

Evaluación del impacto del análisis de muestras de aceite en motores diésel sobre la operación y reducción de costos en los sectores de construcción y cemento: Clientes de Dozermaq

Margarita Rosa Gonzalez Locarno

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

PhD. Yesid Javier Rueda Ordoñez

Doctor en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2025

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo con todo mi cariño a mi hermana, quien ha sido un pilar fundamental en mi vida y sin quien no habría logrado alcanzar este objetivo. A mis padres y hermano, por su amor incondicional y su constante apoyo a lo largo de mi trayectoria. A mi pareja, quien ha estado a mi lado en cada paso de este proceso, brindándome aliento y motivación. A mi tía, quien ha sido una fuente de apoyo inestimable durante mi formación académica. Y, sobre todo, a Dios, quien me demuestra cada día que todo es a su tiempo y siempre proveerá. Gracias a todos por estar siempre presentes y hacer posible este logro.

### **Agradecimientos**

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la empresa Dozermaq, donde he tenido la oportunidad de desarrollar mis habilidades profesionales y adquirir conocimientos valiosos en el campo del mantenimiento preventivo y análisis de aceite. Su apoyo constante y su ambiente de trabajo colaborativo han sido fundamentales para la realización de esta monografía.

Agradezco también a nuestros clientes, Construcciones Marval y Concremóvil, por confiar en los servicios de Dozermaq y por permitirnos llevar a cabo este estudio. Su colaboración y disposición para compartir información relevante han sido cruciales para el éxito de este trabajo.

Sin el apoyo de estas organizaciones, este proyecto no habría sido posible.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción.....	14
1. Objetivos.....	16
1.1 Objetivo General .....	16
1.2 Objetivos Específicos .....	16
2. Literatura recopilada .....	17
2.1 Marco teórico. ....	17
2.1.1 Estrategias de mantenimiento preventivo en maquinaria y equipo móviles.....	17
2.1.2 Análisis de muestras de aceite.....	18
2.1.3 Extensión del periodo de cambio de aceites. ....	18
2.1.4 Impacto económico del mantenimiento preventivo en maquinaria y equipos móviles. ....	19
2.1.5 Diferencias entre mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. ....	20
3. Metodología.....	20
3.1 Efectividad del análisis de muestras de aceite .....	20
3.1.1 Revisión de la literatura.....	20
3.1.2 Recolección de datos .....	21
3.1.3 Análisis de tendencias .....	21
3.2 Impacto económico .....	21
3.2.1 Obtención de datos sobre costos .....	21
3.2.2 Evaluación de costos posteriores.....	21
3.2.3 Comparación de costos .....	21
3.3 Disponibilidad y confiabilidad de equipos .....	22

3.3.1 Recolección de datos sobre disponibilidad.....	22
3.3.2 Análisis posterior a la implementación .....	22
3.3.3 Evaluación de impacto.....	22
4. Resultados.....	22
4.1 Efectividad del análisis de muestras de aceite .....	22
4.1.1 Análisis de datos.....	22
4.1.1.1 Resumen de las empresas involucradas.....	23
4.1.1.2 Equipos analizados. ....	23
4.1.1.3 Frecuencia de análisis de aceite. ....	24
4.1.1.4 Resultados de análisis de muestras de aceite. ....	25
4.1.1.5 Períodos de cambio de aceite. ....	25
4.1.2 Análisis de los resultados de las muestras de aceite.....	26
4.1.2.1 Resultados de muestras de aceite por equipo.....	26
4.1.2.1.1 Muestras de aceite: Mixer Interantional – TRL941.....	26
4.1.2.1.2 Muestras de aceite: Mixer Interantional – WOP175 .....	28
4.1.2.1.3 Muestras de aceite: Mixer Interantional – TRM313 .....	29
4.1.2.1.4 Muestras de aceite: Mixer Interantional – TRM280 .....	30
4.1.2.1.5 Muestras de aceite: Mixer Interantional – SMG884 .....	31
4.1.2.1.6 Muestras de aceite: Mixer Interantional – WPS862.....	32
4.1.2.1.7 Muestras de aceite: Mixer Interantional – ERK988.....	33
4.1.2.1.8 Muestras de aceite: Mixer Interantional – FST349.....	34
4.1.2.1.9 Muestras de aceite: Volqueta Interantional – TTT274.....	35
4.1.2.1.10 Muestras de aceite: Volqueta Freighliner – TTT560.....	36

4.1.2.1.11 Muestras de aceite: minicargador S530 – N28.....	37
4.1.2.1.12 Muestras de aceite: minicargador S530 – N41.....	38
4.1.2.1.13 Muestras de aceite: minicargador S570 – N38.....	39
4.1.2.1.14 Muestras de aceite: minicargador S570 – N39.....	40
4.1.3 Análisis tendencial de las muestras de aceite.....	41
4.1.3.1 Comparación del rendimiento del aceite por tipo de flota.....	41
4.1.3.1.1 Tendencias de los resultados muestras de aceite, mixer Concremóvil.....	41
4.1.3.1.2 Tendencias de los resultados muestras de aceite, minicargadores Construcciones Marval. .....	46
4.1.3.1.3 Tendencias de los resultados muestras de aceite, volquetas Construcciones Marval. ...	50
4.1.3.2 Tendencias en los parámetros monitoreados. ....	54
4.1.3.3 Comparación global del desempeño de los clientes: .....	55
4.2 Impacto económico de la extensión del periodo de cambio de aceite.....	56
4.2.1 Obtención de datos sobre los costos de mantenimiento .....	56
4.2.2 Evaluación de costos luego de la extensión del periodo de cambio de los aceites. ....	57
4.2.2.1 Proyección de ahorro a toda la flota .....	60
4.3 Disponibilidad de los equipos.....	61
4.3.1 Recolección de datos sobre disponibilidad.....	61
4.3.2 Análisis de disponibilidad de equipos, luego de implementación .....	62
5. Conclusiones.....	63
6. Recomendaciones.....	65
Referencias Bibliográficas.....	67
Apéndice.....	69

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Equipos seleccionados para análisis de muestras de aceite, cliente Concremóvil .....	24
Tabla 2. Equipos seleccionados para análisis de muestras de aceite, cliente Construcciones Marval .....	24
Tabla 3. Calculadora de ahorro, Construcciones Marval. ....	59
Tabla 4. Calculadora de ahorro, Concremóvil.....	60

### Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 0.1 Resultados muestras de aceite, mixer TRL941 .....	27
Figura 0.2. <i>Resultados muestras de aceite, mixer WOP175</i> .....	28
Figura 0.3. <i>Resultados muestras de aceite, mixer TRM313</i> .....	29
Figura 0.4. <i>Resultados muestras de aceite, mixer TRM280</i> .....	30
Figura 0.5. <i>Resultados muestras de aceite, mixer SMG884</i> .....	31
Figura 0.6. <i>Resultados muestras de aceite, mixer WPS862</i> .....	32
Figura 0.7. <i>Resultados muestras de aceite, mixer ERK988</i> .....	33
Figura 0.8. <i>Resultados muestras de aceite, mixer FST349</i> .....	34
Figura 0.9. <i>Resultados muestras de aceite, volqueta TTT274</i> .....	35
Figura 0.10. <i>Resultados muestras de aceite, volqueta TTT560</i> .....	36
Figura 0.11. <i>Resultados muestras de aceite, minicargador N 28</i> .....	37
Figura 0.12. <i>Resultados muestras de aceite, minicargador N 41</i> .....	38
Figura 0.13. <i>Resultados muestras de aceite, minicargador N 38</i> .....	39
Figura 0.14. Resultados muestras de aceite, minicargador N 39.....	40
Figura 0.15 Tendencia de la viscosidad. Mixers - Concremóvil. Margarita G. 2024.....	42
Figura 0.16 Tendencia de la oxidación. Mixers - Concremóvil. Margarita G. 2024.....	42
Figura 0.17 Tendencia dilución de combustible. Mixers - Concremóvil. Margarita G. 2024. ....	43
Figura 0.18 Tendencia contaminación de agua. Mixers - Concremóvil. Margarita G. 2024. ....	43
Figura 0.19 Tendencia contaminación por sílice. Mixers - Concremóvil. Margarita G. 2024.....	44
Figura 0.20 Tendencia contaminación por hierro. Mixer - Concremóvil. Margarita G. 2024. ....	44
Figura 0.21 Tendencia contaminación por cobre. Mixer - Concremóvil. Margarita G. 2024.....	45

Figura 0.22	Tendencia contaminación por plomo. Mixer - Concremóvil. Margarita G. 2024. ...	45
Figura 0.23	Tendencia de la viscosidad. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024. ....	46
Figura 0.24	Tendencia de la oxidación. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024.....	47
Figura 0.25	Tendencia dilución de combustible. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024.	47
Figura 0.26	Tendencia contaminación por agua. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024.	48
Figura 0.27	Tendencia contaminación por sílice. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024. .....	48
Figura 0.28	Tendencia contaminación por hierro. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024. .....	49
Figura 0.29	Tendencia contaminación por cobre. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024	49
Figura 0.30	Tendencia contaminación por plomo. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024 .....	50
Figura 0.31	Tendencia de la viscosidad. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024. ....	51
Figura 0.32	Tendencia de la oxidación. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024. ....	51
Figura 0.33	Tendencia dilución de combustible. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024.....	52
Figura 0.34	Tendencia contaminación por agua. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024.....	52
Figura 0.35	Tendencia contaminación por sílice. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024.....	53
Figura 0.36	Tendencia contaminación por hierro. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024.....	53
Figura 0.37	Tendencia contaminación por cobre. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024. ....	54
Figura 0.38	Tendencia contaminación por plomo. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024. ....	54

### Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos en una carpeta.

