estándar: 13.5), en rangos promedios de 30000km. Ver Tabla 4.13 y Figura 4.17.

**Contaminación:** En las siguientes figuras se muestra el seguimiento a los elementos de contaminación del lubricante.

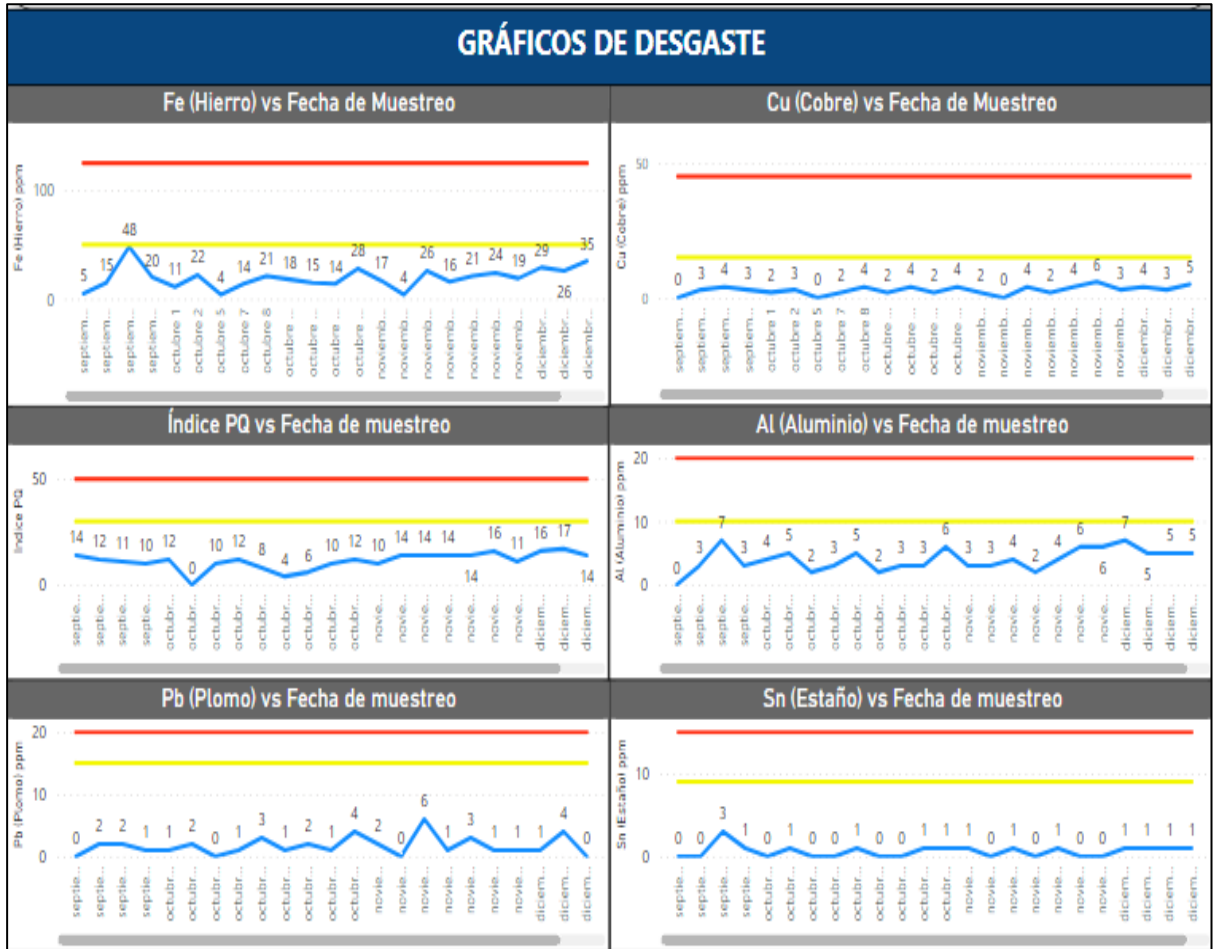
Figura. 4.24 Resultados de salud del lubricante: Na, K, Si, Hollín. Prueba.



De la figura 4.24 se observa que los valores de Sodio, Potasio, Silicio y Hollín se encuentra dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante hasta los 30,000 Km. Nos permite deducir que podemos optimar la frecuencia de mantenimiento hasta encontrar valores de precaución, sin afectar la vida útil de los componentes internos del sistema motor.

**Desgaste:** En las siguientes gráficas se muestra el seguimiento a las partículas de desgaste del lubricante.

**Figura. 4.25 Resultados del desgaste del lubricante: Fe, Cu, índice de PQ, Al, Pb y Sn. Prueba.**



Del gráfico 4.25 se observa que los valores de Hierro (Fe), Cobre (Cu), índice PQ, Aluminio (Al), Plomo (Pb) y Estaño (Sn) se encuentra dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante hasta los 30,000 Km. Nos permite deducir que podemos optimar la frecuencia de mantenimiento hasta encontrar valores de precaución, sin afectar la vida útil de los componentes internos del sistema motor.

### Sistema hidráulico prueba.

En la etapa de prueba, en el sistema hidráulico se consideró a 8 tractocamiones que comparten características iguales, a continuación, se detalla los siguientes equipos.

Tabla 4.20. Grupo de prueba.

ITEM	COMPONENTE	PLACA	MARCA	MODELO	TIPO DE ACEITE
1	HIDRAULICO	ATT839	SINOTRUCK	C7H	NUTO H46
2	HIDRAULICO	AWG894	SINOTRUCK	C7H	NUTO H46
3	HIDRAULICO	AWG912	SINOTRUCK	C7H	NUTO H46
4	HIDRAULICO	AWH917	SINOTRUCK	C7H	NUTO H46
5	HIDRAULICO	AWI795	SINOTRUCK	C7H	NUTO H46
6	HIDRAULICO	AWI878	SINOTRUCK	C7H	NUTO H46
7	HIDRAULICO	AWJ741	SINOTRUCK	C7H	NUTO H46
8	HIDRAULICO	AWN724	SINOTRUCK	C7H	NUTO H46

**Salud:** En las siguientes gráficas se muestra el seguimiento a la salud del lubricante.

Figura. 4.26 Resultados de salud del lubricante: Viscosidad. Prueba.



De la figura 4.26 se observa que los valores de viscosidad se encuentran dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante hasta los 6 meses. Nos permite deducir que podemos optimar la frecuencia de mantenimiento hasta encontrar valores de precaución, sin afectar la vida útil de los componentes internos del sistema hidráulico.

**Contaminación:** En la siguiente tabla se muestra el seguimiento a los elementos de contaminación del lubricante

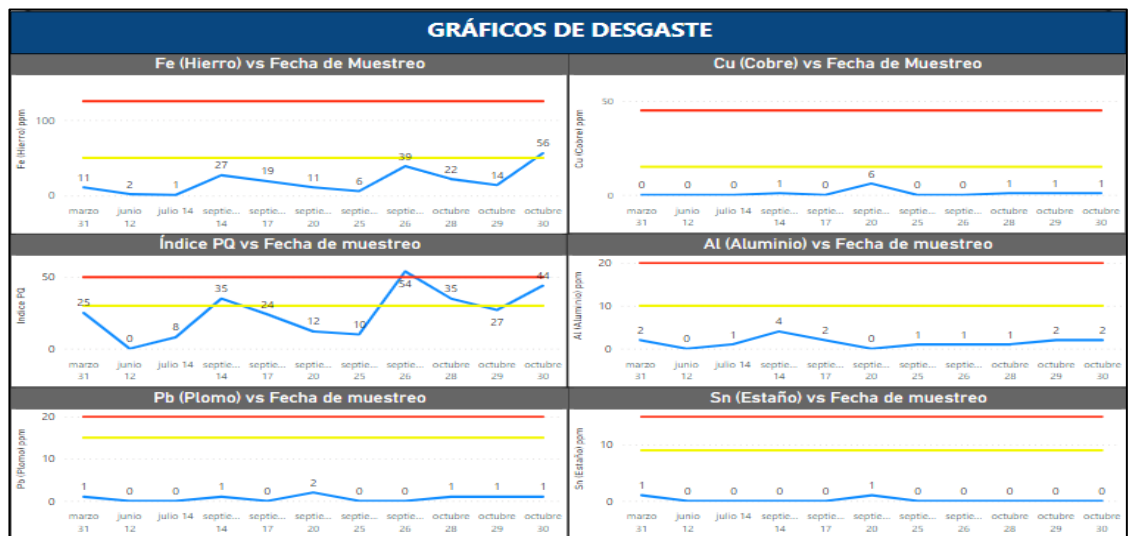
**Tabla 4.21. Resultados de contaminación del lubricante. Prueba**

ITEM	PLACA	MARCA	TIPO DE ACEITE	ETAPA	FRECUENCIA DE CAMBIO	CODIGO ISO 46	ESTADO
1	ATT839	SINOTRUK	NUTO H46	Prueba	12 MESES	18/16/13	NORMAL
2	AWG894	SINOTRUK	NUTO H46	Prueba	12 MESES	18/16/13	NORMAL
3	AWG912	SINOTRUK	NUTO H46	Prueba	12 MESES	18/16/13	NORMAL
4	AWH917	SINOTRUK	NUTO H46	Prueba	12 MESES	18/16/13	NORMAL
5	AWI795	SINOTRUK	NUTO H46	Prueba	12 MESES	18/16/13	NORMAL
6	AWI878	SINOTRUK	NUTO H46	Prueba	12 MESES	18/16/13	NORMAL
7	AWJ741	SINOTRUK	NUTO H46	Prueba	12 MESES	18/16/13	NORMAL
8	AWN724	SINOTRUK	NUTO H46	Prueba	12 MESES	18/16/13	NORMAL

De la tabla 4.21 se observa que los valores de viscosidad se encuentran dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante hasta los 6 meses. Nos permite deducir que podemos optimar la frecuencia de mantenimiento hasta encontrar valores de precaución, sin afectar la vida útil de los componentes internos del sistema hidráulico.

**Desgaste:** En las siguientes figuras se muestra el seguimiento a las partículas de desgaste del lubricante.

**Figura. 4.27 Resultados del desgaste del lubricante: Fe, Cu, índice de PQ, Al, Pb y Sn. Prueba.**

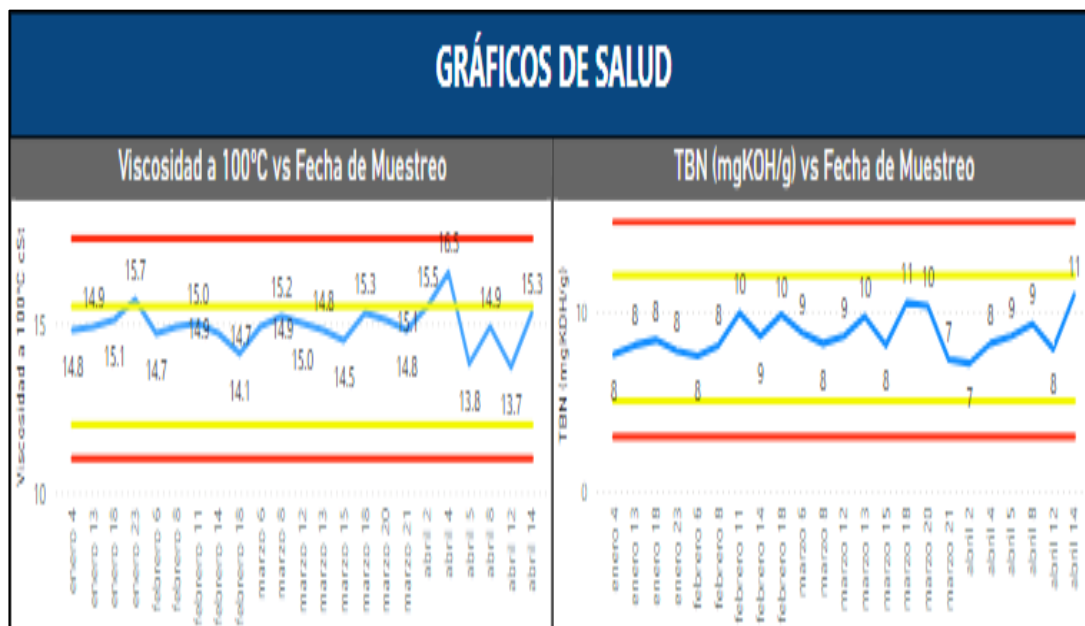


De la figura 4.27 se observa que los valores de viscosidad se encuentran dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante hasta los 6 meses. Nos permite deducir que podemos optimar la frecuencia de mantenimiento hasta encontrar valores de precaución, sin afectar la vida útil de los componentes internos del sistema hidráulico.