	<b>pág.</b>
Apéndice A. Resultados de Muestras de Aceite – Concremóvil .....	69
Apéndice B. Resultados de Muestras de Aceite – Construcciones Marval.....	69
Apéndice C. Tendencias de los resultados de las muestras de aceite .....	69
Apéndice D. Calculadora de Ahorros – Extensión del período de cambio.....	69
Apéndice E. Autorización de uso de datos.....	69

## Glosario

**Viscosidad:** indica la resistencia del aceite a fluir. Un cambio en la viscosidad puede señalar contaminación o degradación del aceite (Boyd & Drewry, 2013).

**Contaminación:** presencia de partículas extrañas, agua o combustibles en el aceite que pueden afectar su rendimiento (Huang et al., 2016).

**Desgaste de partículas:** indicador de la fricción y desgaste de los componentes internos del motor.

**Espectrometría de emisión atómica:** para detectar metales desgastados en el aceite.

**Análisis de viscosidad:** para determinar la degradación del aceite.

**Análisis de contaminantes:** para identificar la presencia de agua, combustible o partículas sólidas (Smith & Martin, 2015).

**Índice de acidez total (TAN):** aumenta con la oxidación del aceite.

**Índice de alcalinidad total (TBN):** disminuye con la neutralización de ácidos.

**Costos directos:** gastos en repuestos, mano de obra y materiales (Tsang, 2002).

Costos indirectos: pérdidas por tiempo de inactividad, reducción de la productividad y gastos administrativos (Lindley, 2009).

**Análisis costo-beneficio:** comparación de los costos de implementación de estrategias de mantenimiento preventivo versus los ahorros obtenidos.

**Evaluación de costos del ciclo de vida:** estimación de todos los costos asociados con la vida útil del equipo, considerando el impacto del mantenimiento preventivo en la extensión de dicha vida útil.

## Resumen

**Título:** Evaluación del impacto del análisis de muestras de aceite en motores diésel sobre la operación y reducción de costos en los sectores de construcción y cemento: Clientes de Dozermaq\*

**Autor:** Margarita Rosa Gonzalez Locarno\*\*

**Palabras Clave:** Mantenimiento preventivo, análisis de aceite, reducción de costos, disponibilidad de equipos, construcción, cemento, Dozermaq.

**Descripción:** Este estudio analiza el impacto de la estrategia de extensión del período de cambio de aceite mediante el análisis de muestras de aceite en motores diésel, aplicada en los sectores de construcción y cemento para los clientes de Dozermaq; Concremóvil y Construcciones Marval. El objetivo principal fue evaluar el rendimiento del aceite, identificar la reducción de costos de mantenimiento y medir la mejora en la disponibilidad operativa de los equipos involucrados. Los resultados del análisis indican que la estrategia implementada por Dozermaq permitió una significativa reducción en los costos de mantenimiento, con un ahorro estimado del 31% en Concremóvil y del 24% en Construcciones Marval. Además, se observó una mejora notable en la disponibilidad de los equipos, especialmente en Construcciones Marval, donde el tiempo de inactividad debido a mantenimientos preventivos se redujo en más del 50% para algunos equipos, como los minicargadores y volquetas. En Concremóvil, aunque los mantenimientos no afectaban directamente la disponibilidad debido a su realización en días no laborables, la estrategia de monitoreo continuo permitió prevenir fallas imprevistas. El análisis de las muestras de aceite confirmó que los niveles de contaminantes y la viscosidad del lubricante se mantuvieron dentro de los parámetros aceptables, lo que asegura la prolongación segura de los intervalos de cambio sin comprometer el rendimiento ni la fiabilidad del motor. Este enfoque no solo optimiza los recursos financieros, sino que también mejora la sostenibilidad operativa al reducir la frecuencia de los cambios de aceite, minimizando el uso de materiales y los residuos generados.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez. Doctor en Ingeniería Química

### Abstract

**Title:** “Evaluation of the impact of oil sample analysis on diesel engines regarding operations and cost reduction in the construction and cement sectors: Clients of Dozermaq\*

**Author(s):** Margarita Rosa Gonzalez Locarno\*\*

**Key Words:** Preventive maintenance, oil analysis, cost reduction, equipment availability, construction, cement, Dozermaq.

**Description:** This study analyzes the impact of the strategy to extend the oil change interval through oil sample analysis in diesel engines, applied in the construction and cement sectors for Dozermaq's clients: Concremóvil and Construcciones Marval. The main objective was to evaluate oil performance, identify maintenance cost reductions, and measure improvements in the operational availability of the involved equipment. The analysis results indicate that the strategy implemented by Dozermaq allowed for a significant reduction in maintenance costs, with an estimated savings of 31% for Concremóvil and 24% for Construcciones Marval. Additionally, a notable improvement in equipment availability was observed, especially in Construcciones Marval, where downtime due to preventive maintenance was reduced by more than 50% for some equipment, such as the mini-loaders and trucks. In Concremóvil, although maintenance did not directly affect availability since it was performed on non-working days, the continuous monitoring strategy helped prevent unexpected failures. The analysis of the oil samples confirmed that contaminant levels and lubricant viscosity remained within acceptable parameters, ensuring the safe prolongation of change intervals without compromising engine performance or reliability. This approach not only optimizes financial resources but also enhances operational sustainability by reducing the frequency of oil changes, thereby minimizing material use and generated waste.

---

\* Degree Work

\*\* School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: PhD Yesid Javier Rueda Ordoñez.

## Introducción

En el sector de construcción y cemento, la eficiencia en la operación y el mantenimiento de equipos son cruciales para asegurar la continuidad de las actividades y minimizar los costos asociados. La gestión efectiva de los equipos de maquinaria es esencial para mantener la productividad y reducir el impacto económico de las fallas inesperadas. En este contexto, Dozermaq ha propuesto una estrategia de mantenimiento preventivo centrada en la extensión del período de cambio de aceite mediante el análisis de muestras. Esta propuesta busca mejorar la gestión de activos y reducir los gastos operativos a través de un enfoque más fundamentado y basado en datos.

La relevancia de esta investigación radica en la necesidad de evaluar si la extensión del período de cambio de aceite, respaldada por el análisis de muestras, realmente conduce a una mejora significativa en la operación y una reducción efectiva de los costos de mantenimiento en empresas de los sectores de construcción y cemento. Aunque esta estrategia promete una solución potencial, persisten interrogantes sobre su verdadera efectividad. Por ello, es crucial realizar una evaluación exhaustiva para determinar si esta técnica contribuye a la mejora de la disponibilidad de los equipos y a una disminución tangible de los costos operativos.

La investigación tiene como propósito abordar estos interrogantes, proporcionando una evaluación detallada del impacto de la estrategia propuesta por Dozermaq. La hipótesis central de este estudio es que la prolongación del período de cambio de aceite mediante análisis de muestras puede resultar en una mejora en la disponibilidad de los equipos y una reducción de los costos

operativos. Para comprobar esta hipótesis, se llevarán a cabo análisis comparativos antes y después de la implementación de la estrategia, se cuantificarán los ahorros en costos y se evaluará el impacto en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

La justificación del estudio se basa en la importancia de mejorar la gestión de mantenimiento en sectores clave de la economía. La posibilidad de extender los intervalos entre cambios de aceite no solo tiene el potencial de reducir costos, sino también de contribuir a la sostenibilidad ambiental al disminuir la generación de desechos. Este análisis proporcionará datos valiosos para las empresas del sector, permitiéndoles tomar decisiones más informadas y fundamentadas en sus estrategias de mantenimiento. Para Dozermaq, la validación de esta estrategia fortalecerá su propuesta de valor en el mercado y ofrecerá una base sólida para futuras aplicaciones y ajustes de su enfoque preventivo.

En resumen, esta investigación busca proporcionar una evaluación comprensiva del impacto de la extensión del período de cambio de aceite, contribuyendo a una mejor gestión de activos y a la reducción de costos operativos en los sectores de construcción y cemento. La información obtenida permitirá mejorar las prácticas de mantenimiento y ofrecer beneficios tanto económicos como ambientales.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Evaluar el impacto de la extensión del período de cambio de aceite mediante el análisis de muestras en los motores diésel de los clientes de Dozermaq en los sectores de construcción y cemento en términos de reducción de costos y disponibilidad de equipos.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Determinar la efectividad del análisis de muestras de aceite como herramienta para extender los períodos de cambio de aceite en motores diésel en los sectores de construcción y cemento.

Cuantificar el impacto económico de la extensión del período de cambio de aceite en términos de reducción de costos operativos para las empresas clientes de Dozermaq.

Analizar el impacto de la extensión del período de cambio de aceite en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos en los sectores de construcción y cemento.

## 2. Literatura recopilada

### 2.1 Marco teórico.

#### 2.1.1 Estrategias de mantenimiento preventivo en maquinaria y equipo móviles.

El mantenimiento preventivo es esencial en la gestión de maquinaria y equipos móviles, especialmente en sectores como la construcción, cemento y transporte. Según Blanchard y Fabrycky (2006), el mantenimiento preventivo implica intervenciones planificadas y sistemáticas para mantener los equipos en condiciones óptimas y evitar fallas inesperadas. Este enfoque es vital para garantizar la disponibilidad y fiabilidad de los equipos móviles, que son fundamentales para la continuidad operativa.

Mobley (2002) destaca que el mantenimiento preventivo en maquinaria móvil incluye actividades como inspecciones regulares, ajustes y reemplazos programados, lo que ayuda a minimizar el tiempo de inactividad y los costos de reparación. Además, Kumar y Suresh (2008) enfatizan que la implementación de programas de mantenimiento preventivo mejora significativamente la eficiencia operativa y la vida útil de los equipos móviles.

Cárdenas y Pineda (2012) han estudiado el impacto del mantenimiento preventivo en la flota de equipos móviles en la industria petrolera venezolana, demostrando que estas prácticas reducen las fallas y optimizan la disponibilidad operativa. De manera similar, Fernández y Gutiérrez (2013) analizaron la efectividad del mantenimiento preventivo en la industria de transporte de Colombia, encontrando mejoras en la fiabilidad y reducción de costos operativos.

### ***2.1.2 Análisis de muestras de aceite.***

El análisis de muestras de aceite es una técnica clave en el mantenimiento predictivo de maquinaria y equipos móviles. Según Boyd y Drewry (2013), el análisis de aceite permite evaluar la condición del lubricante y detectar problemas potenciales en una etapa temprana. Este análisis incluye la medición de parámetros como la viscosidad, la presencia de contaminantes y el desgaste de componentes, utilizando técnicas como la espectrometría de emisión atómica.

Huang, Rao y Shang (2016) explican que el análisis de aceite ayuda a identificar problemas de lubricación antes de que provoquen fallas mayores, permitiendo una planificación más efectiva del mantenimiento. En el sector de equipos móviles, esta técnica es crucial para mantener la operatividad y prolongar la vida útil de motores y otros componentes críticos.

Pérez y Ramírez (2014) investigaron el uso del análisis de aceite en la flota de camiones de la industria minera chilena, demostrando que esta práctica mejora la fiabilidad de los equipos y reduce los costos de mantenimiento. Asimismo, García y López (2016) documentaron los beneficios del análisis de aceite en la flota de transporte público en México, destacando la reducción de fallas mecánicas y el aumento de la eficiencia operativa.

### ***2.1.3 Extensión del periodo de cambio de aceites.***

Extender el período de cambio de aceite en maquinaria y equipos móviles es una estrategia basada en el análisis continuo del estado del aceite en uso. Según Smith y Martin (2015), esta práctica optimiza el uso del lubricante y reduce la frecuencia de cambios de aceite innecesarios, lo que se traduce en ahorros significativos y en una gestión más sostenible de los recursos.

Johnson, Lee y Moore (2017) encontraron que extender los intervalos de cambio de aceite, respaldado por análisis de aceite regulares, no compromete el rendimiento de los motores y puede reducir los costos operativos en hasta un 25%. Esta estrategia es especialmente relevante para

equipos móviles en sectores como el transporte y la construcción, donde los motores diésel están sujetos a condiciones operativas severas.

Fernández y Gutiérrez (2013) analizaron los beneficios de extender los intervalos de cambio de aceite en la flota de vehículos comerciales en Colombia, encontrando una reducción significativa en los costos operativos y en el consumo de aceite. Hernández y Martínez (2015) también destacaron la efectividad de esta práctica en la industria de transporte público en Perú, resaltando la disminución de costos y la mejora en la disponibilidad de los equipos.

#### ***2.1.4 Impacto económico del mantenimiento preventivo en maquinaria y equipos móviles.***

El impacto económico del mantenimiento preventivo en maquinaria y equipos móviles se refleja en la reducción de costos y en la mejora de la disponibilidad operativa. Tsang (2002) enfatiza que una gestión efectiva del mantenimiento preventivo puede resultar en ahorros significativos, no solo en costos de reparación y repuestos, sino también en términos de productividad y reducción del tiempo de inactividad.

Lindley (2009) añade que los programas de mantenimiento preventivo, al prolongar la vida útil de los equipos móviles, permiten un mejor retorno de inversión (ROI) y una mayor eficiencia económica. Este enfoque es particularmente importante en sectores como el transporte y la construcción, donde los costos de inactividad pueden ser muy altos.

Gómez y Rodríguez (2014) estudiaron el impacto económico del mantenimiento preventivo en la flota de equipos móviles de la industria minera brasileña, demostrando una relación directa entre la implementación de estas prácticas y la reducción de costos operativos. Rivas y Escobar (2015) también documentaron los beneficios económicos del mantenimiento preventivo en la industria de transporte en Argentina, concluyendo que estas estrategias mejoran la fiabilidad de los equipos y optimizan el uso de recursos.

### ***2.1.5 Diferencias entre mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.***

Mantenimiento preventivo: El mantenimiento preventivo se define como un conjunto de actividades planificadas y sistemáticas para prevenir fallas y mantener los equipos móviles en condiciones operativas óptimas (Blanchard & Fabrycky, 2006). Su objetivo es maximizar la disponibilidad y fiabilidad de los equipos, minimizando el tiempo de inactividad y los costos asociados.

Mantenimiento correctivo: Acciones correctivas tomadas después de una falla para restaurar el funcionamiento del equipo (Mobley, 2002).

Mantenimiento predictivo: Basado en la monitorización del estado del equipo para anticipar y prevenir fallas, utilizando herramientas como el análisis de aceite (Boyd & Drewry, 2013).

## **3. Metodología**

La metodología empleada en esta investigación se enfoca en evaluar la efectividad del análisis de muestras de aceite para extender el período de cambio de aceite en motores diésel y su impacto económico y operativo. El estudio se divide en tres áreas principales: efectividad del análisis de muestras de aceite, impacto económico y disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

### **3.1 Efectividad del análisis de muestras de aceite**

#### ***3.1.1 Revisión de la literatura***

Se realizó una revisión de la literatura existente sobre el análisis de muestras de aceite y su aplicación en la extensión de períodos de cambio en motores diésel.

### ***3.1.2 Recolección de datos***

Se recopilaron datos sobre la frecuencia y los resultados de los análisis de aceite antes y después de la implementación de la estrategia de Dozermaq. Para ello, se obtuvieron registros de los análisis realizados en los equipos de Construcciones Marval (3 volquetas y 4 minicargadores) y Concremóvil (8 mixer).

### ***3.1.3 Análisis de tendencias***

Los datos obtenidos fueron analizados para identificar tendencias y comparar los resultados pre y post implementación. Se evaluó la efectividad del análisis de muestras en la extensión del período de cambio de aceite mediante gráficos y análisis estadísticos.

## **3.2 Impacto económico**

### ***3.2.1 Obtención de datos sobre costos***

Se reunieron datos sobre los costos de mantenimiento antes de la implementación de la estrategia. Esto incluyó gastos relacionados con cambios de aceite y otros costos operativos asociados.

### ***3.2.2 Evaluación de costos posteriores***

Se analizaron los costos de mantenimiento después de la implementación de la extensión del período de cambio de aceite. Se identificaron y cuantificaron los ahorros obtenidos.

### ***3.2.3 Comparación de costos***

Se realizó una comparación de los costos operativos pre y post implementación para calcular el impacto económico de la estrategia. Los datos de Construcciones Marval y Concremóvil fueron utilizados para determinar los beneficios financieros de la estrategia.

### **3.3 Disponibilidad y confiabilidad de equipos**

#### ***3.3.1 Recolección de datos sobre disponibilidad***

Se obtuvieron datos sobre la disponibilidad de los equipos antes de la implementación de la estrategia, incluyendo tiempos de inactividad y fallas.

#### ***3.3.2 Análisis posterior a la implementación***

Se evaluó la disponibilidad y confiabilidad de los equipos después de la extensión del período de cambio de aceite. Se compararon los datos de los equipos de Construcciones Marval y Concremóvil para determinar el impacto en la operatividad y confiabilidad.

#### ***3.3.3 Evaluación de impacto***

Se evaluó cómo la estrategia de extensión del período de cambio de aceite afectó la disponibilidad operativa y la confiabilidad de los equipos en los sectores de construcción y cemento. Los resultados se presentaron mediante análisis descriptivos y gráficos comparativos.

## **4. Resultados**

### **4.1 Efectividad del análisis de muestras de aceite**

#### ***4.1.1 Análisis de datos***

En la primera fase del análisis, se recolectaron datos sobre la frecuencia de análisis de aceite y los resultados obtenidos en los equipos de Construcciones Marval y Concremóvil. Esta recolección de datos se centró en los cambios observados tras la implementación de la estrategia de extensión de los períodos de cambio de aceite propuesta por Dozermaq, dado que no existían registros previos de análisis sistemáticos de muestras de aceite.

La estrategia consistió en la introducción de un análisis periódico y detallado de las muestras de aceite, para evaluar la posibilidad de extender los intervalos de cambio de lubricante sin comprometer la integridad de los equipos.

**4.1.1.1 Resumen de las empresas involucradas.** Concremóvil es una compañía especializada en la producción de concreto de alta calidad, que provee a la industria de la construcción en toda Colombia. Con modernas plantas automatizadas, aporta a la productividad y competitividad de sus clientes. Además, ofrece soluciones móviles instaladas en el sitio según las necesidades específicas de cada proyecto. Los equipos atendidos por Dozermaq pertenecen a las sedes de Sabanagrande, Sabanalarga, Galapa, Ciénaga y Fundación, donde cuentan con una flota de 35 mixers, operando un promedio de 210 horas mensuales. Para este estudio, se seleccionó una muestra representativa de estos equipos para el análisis de muestras de aceite.