### Sistema de motor post implementación.

**Salud:** En las siguientes figuras se muestra el seguimiento de la salud del lubricante.

**Figura. 4.28 Resultados de salud del lubricante: Viscosidad y TBN. Prueba.**

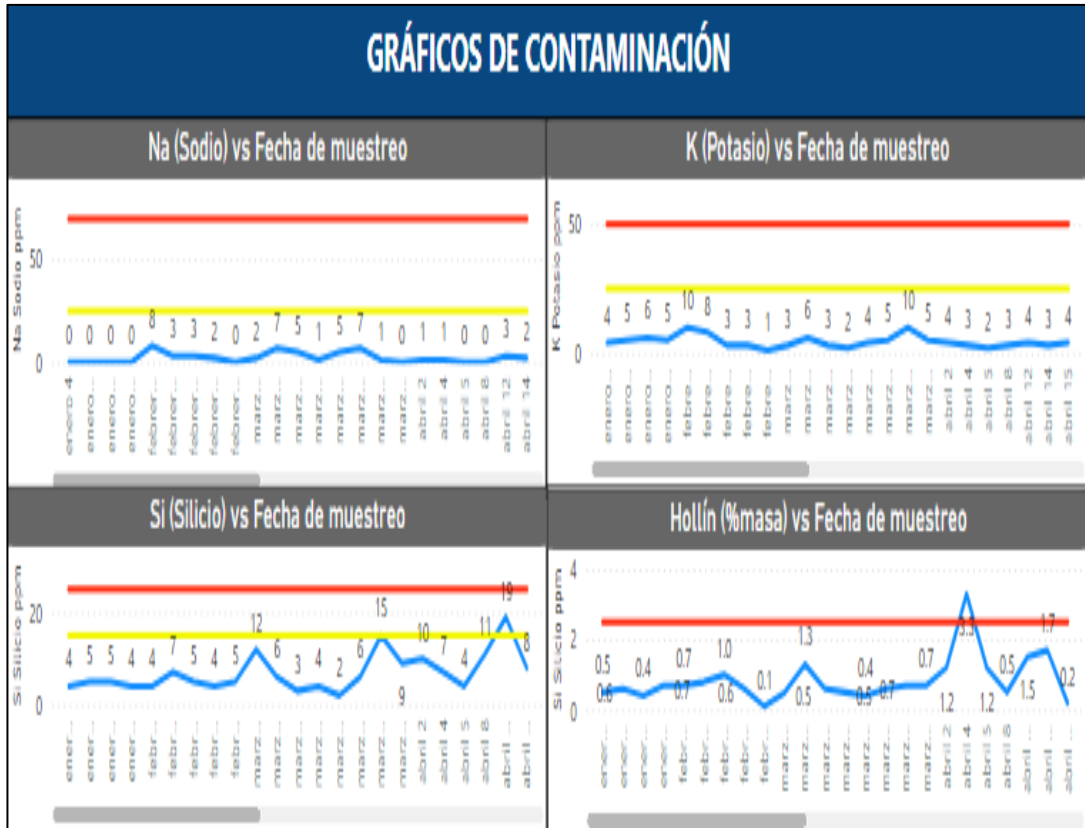


De la figura 4.28 se observa que los valores de la viscosidad y TBN se encuentra dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante hasta los 30,000 Km. El cual nos permite deducir que podemos optimar la frecuencia de mantenimiento hasta encontrar valores de precaución, sin afectar la vida útil de los componentes internos del sistema motor.



**Contaminación:** En las siguientes figuras se muestra el seguimiento a los elementos de contaminación del lubricante

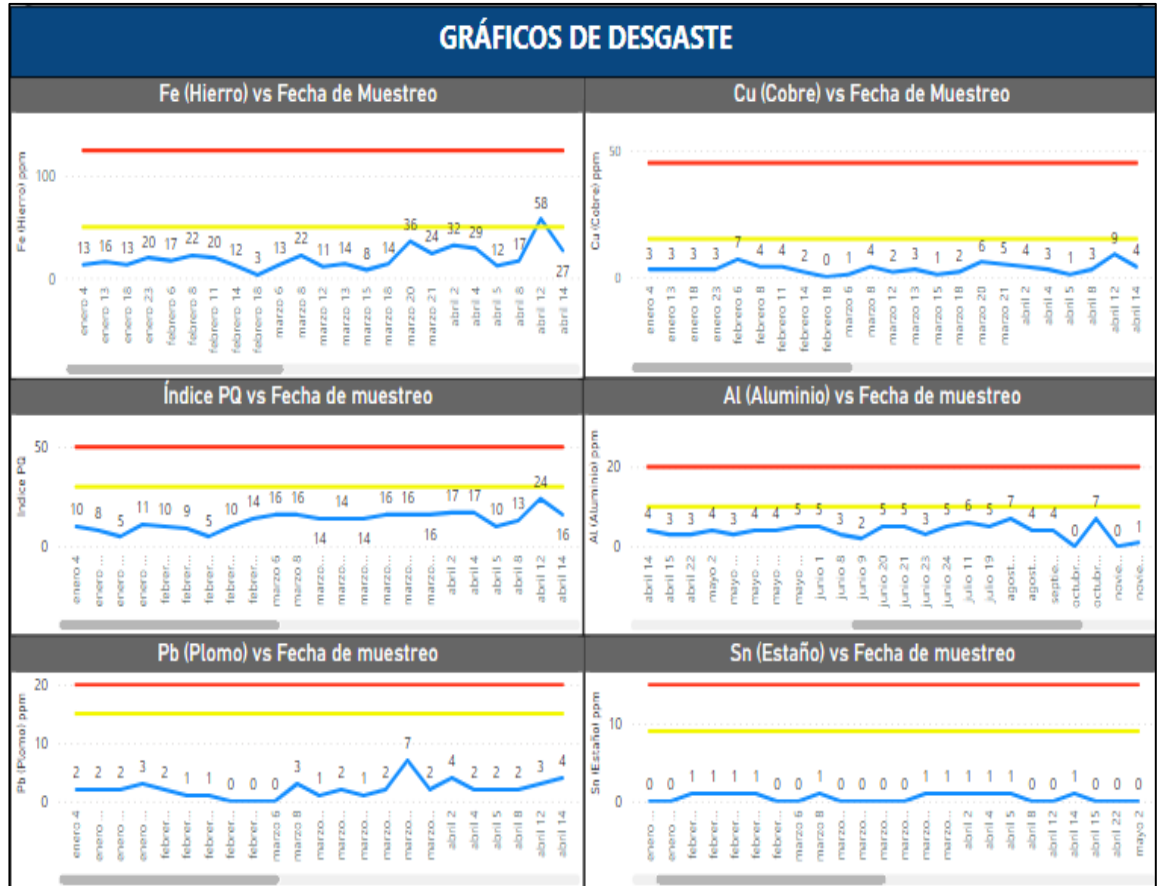
**Figura. 4.29 Resultados de salud del lubricante: Na, K, Si, Hollín. Post prueba.**



De la figura 4.29 se observa que los valores de Sodio, Potasio, Silicio y Hollín se encuentra dentro de los límites aceptables durante el período o frecuencia de uso del aceite lubricante hasta los 30,000 Km. Nos permite deducir que podemos optimar la frecuencia de mantenimiento hasta encontrar valores de precaución, sin afectar la vida útil de los componentes internos del sistema motor.

**Desgaste:** En las siguientes gráficas se muestra el seguimiento a las partículas de desgaste del lubricante.

**Figura. 4.30 Resultados del desgaste del lubricante: Fe, Cu, índice de PQ, Al, Pb y Sn. Post prueba.**

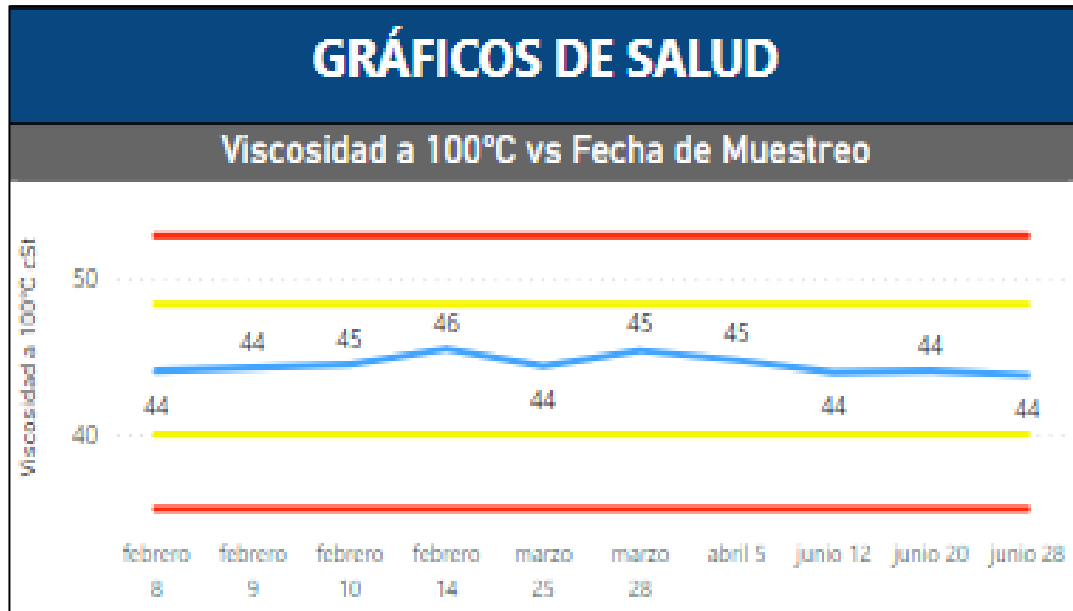


Del gráfico 4.30 se observa que los valores de Hierro (Fe), Cobre (Cu), índice PQ, Aluminio (Al), Plomo (Pb) y Estaño (Sn) se encuentra dentro de los límites aceptables durante el período o frecuencia de uso del aceite lubricante hasta los 30,000 Km. Nos permite deducir que podemos optimizar la frecuencia de mantenimiento hasta encontrar valores de precaución, sin afectar la vida útil de los componentes internos del sistema motor.