Construcciones Marval es una constructora colombiana con más de 40 años de experiencia, consolidada como una de las más grandes y reconocidas del país. Tiene el mayor número de proyectos en comercialización a nivel nacional y presencia en 13 ciudades, contribuyendo al desarrollo económico de Colombia. Los equipos atendidos por Dozermaq se encuentran en las sedes de Barranquilla, Cartagena y Soledad, consistiendo en 19 minicargadores y 4 volquetas, con una operación aproximada de 140 horas mensuales para los minicargadores y 180 horas mensuales para las volquetas. Para este estudio, se seleccionó una muestra representativa de estos equipos para el análisis de muestras de aceite.

**4.1.1.2 Equipos analizados.** Los equipos seleccionados para este análisis fueron los siguientes: Concremovil: 8 mixers encargados de transportar y mezclar hormigón en diversas obras de construcción.

**Tabla 1. Equipos seleccionados para análisis de muestras de aceite, cliente Concremóvil**

Placa	Tipo	Marca	Línea	Modelo
TRL941	Mixer	International	Workstar 7600	2014
WOP175	Mixer	International	Workstar 7600	2019
TRM313	Mixer	International	Workstar 7600	2015
TRM280	Mixer	International	Workstar 7600	2015
SMG884	Autobomba	International	Workstar 7600	2016
WPS862	Mixer	International	Workstar 7600	2016
ERK988	Mixer	International	Workstar 7600	2018
FST349	Mixer	International	Workstar 7600	2018

Construcciones Marval: 2 volquetas y 4 minicargadores, todos empleados en proyectos de movimiento de tierra y construcción de infraestructura.

**Tabla 2. Equipos seleccionados para análisis de muestras de aceite, cliente Construcciones****Marval**

Nº Interno	Tipo	Marca	Línea	Modelo
TTT274	Volqueta	International	Workstar 7600	2014
TTT560	Volqueta	Freighliner	M2 112	2014
N 28	Minicargador	Bobcat	S530	2015
N 41	Minicargador	Bobcat	S530	2016
N 38	Minicargador	Bobcat	S570	2015
N 39	Minicargador	Bobcat	S570	2015

**4.1.1.3 Frecuencia de análisis de aceite.** Antes de la intervención de Dozermag, los cambios de aceite se realizaban basándose únicamente en las recomendaciones del fabricante, sin una frecuencia establecida para los análisis de aceite. Tras la implementación de la estrategia, los análisis de aceite se realizaron cada vez que se llevaba a cabo un cambio de aceite. Los datos de las muestras tomadas fueron los siguientes:

**Concremovil:** Se realizaron un total de 46 análisis de aceite durante el período de estudio.

**Construcciones Marval:** Se realizaron un total de 84 análisis de aceite durante el período de estudio.

**4.1.1.4 Resultados de análisis de muestras de aceite.** Para cada equipo, se registraron los siguientes parámetros clave en los análisis de aceite:

**Niveles de contaminantes:** Se midieron las partículas metálicas, polvo y agua presentes en el aceite, expresadas en partes por millón (ppm). Estos contaminantes se evaluaron para determinar el desgaste del motor y la posible presencia de contaminantes externos, como agua o suciedad.

**Viscosidad:** Se midió la viscosidad del aceite a 40°C y 100°C, conforme a las normativas internacionales, para detectar cualquier cambio en las propiedades del lubricante que pudiera indicar degradación o pérdida de efectividad.

**Aditivos desgastados:** Se analizaron los niveles de aditivos como zinc, fósforo y calcio, que actúan como protectores del motor, y cuya disminución podría indicar desgaste excesivo del aceite.

**4.1.1.5 Períodos de cambio de aceite.** Antes de la implementación de la estrategia de Dozermaq, los períodos de cambio de aceite recomendados por los fabricantes eran los siguientes:

**Concremovil:** El período de cambio de aceite era de aproximadamente 700 Horas

**Construcciones Marval:** El período de cambio de aceite se recomendaba cada 250 Horas. Posteriormente, tras los análisis de laboratorio y la implementación de la estrategia de Dozermaq, se recomendó la extensión de los períodos de cambio de aceite a:

**Concremovil:** 850 – 900 horas.

**Construcciones Marval:** 275 – 300 horas para los minicargadores. 350 – 400 horas para las volquetas.

Estos nuevos intervalos de cambio fueron aplicados de manera progresiva a todos los equipos, con el fin de evaluar los resultados.

#### ***4.1.2 Análisis de los resultados de las muestras de aceite***


Una vez recopilados los datos, se llevó a cabo un análisis con el fin de revisar los resultados post-implementación de la estrategia de Dozermaq.

**4.1.2.1 Resultados de muestras de aceite por equipo.** En esta sección se presentan los resultados detallados obtenidos a partir de los análisis de aceite realizados por Polaris Laboratorio para los equipos de Construcciones Marval y Concremóvil. Los datos obtenidos incluyen niveles de contaminantes, viscosidad y estado de los aditivos

Dozermaq fue responsable de tomar las muestras de aceite en cada mantenimiento ejecutado, y estas fueron enviadas a Polaris Laboratorio para su análisis. A continuación, se insertan imágenes de los informes proporcionados por el laboratorio, que muestran los resultados obtenidos. Estas imágenes facilitan la visualización directa de los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio, y sirven como base para el análisis que se lleva a cabo a lo largo de esta sección.

***4.1.2.1.1 Muestras de aceite: Mixer Interantional – TRL941.*** En este equipo se realizaron cinco análisis de muestras de aceite desde enero de 2023 hasta agosto de 2024. Se observó que el intervalo entre los cambios de aceite fue aumentando progresivamente con el tiempo. El último resultado obtenido no muestra ningún resultado anormal, lo que sugiere que el aceite mantuvo sus propiedades dentro de los parámetros recomendados durante todo el período de análisis.

Figura 0.1 Resultados muestras de aceite, mixer TRL941



### Reporte de Análisis de Lubricante

North America: +1-866-301-9229  
Latin America: +1-317-808-1456

0	1	2	3	4
NORMAL	ANORMAL	CRÍTICO		

Severidad General del Reporte

Información de Cuenta			Información del Componente			Información de muestra		
Número de cuenta: VALVLA-0041-0013 Nombre de CONCREMOVIL Compañía: Contacto: Dirección: , CO CO Teléfono:			ID de Componente: TRL 941 - MOTOR ID Secundaria: MIXER INTERNATIONAL 7600 Filtro de tipo de DIESEL ENGINE componente: Fabricante: NAVISTAR Modelo: 7600 Aplicación: CEMENT PLANT Capacidad de 11 galón sumidero:			Número de Huella: 24151M15886 Número de laboratorio: B-189834 Localización de Bogota Laboratorio: Analista de Datos: ARF Tomada: 07-jul-2024 Registrado: 10-jul-2024 Recibido: 15-jul-2024 Completado: 16-jul-2024		
Información de filtro			Información del Producto			Información del Producto		
Tipo de filtro: <a href="#">Informacion solicitada</a> Índice de Micrón: 0						Fabricante del Producto: TOTAL Nombre del Producto: RUBIA OPTIMA 1100 FE CK-4 Grado de Viscosidad: SAE 15W40		
Comentarios			Los datos no indican ningún resultado anormal. Tomar una nueva muestra en el próximo intervalo de cambio; Se reconoció el cambio de filtro y lubricante;					