### Sistema hidráulico post implementación.

**Salud:** En las siguientes figuras se muestra el seguimiento de la salud del lubricante.

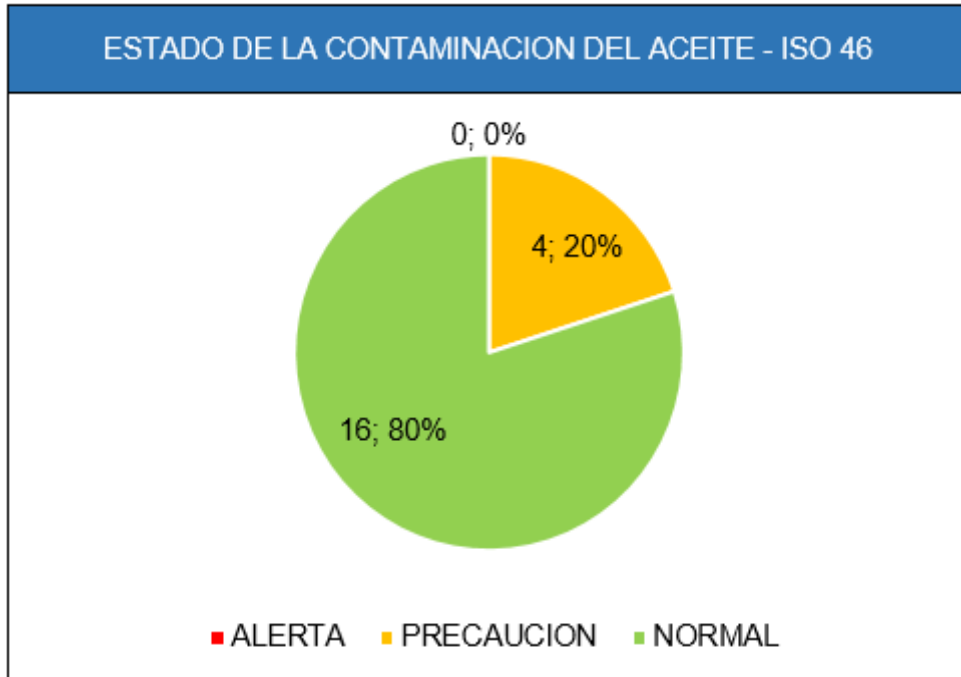
Figura. 4.31 Resultados de salud del lubricante: Viscosidad. Post prueba.



De la figura 4.31 se observa que los valores de viscosidad se encuentran dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante hasta los 6 meses. Nos permite deducir que podemos optimar la frecuencia de mantenimiento hasta encontrar valores de precaución, sin afectar la vida útil de los componentes internos del sistema hidráulico.

**Contaminación:** En las siguientes figuras se muestra el seguimiento a los elementos de contaminación del lubricante

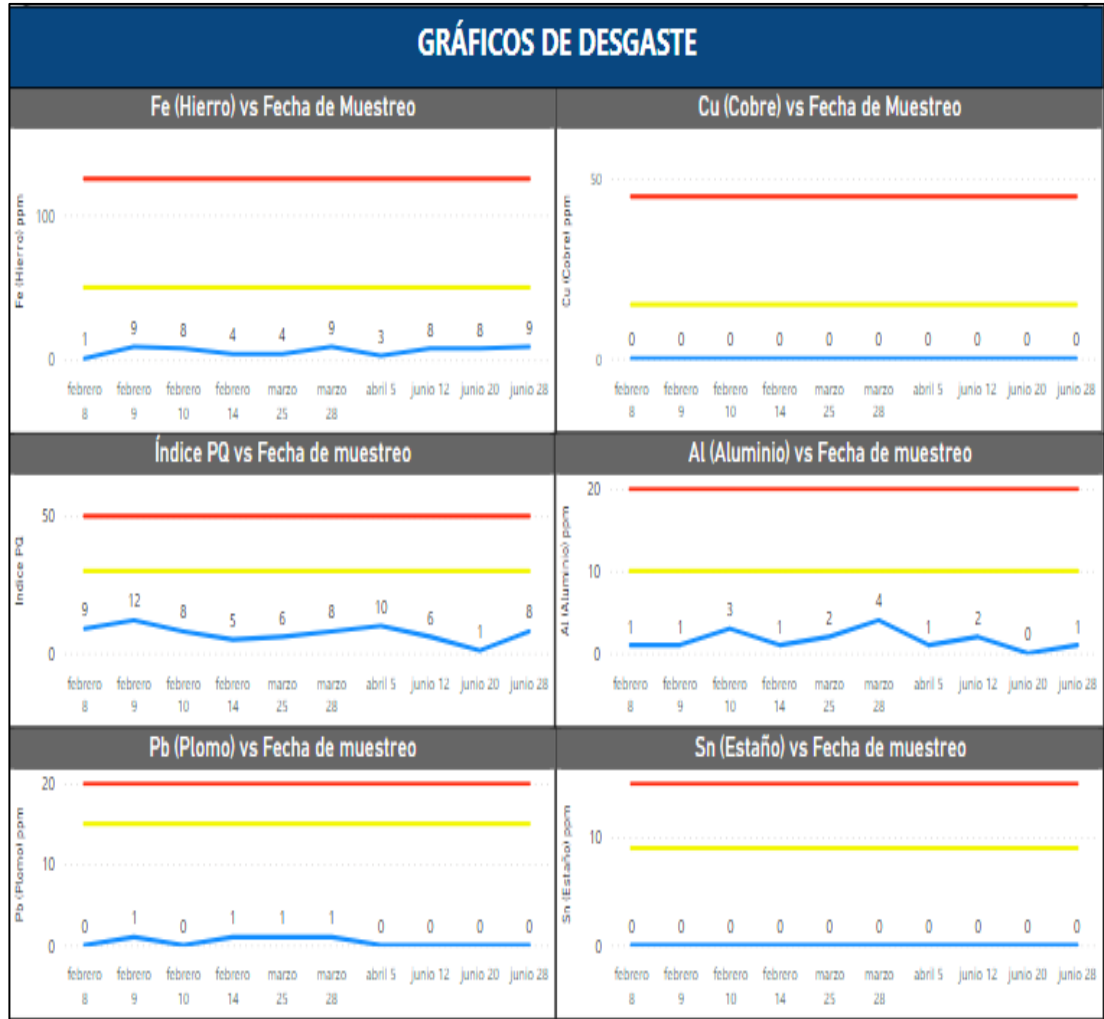
**Figura. 4.32 Resultados de contaminación del lubricante. Post prueba.**



De la figura 4.32 se observa que los valores de viscosidad se encuentran dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante hasta los 6 meses. Nos permite deducir que podemos optimar la frecuencia de mantenimiento hasta encontrar valores de precaución, sin afectar la vida útil de los componentes internos del sistema hidráulico.

**Desgaste:** En las siguientes figuras se muestra el seguimiento a las partículas de desgaste del lubricante.

**Figura. 4.33 Resultados del desgaste del lubricante: Fe, Cu, índice de PQ, Al, Pb y Sn. Post prueba.**



De la figura 4.33 se observa que los valores de viscosidad se encuentran dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante hasta los 6 meses. Nos permite deducir que podemos optimar la frecuencia de mantenimiento hasta encontrar valores de precaución, sin afectar la vida útil de los componentes internos del sistema hidráulico.

## Evaluación de disponibilidad

Tabla 4.22 Cuadro resumen de Kpis 2021 vs 2022

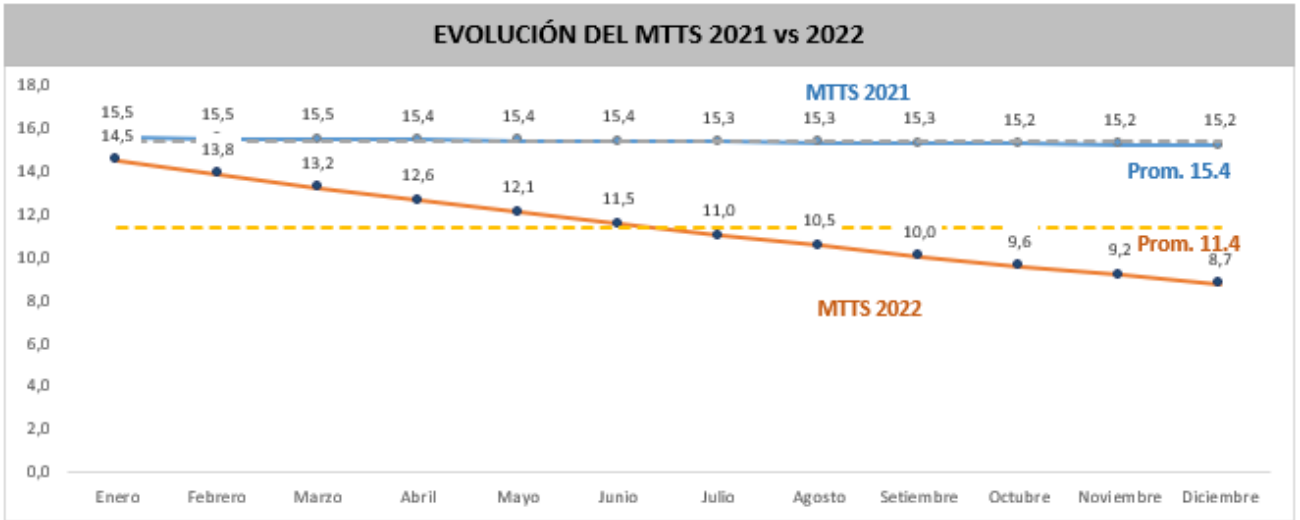
Período	Descripción	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
2021	Horas de mantto	6,520	5,856	6,525	6,450	6,545	6,378	6,135	6,154	6,034	5,916	5,858	5,771	74,142	
	Horas Disp para Operar	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	535,680	
	MTBS	90.8	102.6	90.3	91.4	89.6	92.2	96.3	95.7	97.7	99.8	100.7	102.3	95.6	
	MTTS	15.5	15.5	15.5	15.4	15.4	15.4	15.3	15.3	15.3	15.2	15.2	15.2	15.2	15.4
	Cant Paradas	420	378	422	418	425	415	400	402	395	388	385	380	4828	
	Disponibilidad	85.4%	86.9%	85.4%	85.6%	85.3%	85.7%	86.3%	86.2%	86.5%	86.7%	86.9%	87.1%	87.1%	86.2%
2022	Horas de mantto	5,438	4,654	4,947	4,547	4,487	4,124	4,082	3,856	3,562	3,498	3,203	3,164	49,561	
	Horas Disp para Operar	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	44,640	535,680	
	MTBS	104.5	119.0	106.1	111.4	107.9	113.2	109.3	111.1	115.7	112.7	118.4	114.6	111.9	
	MTTS	14.5	13.8	13.2	12.6	12.1	11.5	11.0	10.5	10.0	9.6	9.2	8.7	11.4	
	Cant Paradas	375	336	374	360	372	358	371	367	355	365	350	362	4345	
	Disponibilidad	87.8%	89.6%	88.9%	89.8%	89.9%	90.8%	90.9%	91.4%	92.0%	92.2%	92.8%	92.9%	92.9%	90.7%

Figura 4.34 Grafica – Evolución de MTBS



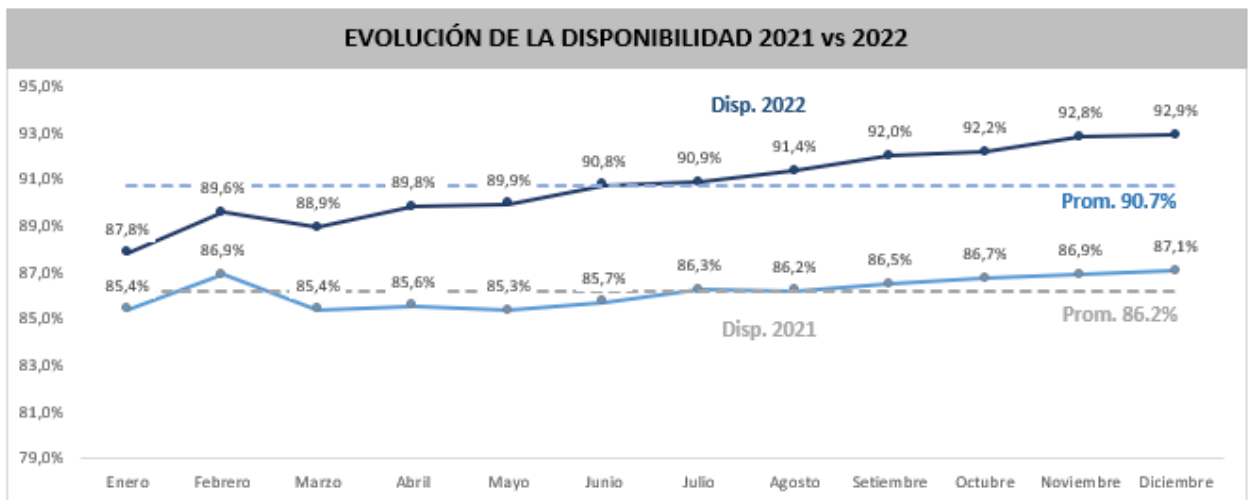
En la figura 4.34 se observa que confiabilidad promedio en el año 2022 se ha incremento 117% con respecto al año 2021.

Figura 4.35 Evolución de MTTs



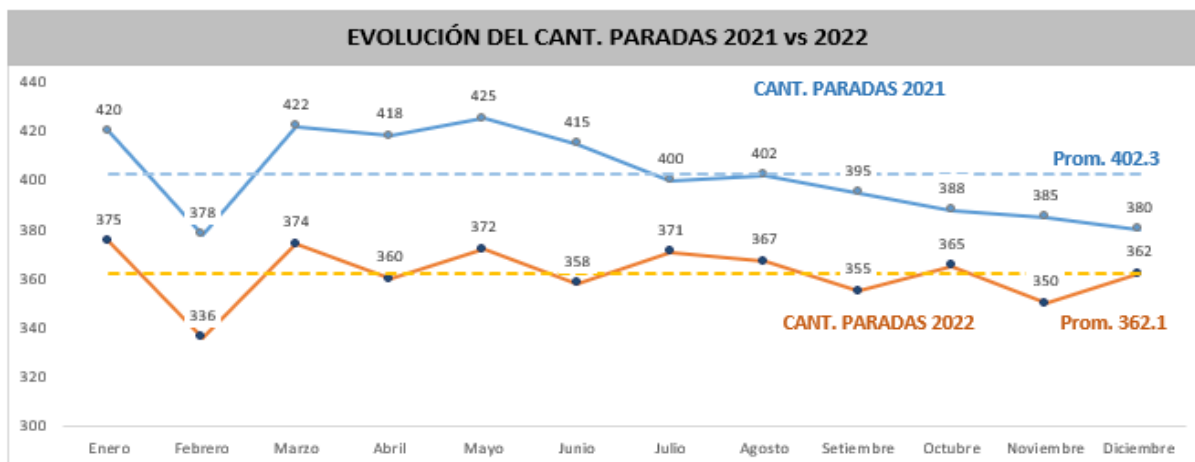
En la figura 4.35 se observa que Mantenibilidad promedio en el año 2022 ha disminuido un 26% con respecto al año 2021.

Figura 4.36 Evolución de Disponibilidad



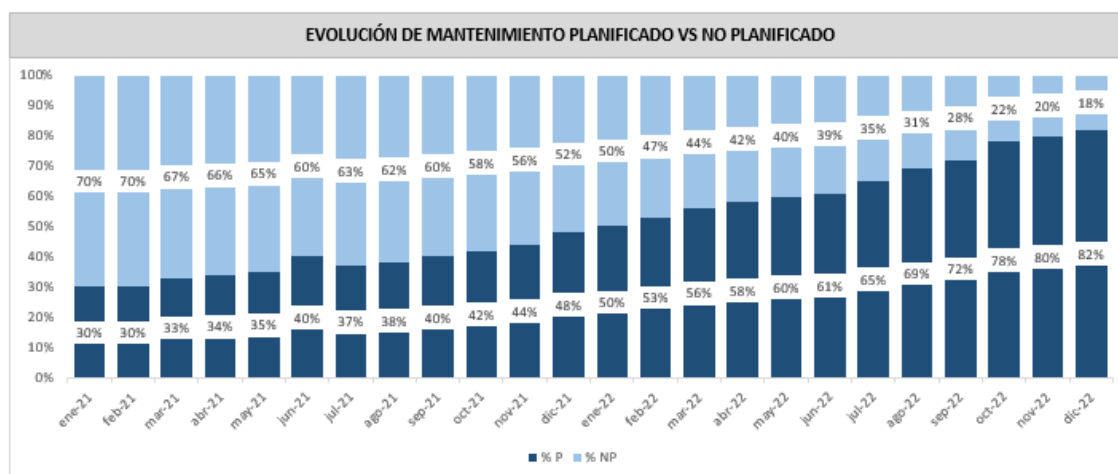
En la figura 4.36 se observa que la Disponibilidad promedio en el año 2022 se ha incrementado un 8.5% con respecto al año 2021.

**Figura 4.37 Evolución de Cantidad de Paradas**



En la figura 4.37 se observa que cantidad de paradas promedio en el año 2022 ha disminuido en un 10% con respecto al año 2021.

**Figura 4.38 Evolución del Mantenimiento**



En la figura 4.38 se observa que la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis aceite aseguran la confiabilidad de los equipos, ya que analizan 03 aspectos importantes: Salud, Contaminación y Desgaste. Con salud, aseguramos que el lubricante en uso es el adecuado para la condición de operación; con Contaminación, aseguramos la hermeticidad de los componentes y si nuestro mantenimiento preventivo fue realizado de manera óptima; con



Desgaste, aseguramos que los componentes internos no tienen un desgaste acelerado.

#### **4.7. Aspectos Éticos en Investigación**

En la presente investigación los datos obtenidos no serán falsificados ni manipulados, de tal manera que no se considere copia de otro proyecto, para que puedan ser utilizados adecuadamente en futuras investigaciones.

Transparencia: La investigación se muestra al público general de tal manera sea posible aplicar la metodología y verificar la validez del resultado.

Probidad: La investigación se realizó con total honestidad de los resultados.

Responsabilidad: Se asume las consecuencias de la información mostrada en la investigación.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

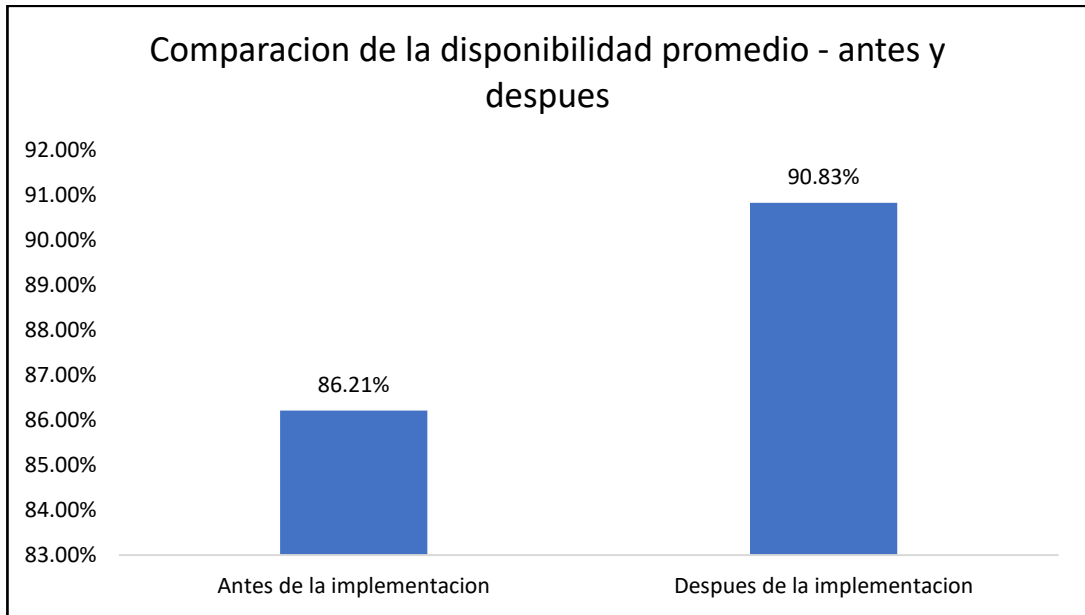
#### 5.1.1. Indicadores de mantenimiento

Se realizó el cálculo de la disponibilidad en base a la implementación del plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite para la flota de tracto camiones de la empresa SAVAR Corporación Logística S.A. durante el periodo del año 2022, y a su vez se efectuó una comparación con los datos obtenidos del periodo 2021, antes de la aplicación del plan de mantenimiento predictivo. A partir de esta contraposición se obtuvo resultados favorables, que se serán detallados a continuación.

**Tabla 5.1. Análisis estadístico de la disponibilidad del tracto camiones**

Estadístico		
Disponibilidad antes de la implementación	Media	0.8616
	Mediana	0.8623
	Intervalo de confianza Limite Inferior	0.8570
	Intervalo de confianza Limite Superior	0.8658
	Desviación estándar	0.0066
Disponibilidad después de la implementación	Media	0.9075
	Mediana	0.9081
	Intervalo de confianza Limite Inferior	0.8974
	Intervalo de confianza Limite Superior	0.9776
	Desviación estándar	0.0159

**Figura 5.1. Comparación de la disponibilidad promedio – antes y después de la implementación.**

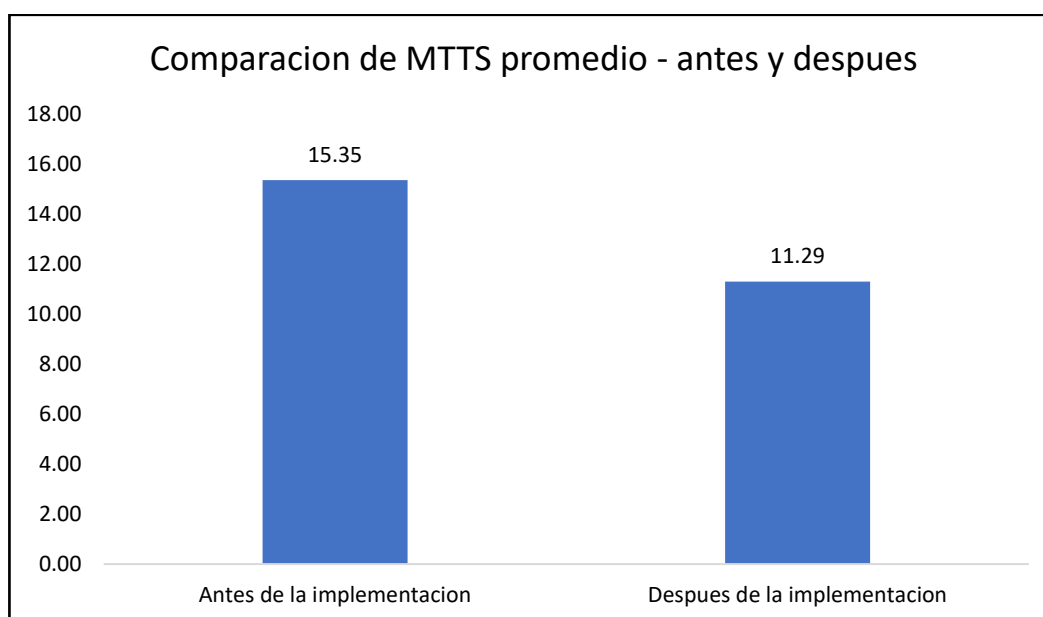


En la Figura 5.1, se puede evidenciar que la disponibilidad promedio en el periodo 2021 fue de 86.21%, pero con la implementación del plan de mantenimiento predictivo y sus respectivos controles, en el periodo 2022 se obtuvo un promedio 90.83%, es decir hay un aumento significativo de un 4.62% en comparación al periodo anterior.