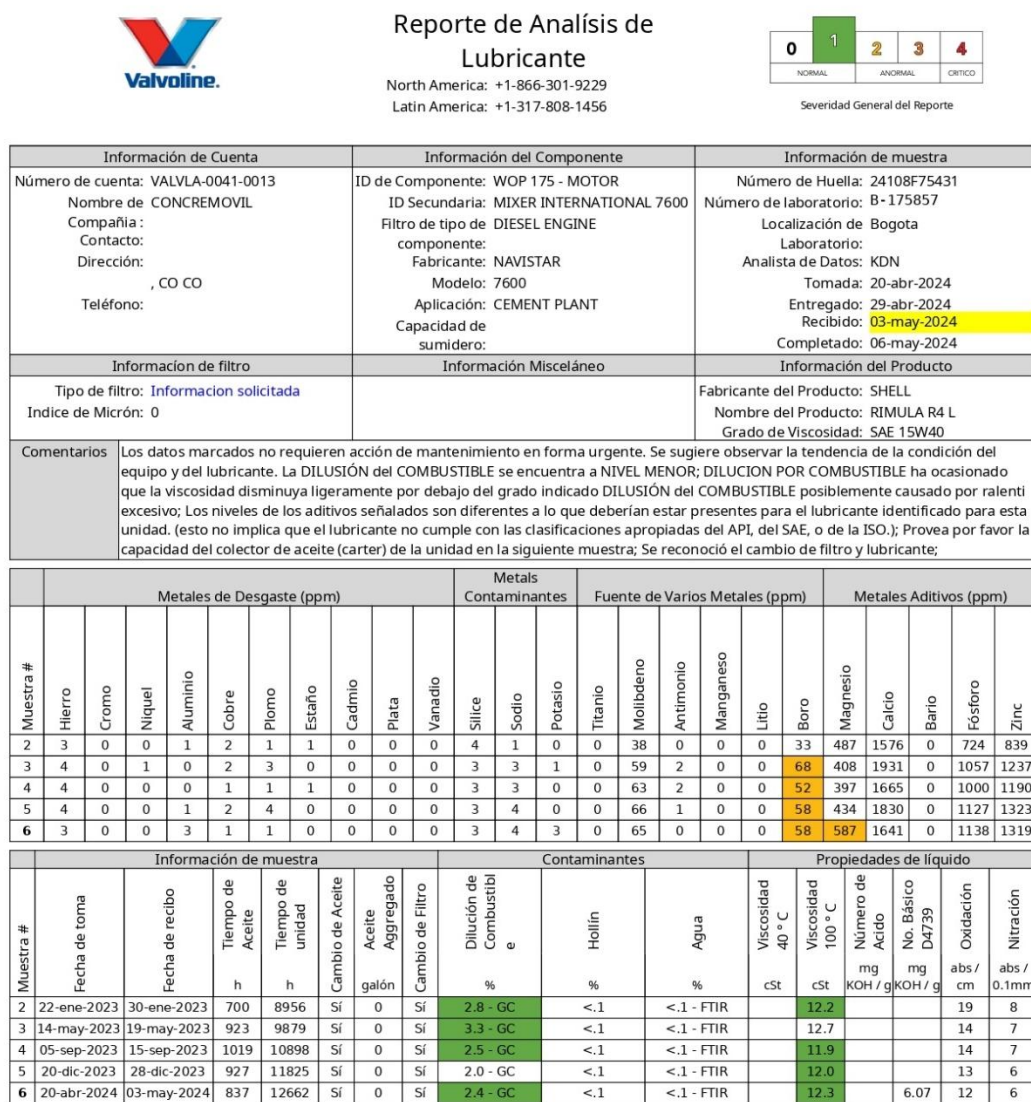
Muestra #	Metales de Desgaste (ppm)										Metals Contaminantes			Fuente de Varios Metales (ppm)					Metales Aditivos (ppm)					
	Hierro	Cromo	Niquel	Aluminio	Cobre	Plomo	Estaño	Cadmio	Plata	Vanadio	Silice	Sodio	Potasio	Titanio	Molibdeno	Antimonio	Manganeso	Litio	Boro	Magnesio	Calcio	Bario	Fósforo	Zinc
1	8	1	0	2	3	1	0	0	0	0	4	3	0	0	39	0	0	0	22	512	1634	0	680	860
2	7	0	0	1	2	0	0	0	0	0	4	3	1	0	65	0	0	0	64	393	2059	0	1082	1282
3	7	1	0	0	2	0	0	0	0	0	4	1	0	0	67	0	0	0	91	389	1729	0	1008	1171
4	8	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4	2	0	0	68	2	0	0	112	407	1694	0	1174	1244
5	9	1	0	3	2	0	0	0	0	0	5	2	3	0	65	3	0	0	70	505	1664	0	1170	1316

Muestra #	Información de muestra						Contaminantes			Propiedades de líquido						
	Fecha de toma	Fecha de recibo	Tiempo de Aceite h	Tiempo de unidad h	Cambio de Aceite	Aceite Agregado galón	Cambio de Filtro	Dilución de Combustible %	Hollin %	Agua %	Viscosidad 40 ° C cSt	Viscosidad 100 ° C cSt	Número de Acido mg KOH / g	No. Básico D4739 mg KOH / g	Oxidación abs / cm	Nitración abs / 0.1mm
1	15-ene-2023	18-ene-2023	700	19720	Sí	0	Sí	<2 - Estimado	0.8 - E2412	<.1 - FTIR		13.0			18	8
2	11-jun-2023	20-jun-2023	864	20584	Sí	0	Sí	<2 - Estimado	0.8 - E2412	<.1 - FTIR		13.7			12	7
3	01-oct-2023	05-oct-2023	952	21536	Sí	0	Sí	<2 - Estimado	0.9 - E2412	<.1 - FTIR		13.8			13	7
4	04-feb-2024	26-feb-2024	862	22398	Sí	0	Sí	<2 - Estimado	0.7 - E2412	<.1 - FTIR		13.4		5.54	12	6
5	07-jul-2024	15-jul-2024	852	23250	Sí	0	Sí	<2 - Estimado	0.9 - E2412	<.1 - FTIR		13.6		5.86	13	7

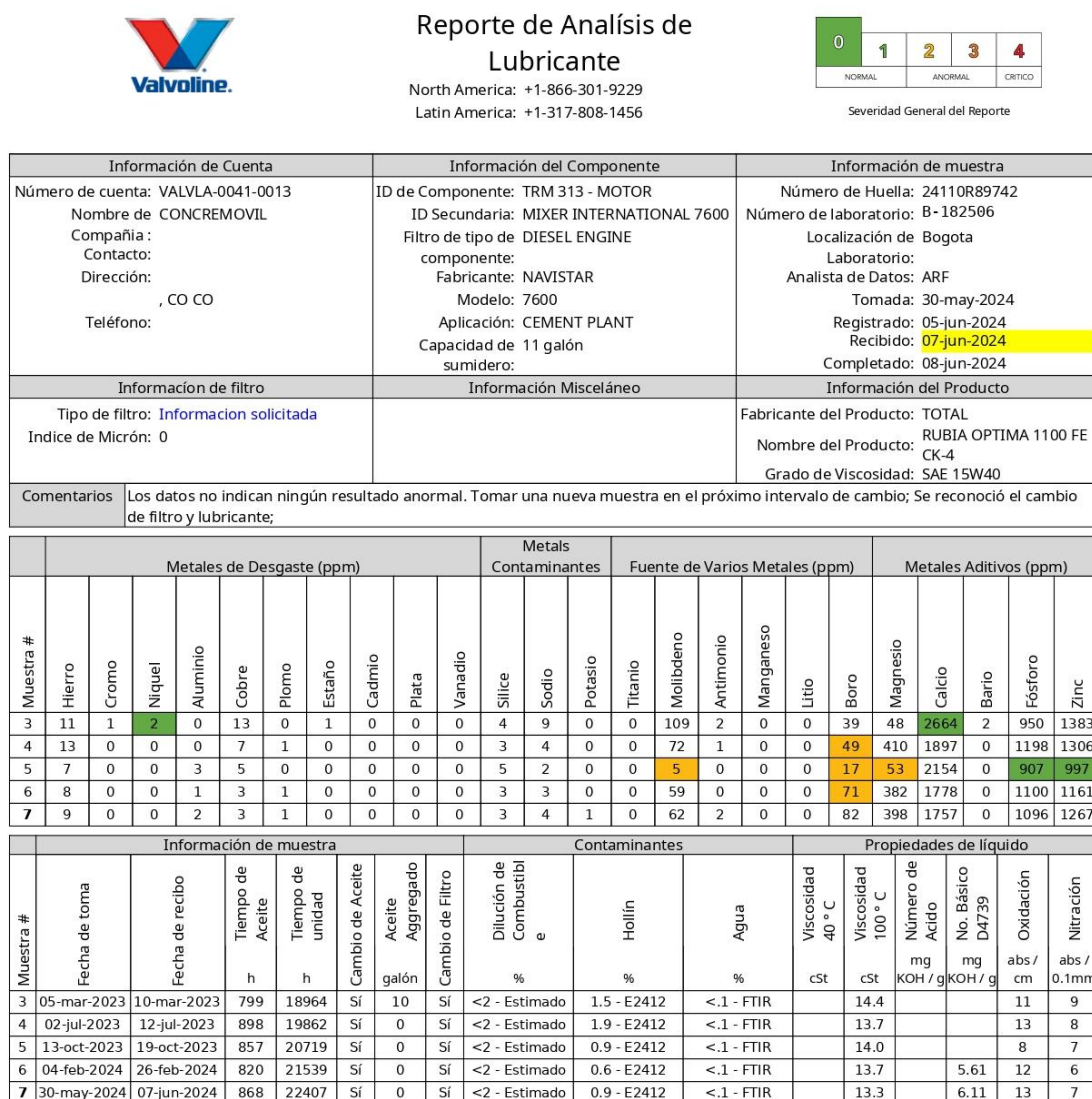
**4.1.2.1.2 Muestras de aceite: Mixer Interantional – WOP175.** En este equipo se realizaron seis análisis de muestras de aceite desde agosto de 2022 hasta agosto de 2024. Se observó en el último resultado una dilución de combustible, lo cual es atribuible al tiempo de ralentí característico de estos equipos debido a su tipo de operación. Esta provocó una ligera disminución en la viscosidad del aceite, sin afectar los parámetros aceptables. Además, se notó una variación en los aditivos, posiblemente relacionada con el cambio de la marca de aceite.