**Tabla 5.2. Análisis estadístico del MTTs del tracto camiones**

Estadístico		
Mantenibilidad antes de la implementacion	Media	15.3550
	Mediana	15.3550
	Intervalo de confianza Limite Inferior	15.2863
	Intervalo de confianza Limite Superior	15.4237
	Desviacion estandar	0.1082
Mantenibilidad despues de la implementacion	Media	11.4000
	Mediana	11.2600
	Intervalo de confianza Limite Inferior	10.2005
	Intervalo de confianza Limite Superior	12.5995
	Desviacion estandar	1.8879

**Figura 5.2. Comparación de MTTS promedio – antes y después de la implementación.**

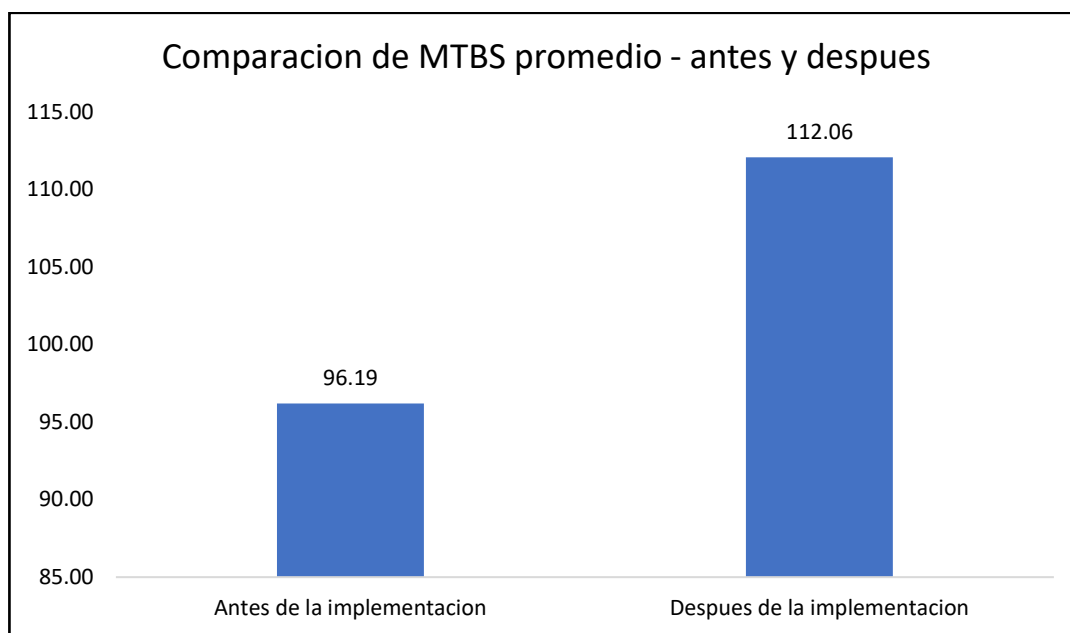


En la figura 5.2, se puede evidenciar que el MTTS promedio en el periodo 2021 fue de 15.35 horas, por el cual hace referencia a las horas destinadas a la reparación de fallas, pero con la implementación del plan de mantenimiento predictivo y las mejoras en el plan de mantenimiento preventivo antiguo, en el periodo 2022 se llegó a obtener en promedio 11.29 horas, es decir hay una disminución de 4.06 horas, que representa el 26% del MTTS anterior.

**Tabla 5.3. Análisis estadístico del MTBS del tracto camiones**

Estadístico		
Confiabilidad antes de la implementacion	Media	95.7867
	Mediana	96.0000
	Intervalo de confianza Limite Inferior	92.7054
	Intervalo de confianza Limite Superior	98.8679
	Desviacion estandar	4.8495
Confiabilidad despues de la implementacion	Media	112.0008
	Mediana	112.0259
	Intervalo de confianza Limite Inferior	109.1132
	Intervalo de confianza Limite Superior	114.8885
	Desviacion estandar	4.5448

**Figura.5.3 Comparación de MTBS promedio – antes y después de la implementación.**



En la figura 5.3, se puede evidenciar que el MTBS promedio en el periodo 2021 fue de 96.19 horas, en otras palabras, ocurre una falla cada 96.19 horas, pero con la implementación del plan de mantenimiento predictivo y sus respectivos controles se logró minimizar las fallas en el periodo 2022, esto significa que cada intervención se realiza cada 112.06 horas, es decir hubo un aumento significativo de 15.87 horas, en otras palabras, se incrementó en un 16%

## **5.2. Resultados inferenciales**

### **Prueba de normalidad**

La Normalidad de Kolmogorov Smirnov para comprobar si se sigue una distribución normal o no. De acuerdo a la prueba mencionada si la probabilidad del estadístico de contraste es mayor o igual que 0.050 se dice que la variable si sigue una distribución normal, y si por el contrario la probabilidad es menor que 0.050 no la sigue. A continuación, vemos los resultados de la prueba realizada:

**Tabla 5.4. Prueba de Kolmogorov Smirnov (KS) para índice de Disponibilidad, Índice de Mantenibilidad e Índice Confiabilidad**

Pruebas de Kolmogorov Smirnov						
	Indice de Disponibilidad		Indice de Mantenibilidad		Indice de Confiabilidad	
	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
n	12	12	12	12	12	12
Media	0.8616	0.9075	15.3550	11.4000	95.7867	112.0008
Mediana	0.8623	0.9081	15.3550	11.2600	96.0000	112.0259
Desviacion estandar	0.0066	0.0159	0.1082	1.8879	4.8495	4.5448
Sig. Valor	0.115	0.836	0.876	0.826	0.173	0.958

En la Tabla 5.4 se observa probabilidades de 0.115, 0.826 y 0.173, son valores mayores a 0,050, por tanto, se confirma que sigue una distribución normal (paramétrica) para índice de Disponibilidad, Índice de Mantenibilidad e Índice Confiabilidad.

Entonces se utilizará como método de comprobación de hipótesis la prueba de T-Student.

### **Estadística paramétrica T-Student**

#### **Contratación de hipótesis general**

- **Hipótesis Nula (Ho):** La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, no mejora la disponibilidad del tractocamiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR en Ventanilla 2022
- **Hipótesis Alterna (Ha):** La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, mejora la disponibilidad del tractocamiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR en Ventanilla 2022

## Regla de Decisión

$$H_0: \mu_{antes} \geq \mu_{después}$$

$$H_a: \mu_{antes} < \mu_{después}$$

Donde:

$\mu_{antes}$ : Es la media de la disponibilidad pre

$\mu_{después}$ : Es la media de la disponibilidad post

**Tabla 5.5. Comparación de medias de la Disponibilidad**

Estadísticas de muestras emparejadas				
Descripcion	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Disponibilidad Pre	0.86160	12.00	0.00657	0.00190
Disponibilidad Post	0.90750	12.00	0.01591	0.00459

De la tabla 5.5, se puede verificar que la disponibilidad después es mayor que la disponibilidad antes de la implementación, es decir que la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, mejora la disponibilidad de los tractos camiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR Ventanilla.

## Regla de decisión

Si  $Sig \geq 0.05$ , se acepta la hipótesis nula

Si  $Sig < 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula

**Tabla 5.6. Estadístico de prueba de T-Student**

Estadísticas de muestras T.Student				
Descripcion	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Disponibilidad Pre	0.86160	12.00	0.00657	0.00190
Disponibilidad Post	0.90750	12.00	0.01591	0.00459

De la tabla 5.6, se puede corroborar que la significancia de la prueba T-Student, aplicado a la dimensión disponibilidad después y antes, muestra un valor de 0,000, por consiguiente y de acuerdo a la regla de decisión descrita, se rechaza la hipótesis nula, es decir, que la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, mejora la disponibilidad de los tractos camiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR Ventanilla.

### **Contrastación de la primera hipótesis específica**

**Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>):** La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, NO mejora la mantenibilidad de los tractocamiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR en Ventanilla 2022.

**Hipótesis Alterna (H<sub>a</sub>):** La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, mejora la mantenibilidad de los tractocamiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR en Ventanilla 2022.

### **Regla de Decisión**

$$H_0: \mu_{antes} \geq \mu_{después}$$

$$H_a: \mu_{antes} < \mu_{después}$$

Donde

$\mu_{antes}$ : Es la media de la mantenibilidad pre

$\mu_{después}$ : Es la media de la mantenibilidad post



**Tabla 5.7. Comparación de medias de la Mantenibilidad**

Estadísticas de muestras emparejadas				
Descripcion	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Mantenibilidad Pre	15.35500	12.00	0.10817	0.03122
Mantenibilidad Post	11.40000	12.00	1.88785	0.54498

De la tabla 5.7, se puede verificar que la mantenibilidad después es menor que la disponibilidad antes de la implementación, es decir que la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, mejora la mantenibilidad de los tractos camiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR Ventanilla.

### Regla de decisión

Si  $Sig \geq 0.05$ , se acepta la hipótesis nula

Si  $Sig < 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula

**Tabla 5.8. Estadístico de prueba de T-Student**

Descripcion	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
				Disponibilidad Pre - Disponibilidad Post	3.95500			

De la tabla 5.8, se puede corroborar que la significancia de la prueba T-Student, aplicado a la dimensión mantenibilidad después y antes, muestra un valor de 0,000, por consiguiente y de acuerdo a la regla de decisión descrita, se rechaza la hipótesis nula, es decir, que la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, mejora la mantenibilidad de los tractos camiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR Ventanilla.

## Contrastación de la segunda hipótesis específica

**Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>):** La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, NO mejora la confiabilidad de los tractocamiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR en Ventanilla 2022

**Hipótesis Alterna (H<sub>a</sub>):** La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, mejora la confiabilidad de los tractocamiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR en Ventanilla 2022

### Regla de Decisión

$$H_0: \mu_{antes} \geq \mu_{después}$$

$$H_a: \mu_{antes} < \mu_{después}$$

Donde

$\mu_{antes}$ : Es la media de la confiabilidad pre

$\mu_{después}$ : Es la media de la confiabilidad post

**Tabla 5.9. Comparación de medias de la Confiabilidad**

Estadísticas de muestras emparejadas				
Descripcion	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Mantenibilidad Pre	95.78670	12.00	4.84949	1.39993
Mantenibilidad Post	112.00080	12.00	4.54481	1.31197

De la tabla 5.9, se puede verificar que la confiabilidad después es mayor que la confiabilidad antes de la implementación, es decir que la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, mejora la confiabilidad de los tractos camiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR Ventanilla.

### Regla de decisión

Si  $Sig \geq 0.05$ , se acepta la hipótesis nula

Si  $Sig < 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula

**Tabla 5.10. Estadístico de prueba de T-Student**

Prueba de muestras emparejadas								
Descripcion	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Disponibilidad Pre - Disponibilidad Post	-16.21417	2.85332	0.82368	-18.02708	-14.40125	-19.68500	11.00	0.00000

De la tabla 5.10, se puede corroborar que la significancia de la prueba T-Student, aplicado a la dimensión confiabilidad después y antes, muestra un valor de 0,000, por consiguiente y de acuerdo a la regla de decisión descrita, se rechaza la hipótesis nula, es decir, que la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, mejora la confiabilidad de los tractos camiones Sinotruk C7H de la empresa SAVAR Ventanilla.

### 5.3 Resultados Financieros

Se procedió a realizar el análisis costo – beneficio de la implementación de un plan de mantenimiento predictivo de los tractos camiones Sinotruk C7H de la empresa Savar.

Para ello se consideró la siguiente información:

**Tabla 5.11 Resumen de Inversión**

Inversión	
Costo del dializador	\$ 4,340
02 Ing. Predictivo	\$ 1,934
01 Técnico lubricador	\$ 696
Kit de toma de muestra	\$ 300

**Tabla 5.12 Resumen de Beneficio**

Beneficios	
Filtros y Aceites de motor	\$ 861
Filtros y Aceite de HY	\$ 1,397
Lucro cesante x Hora	\$ 50

**Tabla 5.13 Resumen de Mantenimiento 2021**

Datos de Mantenimiento	
Disp. Promedio 2021	86%
Horas de mantto a Dic 21	5,771

**Tabla 5.14 Retorno de Inversión**

Periodo	2021					2022										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Detalle	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Beneficios	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 18,867	\$ 58,110	\$ 43,450	\$ 63,422	\$ 66,416	\$ 84,577	\$ 86,705	\$ 97,990	\$ 112,686	\$ 115,909	\$ 130,642	\$ 132,605
Costos	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931	\$ 2,931
Inversión	\$ 4,340															
Flujo de caja	\$ -4,340	\$ -2,931	\$ -2,931	\$ -2,931	\$ 15,937	\$ 55,180	\$ 40,520	\$ 60,492	\$ 63,486	\$ 81,646	\$ 83,775	\$ 95,059	\$ 109,756	\$ 112,979	\$ 127,712	\$ 129,675
Acumulado	\$ -4,340	\$ -7,271	\$ -10,201	\$ -13,132	\$ 2,805	\$ 57,985	\$ 98,505	\$ 158,997	\$ 222,482	\$ 304,128	\$ 387,903	\$ 482,962	\$ 592,718	\$ 705,697	\$ 833,409	\$ 963,083

**Tabla 5.15 Resultado de inversión**

<b>Resultados Economicos</b>	
<b>TASA</b>	10%
<b>VAN</b>	\$ 349,663.71
<b>TIR</b>	84%
<b>PR</b>	3.82

## **VI.DISCUSION DE RESULTADOS**

### **6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.**

#### **6.1.1. Contrastación de la hipótesis general**

- De acuerdo a la hipótesis general planteada se calculó la disponibilidad pre prueba (promedio antes de la implementación del plan periodo 2021) resultando 86.21% y también se calculó la disponibilidad pos prueba (promedio después de la implementación del plan periodo 2022) resultando 90.83%, es decir hay un aumento significativo de un 4.62% en comparación al periodo anterior, por lo que se contrasta y se acepta la hipótesis general.

#### **6.1.2. Contrastación de la hipótesis específicas**

- De acuerdo a la primera hipótesis específica planteada se calculó la confiabilidad pre prueba (promedio antes de la implementación del plan, periodo 2021) resultando 96.19 horas, mientras que en la pos prueba (promedio después de la implementación del pan, periodo 2022) fue de 112.06 horas, corroborando un aumento del 16%, por lo que se acepta la primera hipótesis específica.
- De acuerdo a la segunda hipótesis específica planteada se calculó la mantenibilidad pre prueba (promedio antes de la implementación del plan, periodo 2021) resultando 15.35 horas, mientras que en la pos prueba (promedio después de la implementación del pan, periodo 2022) fue 11.29 horas, es decir hay una disminución de 4.06

horas, corroborando un aumento del 26%. por lo que se acepta la segunda hipótesis específica.

## **6.2. Contrastación con estudios similares**

### **6.2.1. Contrastación de los resultados con estudios internacionales**

- Como resultado del trabajo de investigación comprobado estadísticamente se logró mejorar la disponibilidad a 90.83% gracias a la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, el trabajo de investigación que tiene como autores a Zambrano, Jonathan (2021) con título “Estudio de la aplicación del mantenimiento predictivo en motores diésel en la provincia de Manabí” concluyeron que la aplicación de la tecnología de mantenimiento predictivo a los motores diésel en el estado de Manabí fue desfavorable por contar con personal que realizaba las actividades empíricamente y no seguían un protocolo.

Al comparar ambos resultados no se contrasta ya que no pudieron implementar el plan de mantenimiento predictivo y por consecuencia a mejorar la disponibilidad de su flota.

- Como resultado del trabajo de investigación se logró mejorar la disponibilidad en 4.64% por medio de la implementación del plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite. Además, en la tesis que tiene como autor Elías (2019), con título “Metodología de diagnóstico basado en análisis discriminante para motores de combustión interna como una herramienta del mantenimiento predictivo mediante análisis de aceites lubricantes” por medio del mantenimiento predictivo lograron implementar una metodología de diagnóstico de aceites lubricantes para motores de combustión interna basado en el análisis de discriminante con un 94.7% de casos clasificados correctamente que permite predecir el momento en el cuál el aceite estará deteriorado y no cumplirá su función lubricante.

los resultados se contrastan indirectamente en los objetivos propuestos.

- Como resultado del trabajo de investigación se logró mejorar la disponibilidad en 4.64% por medio de la implementación del plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite donde la tesis del autor Rolando (2017) con título “Plan de mantenimiento predictivo de motores automotrices mediante análisis de aceite. caso: empresa coordinadora mercantil s.a.”, llegando a la conclusión que el plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite fue exitoso, dado que al seguir el procedimiento establecido, se pudieron determinar el estado general de los motores automotrices de la flota de transporte de la empresa Coordinadora Mercantil, sede Cali, interviniéndose en las ocasiones que lo ameritaban, impidiendo de esta manera, fallas en ruta de las móviles, paradas no programadas que ocasionan pérdidas tanto económicas como de credibilidad en la empresa.

Se contrasto ambos resultados dando un aumento en la confiabilidad de los equipos a partir de la implementación de un plan de mantenimiento.

- Como resultado del trabajo de investigación contrastado estadísticamente se logró aumentar la confiabilidad en 16% por medio de la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite donde la tesis elaborada por los autores Paula y Mayra (2016), con título “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.” llegan a la conclusión de que la correcta interpretación y análisis de los resultados de laboratorio, permite al departamento de mantenimiento generar un plan de acción y tomar medidas preventivas y/o correctivas para garantizar la confiabilidad de los equipos.

Se contrastan en ambos resultados el aumento de la confiabilidad de los equipos por la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.

### **6.2.2. Contratación de los resultados con estudios nacionales**

- Como resultado del trabajo de investigación se logró mejorar la disponibilidad en 4.64% por medio de la implementación del plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite donde la tesis del autor Roger (2021) titulado “Aplicación del análisis de aceite para incrementar la disponibilidad mecánica de los cargadores de bajo perfil r1300g de la empresa comiciv kolpa 2018” obtienen como resultado un incremento en su disponibilidad de 3.85% llegando a reducir las paradas inesperadas y costos de mantenimiento.

Al comparar ambos resultados se contrasta el aumento de la disponibilidad a partir de la elaboración de un plan de mantenimiento basado en análisis de aceite.

- Como resultado del trabajo de investigación se logró contrastar estadísticamente el aumento de la disponibilidad en un 4.64% donde la tesis del autor Diego (2018), titulado “Implementación de un mantenimiento basado en el análisis de aceite para incrementar la disponibilidad de una excavadora cat 336 de gym - Tacna” obtiene como resultado un incremento en la disponibilidad promedio del 7% reduciendo en su totalidad las paradas inesperadas.

Al comparar ambos resultados se contrasta el aumento de la disponibilidad a partir de la elaboración de un plan de mantenimiento basado en análisis de aceite

- Como resultado del trabajo de investigación comprobado estadísticamente se logró mejorar la disponibilidad de 86.21% a 90.83% donde la tesis del autor James (2017), titulado “Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390fl de stracon gym –



Cajamarca” obtienen como resultado obtiene como resultado mejorar la disponibilidad del equipo analizado de un 89.66% a un 92%, el incremento es de 2.34 %; logrando superar el estándar corporativo de tener como mínimo un 90% de disponibilidad.

Al comparar ambos resultados se contrasta el aumento de la disponibilidad a partir de la elaboración de un plan de mantenimiento basado en análisis de aceite

- Del informe final se tiene como resultado la mejora de la disponibilidad en 4.64% por la implementación del plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, además en la tesis del autor José (2016), titulado “Evaluación de los parámetros de degradación de aceite como herramienta de gestión del mantenimiento de motores diésel-Unimaq SA - Cajamarca”, teniendo como resultados el ahorro económico anual de S/. 205, 497.60 aplicando el análisis de aceite como herramienta de gestión del mantenimiento.

Al comparar ambos resultados, se contrastan indirectamente en aumento en los objetivos propuestos.

### **6.3. Responsabilidad ética**

En el trabajo de investigación se cumple con el aspecto ético dado ya que se tiene el permiso para la aplicación de la tesis titulada “Implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los tractocamiones sinotruk C7H, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022” donde los datos obtenidos son verídicos y pueden ser constatado con documentas de la empresa en mención. Asimismo, se cumple con la directiva N° 004-2022-R “Directiva para la elaboración de proyecto e informe final de investigación de pregrado, posgrado, equipos, centros e institutos de investigación de la Universidad Nacional de Callao” y cumple con los índices de similitud permitidos por parte de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía.

## VII. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio de los 62 tractocamiones, se logró mejorar la disponibilidad en 4.62% promedio, lo cual representa significativamente una mejora debido a la implementación del plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite.
- Se logró mejorar la confiabilidad ya que a través del análisis del MTBS se obtuvo un aumento de 15.87 horas en el tiempo medio para fallar, lo que significa que el tiempo que transcurre entre cada fallo se ha incrementado.
- Se logró disminuir la mantenibilidad de los equipos ya que a través del análisis de MTTS revela una diferencia de 4.06 horas, lo que indica que el tiempo promedio de reparación se reduce por medio de la aplicación del plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda implementar un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite a todas las operaciones de la empresa SAVAR ya que se obtuvo resultados favorables en la investigación aplicada.
- Se recomienda el monitoreo y control los parámetros establecidos en el análisis de aceite ya que estos nos permitirán controlar fallas esporádicas que podrían afectar a la disponibilidad de los tractocamiones lo cual sería perjudicial para la imagen de la empresa.
- Dado que la mantenibilidad depende del tiempo de reparación de cada equipo, se recomienda cumplir con los procedimientos establecidos para alertar de fallas que puedan prolongar el tiempo de reparación y ocasionar paradas inesperadas para la producción.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABID, Koceila. *A data-driven prognostics approach for gearbox fault diagnosis and remaining useful life estimation using oil debris analysis*. [Scientific Article] HAL - OPEN SCIENCE, 2021.

ALDAZ, Andres. *QuestionPro*. [En línea] 2008. [Citado el: 18 de Mayo de 2023.] Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/diagrama-de-pareto/>.

ÁLVAREZ, Elías. *Metodología de diagnóstico basado en análisis discriminante para motores de combustión interna como una herramienta del mantenimiento predictivo o mediante análisis de aceites lubricantes*. Tesis de postgrado [Maestría en Mantenimiento] Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés, 2019.

ÁLVAREZ, Emilio. *Tribología: Fricción, desgaste y lubricación*. Cuba : s.n., 1999.

ÁLVAREZ, Jesús. *Implementación de un programa de mantenimiento para la mejora del proceso de chancado en la planta Paraghsa, Compañía Miner Volcan*. Lima, 2013.

ÁVALA, Martín. *Mantenimiento Predictivo*. [En línea] Grupo Álava, 20 de Noviembre de 2010. [Citado el: 21 de Febrero de 2023.] <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/>.

BARBERO, José y GUERRERO, Pablo. *El transporte automotro de carga en América Latina*. s.l.: BID Transporte, 2017.

BASSO, Juan. *Gestión de mantenimiento: Medición y control*. 2015.

BIELLI, Maurizio. Trends in Models and Algorithms for Fleet Management. 2011, pág. 15.

CARMONA, Roger. *Aplicación del análisis de aceite para incrementar la disponibilidad mecánica de los cargadores de bajo perfil R1300G de la Empresa COMICIV, Kolpa 2018*. Tesis de grado [Titulo profesional de Ingeniero Industrial] Lima: Universidad Continental, 2021.

CALDERÓN, PAUBLA. *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.*. Tesis de grado [Titulo profesional de Ingeniero Mecánico] Bogota: Universidad Dsitrital Francisco José de Caldas, 2016.

CHANG, Edu. *Propuesta de un modelo de Gestión de mantenimiento preventivo para una pequeña empresa del rubro de minería para reducción de costos del servicio de alquiler*. Lima : s.n., 2008.

COTRINA, Hector. *Evaluación de los parámetros de degradación de aceite como herramienta de gestión del mantenimiento de motores Diesel-Unimaq SA*. Tesis de

grado [Titulo profesional de Ingeniero Mecánico-Electricista] Perú: Universidad César Vallejo, 2016.

DELGADO, Omar. *Implementación del plan de mantenimiento basado en analisis de aceite en minibuses de la empresa Los leones S.A. - Cusco: s.n., 2022.*

DÍAZ, Manuel. *Mantenimiento industrial práctico.* 2012.

DOMINGUEZ, Diego. *Implementación de un mantenimiento basado en el análisis de aceite para incrementar la disponibilidad de una excavadora Cat 336 de GYM - Tacna.* Tesis de grado [Titulo profesional de Ingeniero Mecánico-Eléctrico] Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019.

DORTA, Pablo. *Transporte y logistica Internacional.* 2014.

FISLER, Alejandro. *Análisis de aceite: Interpretación y diagnóstico de las muestras de lubricante.* s.l. : Alejandro Fisler, 2015.