**Figura 0.2. Resultados de muestras de aceite, mixer WOP175**



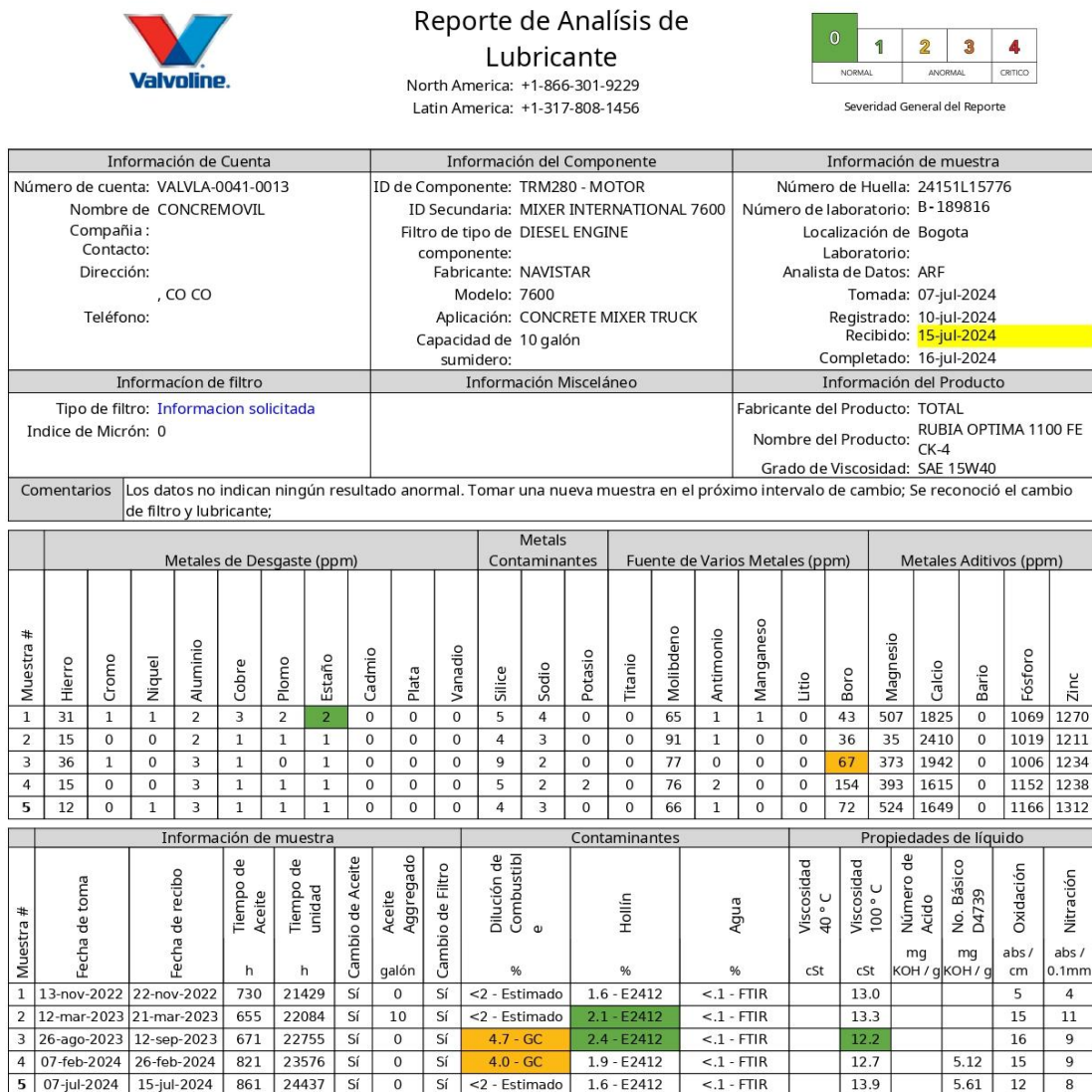
**4.1.2.1.3 Muestras de aceite: Mixer Interantional – TRM313.** En este equipo se realizaron seis análisis de muestras de aceite desde junio de 2022 hasta agosto de 2024. Se observó que el intervalo entre los cambios de aceite fue aumentando progresivamente con el tiempo. El último resultado obtenido no muestra ningún resultado anormal, lo que sugiere que el aceite mantuvo sus propiedades dentro de los parámetros recomendados durante todo el período de análisis.

**Figura 0.3. Resultados muestras de aceite, mixer TRM313**



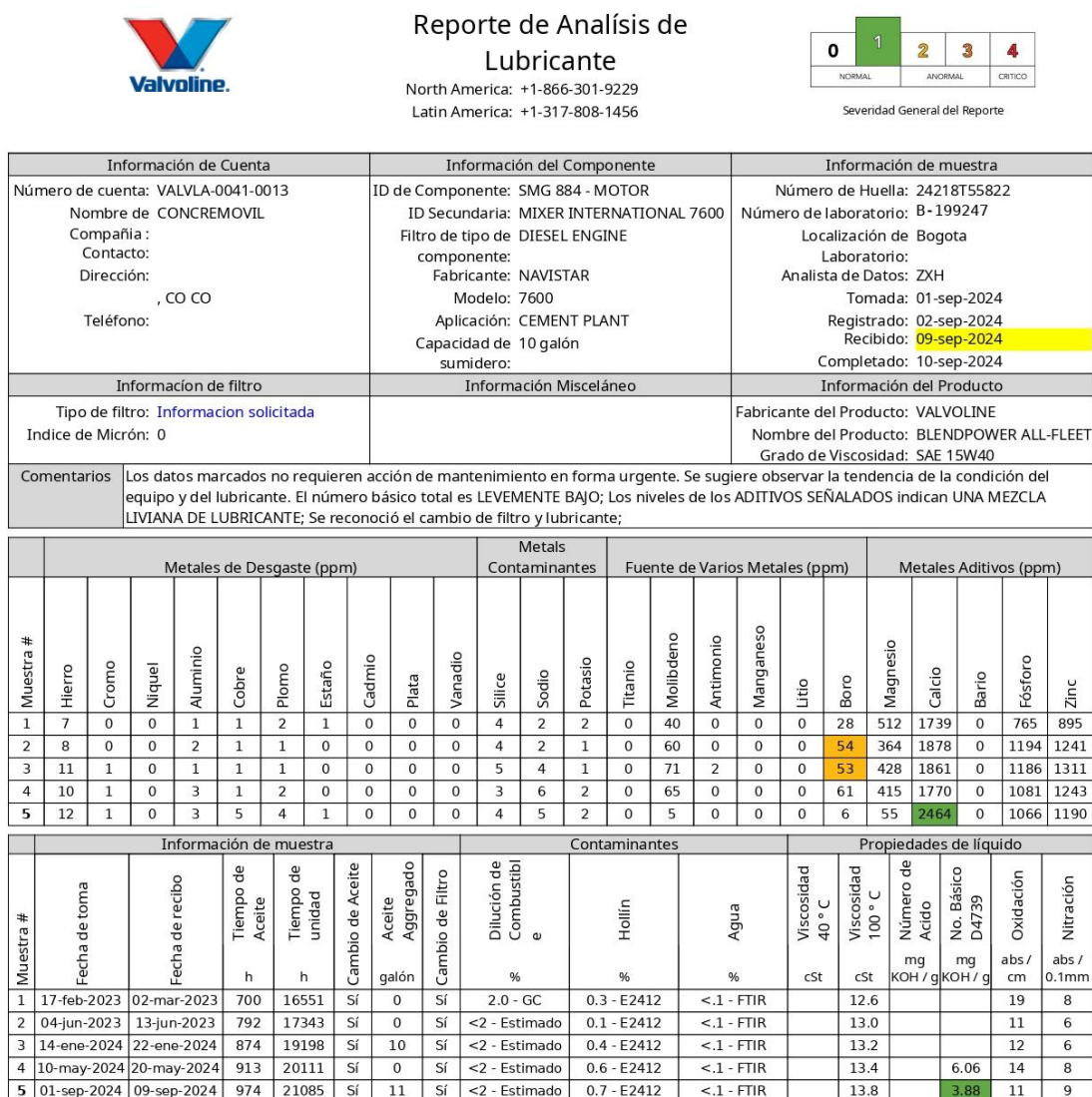
**4.1.2.1.4 Muestras de aceite: Mixer Interantional – TRM280.** En este equipo se realizaron seis análisis de muestras de aceite desde noviembre de 2022 hasta agosto de 2024. Se observó que el intervalo entre los cambios de aceite fue aumentando progresivamente con el tiempo. El último resultado obtenido no muestra ningún resultado anormal, lo que sugiere que el aceite mantuvo sus propiedades dentro de los parámetros recomendados durante todo el período de análisis.