GALARZA, James. *Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390FL de Stracon Gym – Cajamarca.* Tesis de grado [Titulo profesional de Ingeniero Mecánico] Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017.

GARCIA, Santiago. *Especial mantenimiento basado en condición.* Madrid : IRIM, 2018.

ORTIZ, Alexis, RODRÍGUEZ, Carlos e IZQUIERDO, Henry. *Gestión de mantenimiento en pymes industriales.* 2013, Revista Venezolana de Gerencia (RVG), pág. 20.

GRESHAM, Robert. 2008. *Lubrication and Maintenance of Industrial Machinery: Best Practices and Reliability.* 2008.

HOLAND, Ubiratran y FONSECA, Nilton. *Programa de gestión de mantenimiento a través de la implementación de herramientas predictivas y de TPM como contribución a la eficiencia energética de las plantas termoeléctricas.* Medellín : s.n., 2015.

KEITH, R. 2019. *Predictive Maintenance: Tools and Techniques.* 2019.

KILLEEN, Patrick. *IoT-based predictive maintenance for fleet management.* leuven, Belgium : s.n., 2019. pág. 7.

MEDINA, Gustavo D. *Análisis de aceite: Guía práctica para el diagnóstico de fallas en equipos y maquinarias.* s.l. : Palibrio, 2014.

MEDINA, Jorge. *Análisis y monitoreo del aceite lubricante en la anticipación de fallas de maquinaria pesada, como herramienta de mantenimiento proactivo.* Tesis de grado [Titulo profesional de Ingeniero Mecánico] Perú: Universidad Nacional de Trujillo, 2017.

MILKIEWICZ, Alexandre y ROCHA, Eduardo. *Use of PROMETHEE Method for Decision Making in Bus Fleet Maintenance*. Chicago, Illinois (USA) : s.n., 2019, Elsevier Ltd, pág. 8.

MONTANO, Everlino. *Gestión del mantenimiento basado en la confiabilidad aplicado para una flota de volquetes de 50 toneladas para acarreo de material en la mina Arasi*. Lima : s.n., 2013.

MORA, Alberto. *Mantenimiento Planeacion, ejecucion y control*. s.l. : Alfaomega, 2009.

MORENO, Antónío. *Mantenimiento Industrial - I (Recopilación)*. Cartagena : s.n., 2012.

PALMER, Richard. *Maintenance Planning and Scheduling Handbook, 4th Edition*. s.l. : McGraw-Hill Education, 2013.

PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*. Sevilla : INGEMAN, 2015.

PÉREZ, Felix. *Conceptos Generales en la Gestión del Mantenimiento Industrial*. Bucaramanga : USTA, 2021.

RICO, Antonio. *Análisis de aceites lubricantes usados: Una guía para el mantenimiento predictivo y preventivo*. s.l. : Ediciones Díaz de Santos, 2012.

ROBLES, Carlos. *Análisis de aceite en el mantenimiento predictivo*. s.l. : CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013.

RODRÍGUEZ, Antonio. *Manual de gestión de mantenimiento*. Santa Clara, Cuba : s.n., 2012.

RODRIGUEZ, Roland. *Plan de mantenimiento predictivo de motores automotrices mediante análisis de aceite. Caso: Empresa Coordinadora Mercantil S.A.* Tesis de grado [Título profesional de Ingeniero mecánico]. Pamplona: Universidad de Pamplona, 2017.

ROLDÁN, José. *Análisis de aceites lubricantes: Su importancia en la fiabilidad de los equipos*. s.l. : Ediciones Díaz de Santos, 2017.

ROSEMEIER, Stuart. *Machinery Failure Analysis Handbook: Sustain Your Operations and Maximize Uptime*. 2006.

SALAS, Juan. *Mejoramiento de la gestión de manteneimto del equipo pesado en Volcan compañía minera Unidad Yauli*. Lima : s.n., 2013. pág. 147.

SMITH, Rodrigo. Hewlett Packard. [En línea] Enterprice, 20 de Agosto de 2018. [Citado el: 21 de Febrero de 2023.] <https://www.hpe.com/es/es/what-is/oem.html>.

SOTO, Valentina. *Diseño de un plan de mantenimiento para la flota naviera de la empresa Frasal S.A., Puerto Montt, Chile*. Chile : s.n., 2016.

THOMAS, Michaud. *The Basics of Oil Analysis*. 2004.

TROYER, Drew y FITCH, Jim. *Oil Analysis Basics* . Lima : Noria, 2004.

URIBE, Jairo. *Gestión del mantenimiento industrial*. 2010.

VIVEROS, Pablo y STEGMAIER, Raúl. *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo*. Chile : s.n., 2013, Ingeniare, pág. 14.

ZAMBRANO, Jonathan. *Estudio de la aplicación del mantenimiento predictivo en motores diésel en la provincia de Manabí*. Tesis de maestría [Maestría en Mantenimiento] Ecuador: Universidad Técnica de Manabí, 2021

ZAVALETA, Jesús. *Aplicación de ciclo de Deming para mejorar la productividad en la fabricación del resorte de suspensión en la empresa Corporación de Resortes SAC., San Martín de Porres, 2017*. Lima : s.n., 2017. pág. 136.

ZEGARRA, Manuel. *Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados*. 2016.

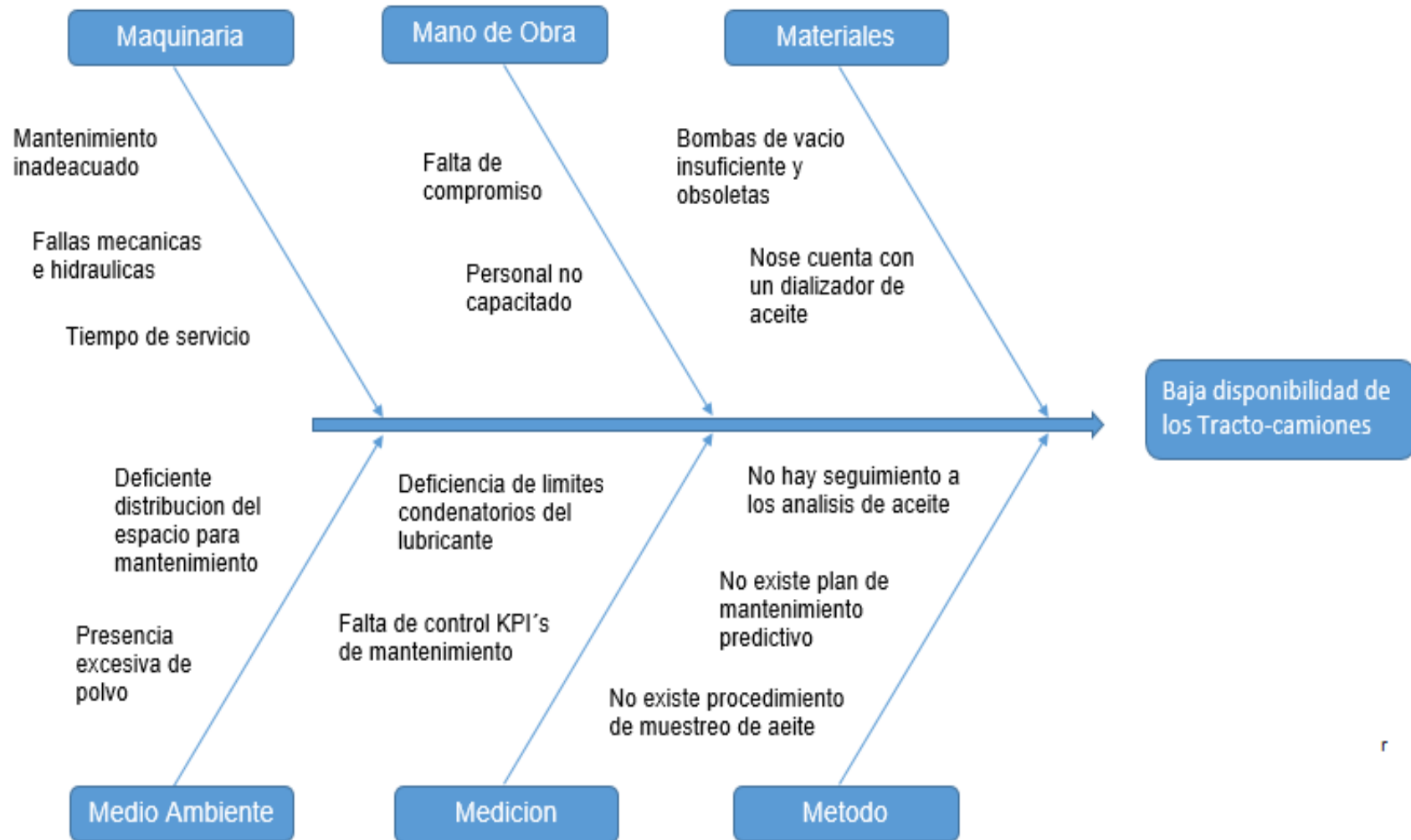


## X. ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de consistencia.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b> ¿En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite mejora la disponibilidad de los tracto-camiones Sinotruk C7H, de la Empresa Savar Ventanilla 2022?</p> <p><b>PROBLEMA ESPECIFICO</b> ¿En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite mejora la confiabilidad de los tracto-camiones Sinotruk C7H, de la Empresa Savar Ventanilla 2022?</p> <p>En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite mejora la mantenibilidad de los tracto-camiones Sinotruk C7H, de la Empresa Savar Ventanilla 2022?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b> Determinar en qué medida la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite mejora la disponibilidad de los tracto-camiones Sinotruk C7H, de la Empresa Savar Ventanilla 2022</p> <p><b>OBJETIVO ESPECIFICO</b> Determinar la medida en que la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite mejora la confiabilidad de los tracto-camiones Sinotruk C7H, de la Empresa Savar Ventanilla 2022.</p> <p>Determinar la medida en que la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite mejora la mantenibilidad de los tracto-camiones Sinotruk C7H, de la Empresa Savar Ventanilla 2022.</p>	<p><b>HIPOTESIS GENERAL</b> La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite mejora la disponibilidad de los tracto-camiones Sinotruk C7H, de la Empresa Savar Ventanilla 2022</p> <p><b>HIPOTESIS ESPECIFICA</b> La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite mejora la confiabilidad de los tracto-camiones Sinotruk C7H, de la Empresa Savar Ventanilla 2022</p> <p>La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite mejora la mantenibilidad de los tracto-camiones Sinotruk C7H, de la Empresa Savar Ventanilla 2022</p>	<p><u>Variable Independiente</u> Plan de Mantenimiento predictivo basado en el analisis de aceite</p> <p><u>Variable dependiente</u> Disponibilidad</p>	<b>Inventario del equipo</b>	Porcentaje	<p>Metodologia:</p> <p>Tipo: Aplicada</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Nivel: Pre experimental</p> <p>Poblacion: Tractocamiones Sinotruck C7H</p>
				<b>Historial del equipo</b>	Hrs	
				<b>Identificacion de parametros</b>	Porcentaje	
				<b>Protocolo de muestreo</b>	Porcentaje	
				<b>Analisis e Interpretacion de datos</b>	Porcentaje	
				<b>Tareas correctivas de mejora</b>	Porcentaje	
				<b>Confiabilidad</b>	Hrs	

## Anexo 2: Diagrama de Ishikawa.



**Anexo 3: Dializador de aceite hidráulico.**



## Anexo 4: Especificaciones técnicas de Dializador de aceite hidráulico.

### Dializador DAH (01)

---

Modelo	DAH (01)
--------	----------

---

Acople Entrada	3/4"
----------------	------

---

Acople Salida	1/2"
---------------	------

---

E/B	Piusi
-----	-------

---

Elemento Filtrante	1
--------------------	---

---

Manómetro	1/4" NPT
-----------	----------

---

Peso bruto	60 KG.
------------	--------

---

Caudal (GPM)	5-8
--------------	-----

---

## Anexo 5: Especificaciones técnicas de Nuto H Series Mobil

Nuto™ H Series

Page 1 of 2



### Nuto™ H Series

Mobil Industrial , Mexico

Aceites hidráulicos

### Descripción del producto

Los aceites Nuto™ H Series son aceites hidráulicos antidesgaste de buena calidad destinados a utilizarse en aplicaciones de servicios industriales y móviles que están sometidas a condiciones operativas moderadas y que requieren lubricantes antidesgaste.

Su efectiva resistencia a la oxidación y estabilidad química son la base de la buena vida útil de dichos aceites en aplicaciones moderadas y severas.

### Propiedades y beneficios

- Buen desempeño antidesgaste que ayuda a reducir el desgaste de las bombas y a prolongar la vida útil de las mismas
- Protección contra la corrosión que ayuda a reducir los efectos negativos de la humedad sobre los componentes del sistema
- Filtrabilidad para prevenir la obstrucción de los filtros incluso en la presencia de agua

### Aplicaciones

- Sistemas que utilizan bombas de engranajes, de paletas, radiales y axiales de pistón para los que se requieren características leves de antidesgaste
- En situaciones donde la contaminación del aceite hidráulico o las fugas son inevitables
- Donde pequeñas cantidades de agua son inevitables

### Propiedades y especificaciones

Propiedad	32	46	68	100	150
Grado	ISO 32	ISO 46	ISO 68	ISO 100	ISO 150
Corrosión de la tira de cobre, 3 h, 100 C, Clasificación, ASTM D130	1A	1A	1A	1A	1A
Densidad a 15 C, kg/l, ASTM D1298	0,872	0,876	0,882	0,884	0,887

Fuente: Mobil-2015

### Especificaciones y aprobaciones

Este producto cuenta con las siguientes aprobaciones:	32	46	68	100	150
DENISON HF-0	X	X	X		
Este producto cumple o excede los requisitos de:	32	46	68	100	150
DIN 51524-2:2006-09	X	X	X	X	
ISO L-HM (ISO 11158:2009)	X	X	X	X	X

Nuto™ H Series

Page 2 of 2

Propiedad	32	46	68	100	150
Emulsión, tiempo hasta 3 ml de emulsión, 54 C, min, ASTM D1401	15	15	20		
Emulsión, tiempo hasta 3 ml de emulsión, 82 C, min, ASTM D1401				10	5
Punto de inflamación, copa abierta Cleveland, °C, ASTM D92	212	226	234	242	258
Viscosidad cinemática @ 100 C, mm <sup>2</sup> /s, ASTM D445	5,3	6,6	8,3	11,0	14,9
Viscosidad cinemática @ 40 C, mm <sup>2</sup> /s, ASTM D445	31,4	44,0	63,3	96,0	150
Punto de fluidez, °C, ASTM D97	-24	-24	-18	-18	-18
Índice de viscosidad, ASTM D2270	98	98	98	98	98

Fuente: Mobil-2015

## Anexo 6: Consentimiento de uso de información.



### CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE DATOS DE LA EMPRESA

Yo Miguel Ángel Ortega Lujan identificado con DNI 41224587, en mi calidad de Gerente de Mantenimiento de la Empresa Savar Corporación Logística S.A. con R.U.C N° 20510945736.

#### OTORGO LA AUTORIZACIÓN

A los señores Carlos Eduardo Quispe Azca, identificado con DNI N° 73089018 y Omar Enrique Rabanal Velásquez, identificado con DNI N° 48424771, alumnos de la unidad de pregrado de la facultad de ingeniería Mecánica y de Energía que utilice la siguiente información de la empresa:

- Logos y formatos de la empresa.
- Datos de los tractocamiones.
- Datos de fallas en los tractocamiones.

con la finalidad de que pueda desarrollar su tesis para optar el grado de ingeniero.

Con respecto al uso del nombre de la empresa, en mi calidad de representante, manifiesto que: ( ) Se debe mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o  
(X) Se puede mencionar el nombre de la empresa en la tesis.

Adjuntar a esta carta la siguiente información del representante legal (firmante):

- Vigencia de Poder o Ficha RUC o consulta RUC (para el caso de empresas privadas).
- ROF o MOF o Resolución de designación, (para el caso de empresas públicas)
- Copia del DNI del Representante Legal (para validar su firma en el formato).

Miguel Ángel Ortega Lujan  
GERENTE DE MANTENIMIENTO

Firma y sello del Representante Legal  
DNI: 41224587

El ~~Tesista~~ declara que los datos emitidos en esta carta y en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el bachiller será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.

Firma del Bachiller  
DNI: 73089018

Firma del Bachiller  
DNI: 48424771



## Anexo 7: Capacitación de técnicos sobre toma de muestras.









## Anexo 8: Examen de rendimiento al personal.

**EXAMEN FUNDAMENTOS DE LUBRICACIÓN**

Nombres y Apellidos: Luis Danny BARRERA Gil NOTA: 20

**Pregunta 1: ¿Qué es la Tribología?**

- a) Ciencia que estudia la fricción, desgaste y lubricación
- b) Ciencia que estudia límites mixtos y Elasto hidrodinámica
- c) Ciencia que estudia la fricción adhesiva y abrasiva ✓
- d) Todas las anteriores
- e) Solo a y c

**Pregunta 2: ¿Cuál es el porcentaje de aceites base y aditivos?**

- a) Aceite Base 0.01% - 30% - Aditivo 70% - 99.99%
- b) Aceite Base 70% - 99.99% - Aditivo 0.01% - 30% ✓
- c) Aceite Base 40% - 60% - Aditivo 60% - 40%
- d) Aceite Base 60% - 80% - Aditivo 40% - 20%
- e) Ninguna de las anteriores

**Pregunta 3: Son tipos de desgaste**

- a) Adhesivo - Fractura
- b) Abrasivo - Deformación plástica ✓
- c) Adhesivo - Abrasivo ✓
- d) Rayaduras - Limaduras
- e) Ninguna de las anteriores

**Pregunta 4: Composición de las grasas**

- a) 3 -30% Aceite - 70-95% Espesante - 0-10% Aditivos
- b) 3-30% Espesante - 3-30% Aceite - 0-10% Aditivos
- c) 70 -95% Aceite - 3-30% Espesante - 0-10% Aditivos ✓
- d) 0-10% Aceite - 3-30% Aceite - 70-95% Espesante
- e) Ninguna de las anteriores

**Pregunta 5: No es una función del lubricante**

- a) Reducir la fricción
- b) Reducir el desgaste
- c) Controlar la temperatura
- d) Reducir la cavitación ✓
- e) Ninguna de las anteriores

EXAMEN FUNDAMENTOS DE LUBRICACIÓN

Nombres y Apellidos: Tomás Claudio Palma

NOTA:

20

**Pregunta 1: ¿Qué es la Tribología?**

- a) Ciencia que estudia la fricción, desgaste y lubricación
- b) Ciencia que estudia límites mixtos y Elasto hidrodinámica
- c) Ciencia que estudia la fricción adhesiva y abrasiva
- d) Todas las anteriores
- e) Solo a y c

**Pregunta 2: ¿Cuál es el porcentaje de aceites base y aditivos?**

- a) Aceite Base 0.01% - 30% - Aditivo 70% - 99.99%
- b) Aceite Base 70% - 99.99% - Aditivo 0.01% - 30%
- c) Aceite Base 40% - 60% - Aditivo 60% - 40%
- d) Aceite Base 60% - 80% - Aditivo 40% - 20%
- e) Ninguna de las anteriores

**Pregunta 3: Son tipos de desgaste**

- a) Adhesivo - Fractura
- b) Abrasivo - Deformación plástica
- c) Adhesivo - Abrasivo
- d) Rayaduras - Limaduras
- e) Ninguna de las anteriores

**Pregunta 4: Composición de las grasas**

- a) 3 -30% Aceite - 70-95% Espesante - 0-10% Aditivos
- b) 3-30% Espesante - 3-30% Aceite - 0 -10% Aditivos
- c) 70 -95% Aceite - 3-30% Espesante - 0-10% Aditivos
- d) 0-10% Aceite - 3-30% Aceite - 70-95% Espesante
- e) Ninguna de las anteriores

**Pregunta 5: No es una función del lubricante**

- a) Reducir la fricción
- b) Reducir el desgaste
- c) Controlar la temperatura
- d) Reducir la cavitación
- e) Ninguna de las anteriores



EXAMEN FUNDAMENTOS DE LUBRICACIÓN

Nombres y Apellidos: Agto Pava

NOTA:

14

**Pregunta 1: ¿Qué es la Tribología?**

- a) Ciencia que estudia la fricción, desgaste y lubricación
- b) Ciencia que estudia límites mixtos y Elasto hidrodinámica
- c) Ciencia que estudia la fricción adhesiva y abrasiva ✓
- d) Todas las anteriores
- e) Solo a y c

**Pregunta 2: ¿Cuál es el porcentaje de aceites base y aditivos?**

- a) Aceite Base 0.01% - 30% - Aditivo 70% - 99.99%
- b) Aceite Base 70% - 99.99% - Aditivo 0.01% - 30% ✓
- c) Aceite Base 40% - 60% - Aditivo 60% - 40%
- d) Aceite Base 60% - 80% - Aditivo 40% - 20%
- e) Ninguna de las anteriores

**Pregunta 3: Son tipos de desgaste**

- a) Adhesivo - Fractura
- b) Abrasivo - Deformación plástica
- c) Adhesivo - Abrasivo ✓
- d) Rayaduras - Limaduras
- e) Ninguna de las anteriores

**Pregunta 4: Composición de las grasas**

- a) 3 - 30% Aceite - 70-95% Espesante - 0-10% Aditivos
- b) 3-30% Espesante - 3-30% Aceite - 0-10% Aditivos
- c) 70 - 95% Aceite - 3-30% Espesante - 0-10% Aditivos ✓
- d) 0-10% Aceite - 3-30% Aceite - 70-95% Espesante
- e) Ninguna de las anteriores

**Pregunta 5: No es una función del lubricante**

- a) Reducir la fricción
- b) Reducir el desgaste
- c) Controlar la temperatura
- d) Reducir la cavitación ✓
- e) Ninguna de las anteriores

EXAMEN FUNDAMENTOS DE LUBRICACIÓN

Nombres y Apellidos: Juan Sotelo Díaz

NOTA:

20

**Pregunta 1: ¿Qué es la Tribología?**

- a) Ciencia que estudia la fricción, desgaste y lubricación.
- b) Ciencia que estudia límites mixtos y Elasto hidrodinámica
- c) Ciencia que estudia la fricción adhesiva y abrasiva
- d) Todas las anteriores
- e) Solo a y c

**Pregunta 2: ¿Cuál es el porcentaje de aceites base y aditivos?**

- a) Aceite Base 0.01% - 30% - Aditivo 70% - 99.99%
- b) Aceite Base 70% - 99.99% - Aditivo 0.01% - 30%
- c) Aceite Base 40% - 60% - Aditivo 60% - 40%
- d) Aceite Base 60% - 80% - Aditivo 40% - 20%
- e) Ninguna de las anteriores

**Pregunta 3: Son tipos de desgaste**

- a) Adhesivo - Fractura
- b) Abrasivo - Deformación plástica
- c) Adhesivo - Abrasivo
- d) Rayaduras - Limaduras
- e) Ninguna de las anteriores

**Pregunta 4: Composición de las grasas**

- a) 3 - 30% Aceite - 70-95% Espesante - 0-10% Aditivos
- b) 3-30% Espesante - 3-30% Aceite - 0-10% Aditivos
- c) 70 - 95% Aceite - 3-30% Espesante - 0-10% Aditivos
- d) 0-10% Aceite - 3-30% Aceite - 70-95% Espesante
- e) Ninguna de las anteriores

**Pregunta 5: No es una función del lubricante**

- a) Reducir la fricción
- b) Reducir el desgaste
- c) Controlar la temperatura
- d) Reducir la cavitación
- e) Ninguna de las anteriores

**Anexo 9: Muestras de aceite del sistema hidráulico y motor.**