**Figura 0.4. Resultados muestras de aceite, mixer TRM280**



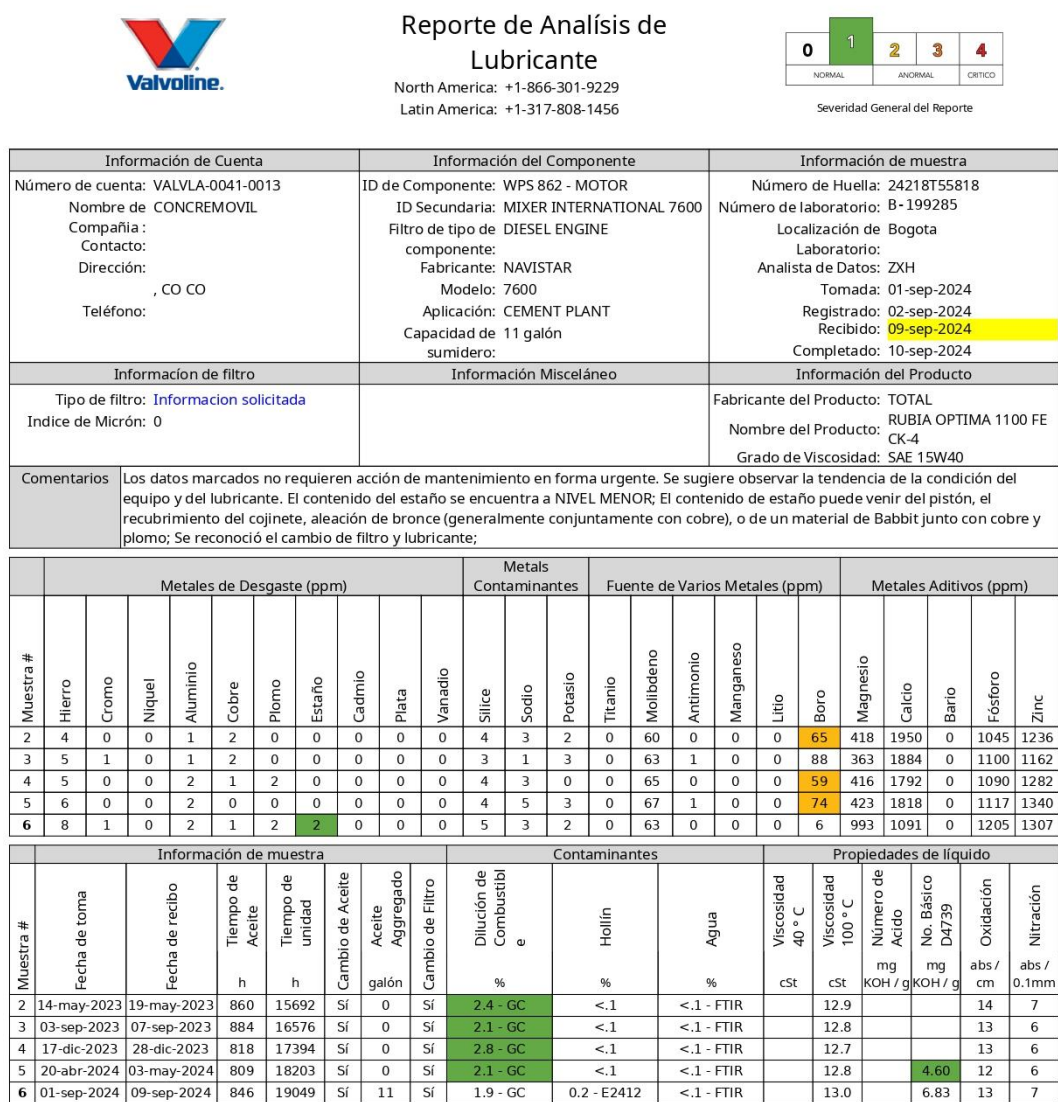
**4.1.2.1.5 Muestras de aceite: Mixer Interantional – SMG884.** En este equipo se realizaron cinco análisis de muestras de aceite desde enero de 2023 hasta agosto de 2024. Se observó que el intervalo entre los cambios de aceite fue aumentando progresivamente con el tiempo. El último resultado obtenido no muestra ningún resultado anormal, lo que sugiere que el aceite mantuvo sus propiedades dentro de los parámetros recomendados durante todo el período de análisis.

**Figura 0.5. Resultados muestras de aceite, mixer SMG884**



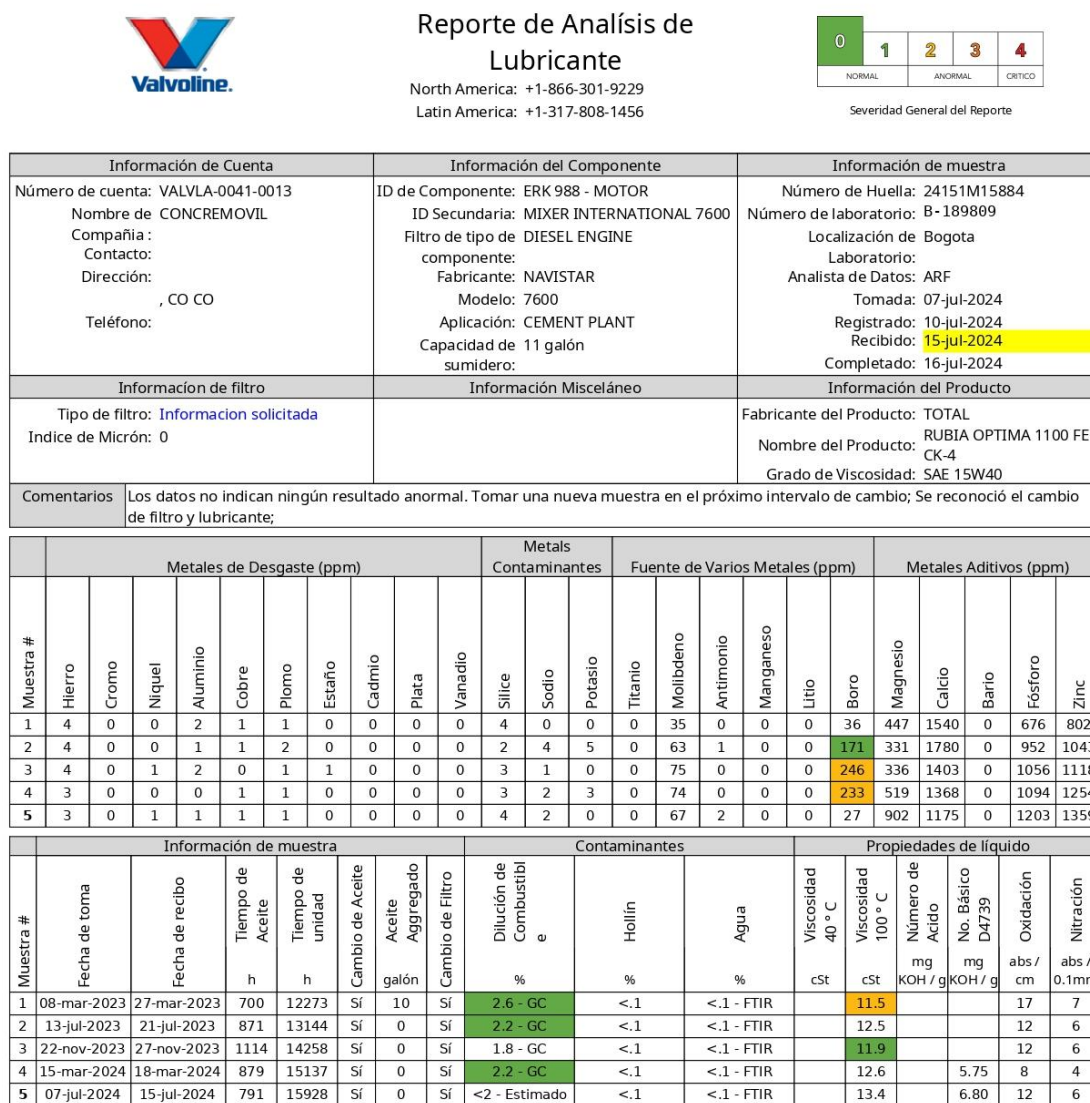
**4.1.2.1.6 Muestras de aceite: Mixer Interantional – WPS862.** En este equipo se realizaron seis análisis de muestras de aceite desde enero de 2023 hasta agosto de 2024. Se observó que el intervalo entre los cambios de aceite fue aumentando progresivamente. En el último análisis se detectó un aumento mínimo en el nivel de estaño, que podría provenir de componentes como los pistones, el recubrimiento de los cojinetes o aleaciones de bronce. Sin embargo, este incremento se encuentra dentro de los parámetros aceptables.

**Figura 0.6. Resultados muestras de aceite, mixer WPS862**



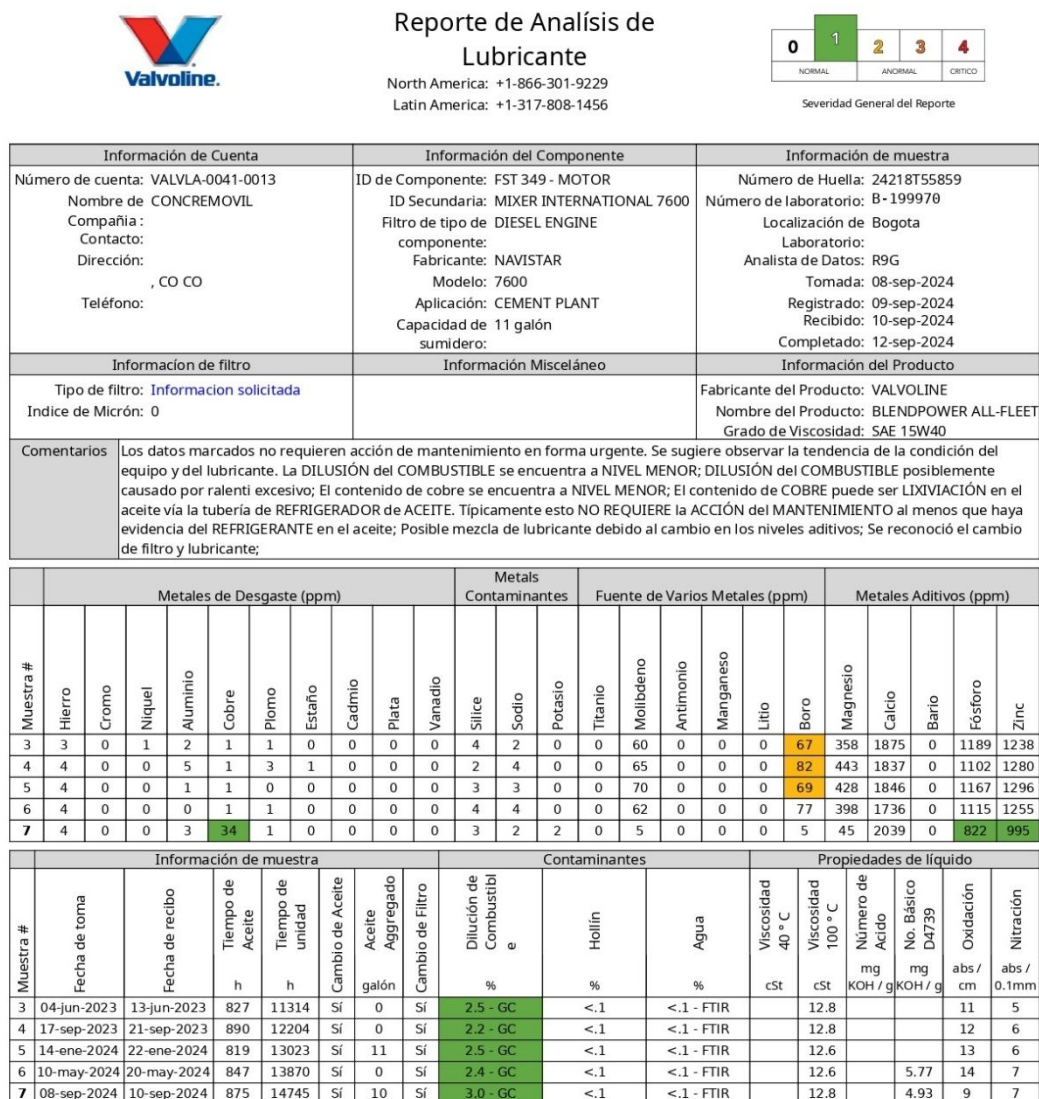
**4.1.2.1.7 Muestras de aceite: Mixer Interantional – ERK988.** En este equipo se realizaron cinco análisis de muestras de aceite desde enero de 2023 hasta agosto de 2024. Se observó que el intervalo entre los cambios de aceite fue aumentando progresivamente con el tiempo. El último resultado obtenido no muestra ningún resultado anormal, lo que sugiere que el aceite mantuvo sus propiedades dentro de los parámetros recomendados durante todo el período de análisis.

**Figura 0.7. Resultados muestras de aceite, mixer ERK988**



**4.1.2.1.8 Muestras de aceite: Mixer Interantional – FST349.** En este equipo se realizaron seis análisis de muestras de aceite desde agosto de 2022 hasta agosto de 2024. En el último análisis se detectó una dilución de combustible en niveles normales, atribuible al tiempo de ralentí de estos equipos por su tipo de operación. Además, se observó un contenido menor de cobre, que podría provenir de la lixiviación del aceite a través de la tubería del refrigerador de aceite.

**Figura 0.8. Resultados muestras de aceite, mixer FST349**





**4.1.2.1.10 Muestras de aceite: Volqueta Freighliner – TTT560.** En este equipo se realizaron dieciséis análisis de muestras de aceite desde enero de 2022 hasta agosto de 2024. Se observó que el intervalo entre los cambios de aceite fue aumentando progresivamente con el tiempo. El último resultado obtenido no muestra ningún resultado anormal.

**Figura 0.10. Resultados muestras de aceite, volqueta TTT560**



Reporte de Análisis de Lubricante

North America: +1-866-301-9229  
Latin America: +1-317-808-1456

0	1	2	3	4
NORMAL	ANORMAL		CRITICO	

Severidad General del Reporte

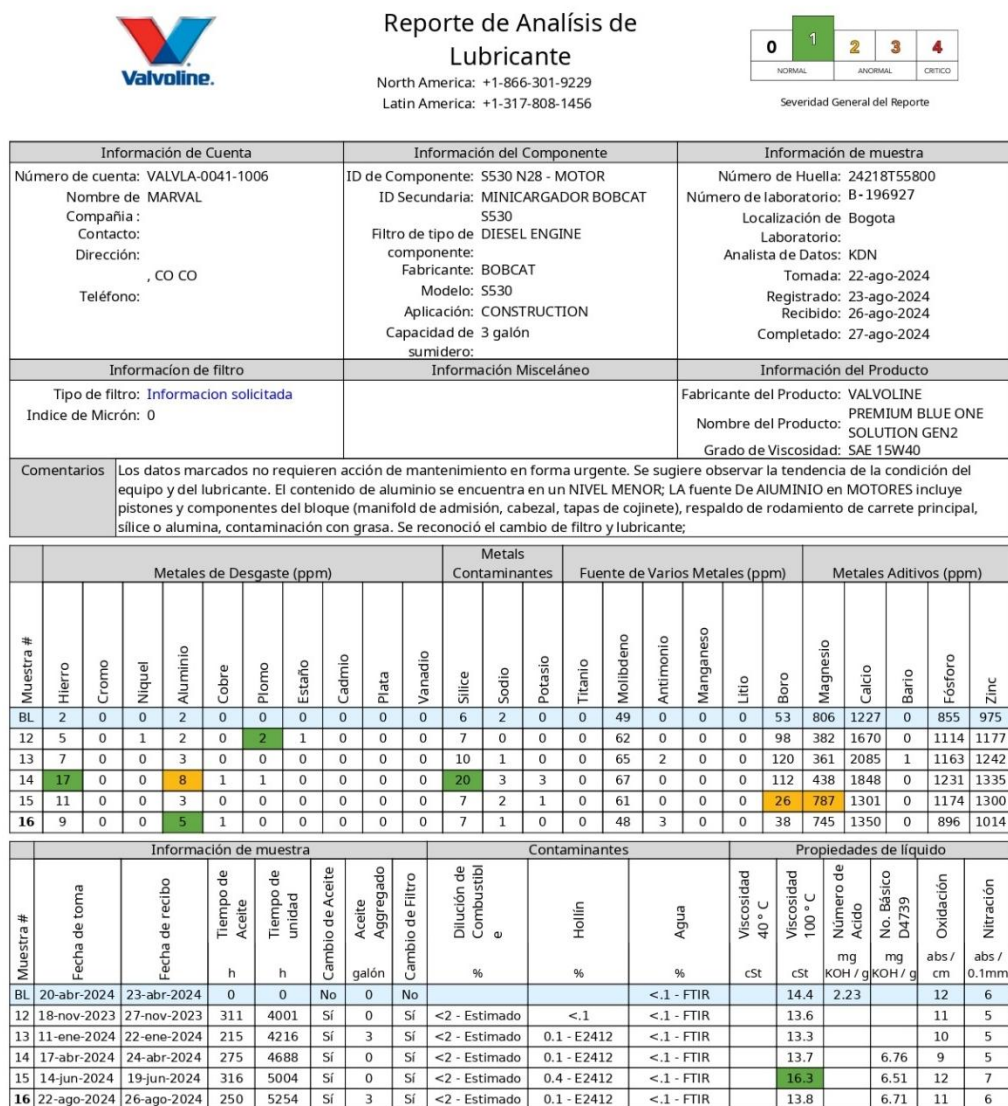
Información de Cuenta		Información del Componente		Información de muestra	
Número de cuenta: VALVLA-0041-1006 Nombre de Compañía: MARVAL Contacto: , CO CO Dirección: , CO CO Teléfono:		ID de Componente: VOLQUETA FREIGHTLINER TTT560 E ID Secundaria: TTT 560 Filtro de tipo de componente: DIESEL ENGINE Fabricante: MERCEDES BENZ Modelo: OM460LA 12.8L Aplicación: TRANSPORTATION Capacidad de sumidero:		Número de Huella: 24192B12433 Número de laboratorio: B-191080 Localización de Laboratorio: Bogota Analista de Datos: KDN Tomada: 17-jul-2024 Registrado: 20-jul-2024 Recibido: 22-jul-2024 Completado: 23-jul-2024	
Información de filtro		Información Misceláneo		Información del Producto	
Tipo de filtro: <b>Informacion solicitada</b> Indice de Micrón: 0				Fabricante del Producto: SHELL Nombre del Producto: RIMULA R4 L Grado de Viscosidad: SAE 15W40	
Comentarios		Los datos marcados no requieren acción de mantenimiento en forma urgente. Se sugiere observar la tendencia de la condición del equipo y del lubricante. Los niveles de los aditivos señalados son diferentes a lo que deberían estar presentes para el lubricante identificado para esta unidad. (esto no implica que el lubricante no cumple con las clasificaciones apropiadas del API, del SAE, o de la ISO.); Se reconoció el cambio de filtro y lubricante;			

Muestra #	Metales de Desgaste (ppm)										Metals Contaminantes			Fuente de Varios Metales (ppm)					Metales Aditivos (ppm)					
	Hierro	Cromo	Niquel	Aluminio	Cobre	Plomo	Estaño	Cadmio	Plata	Vanadio	Silice	Sodio	Potasio	Titanio	Molibdeno	Antimonio	Manganeso	Litio	Boro	Magnesio	Calcio	Bario	Fósforo	Zinc
12	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	61	0	0	0	115	394	1755	0	1025	1151
13	2	0	0	1	1	2	0	0	0	0	3	2	0	0	62	0	0	0	113	416	1861	0	1068	1225
14	2	0	1	0	0	2	0	0	0	0	3	1	2	0	60	0	0	0	123	466	1863	0	1136	1321
15	5	0	0	1	2	0	0	0	0	0	4	3	4	0	62	0	0	0	139	403	1829	0	1150	1259
16	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	1	1	0	67	1	0	0	14	1053	1255	0	1243	1422

Muestra #	Información de muestra							Contaminantes			Propiedades de líquido					
	Fecha de toma	Fecha de recibo	Tiempo de Aceite h	Tiempo de unidad h	Cambio de Aceite	Aceite Agregado L	Cambio de Filtro	Dilución de Combustible %	Hollín %	Agua %	Viscosidad 40 ° C cSt	Viscosidad 100 ° C cSt	Número de Acido mg KOH / g	No. Básico D4739 mg KOH / g	Oxidación abs / cm	Nitración abs / 0.1mm
12	02-oct-2023	05-oct-2023	336	13792	Sí	0	Sí	<2 - Estimado	<.1	<.1 - FTIR		13.9			12	5
13	22-dic-2023	28-dic-2023	357	14149	Sí	0	Sí	<2 - Estimado	<.1	<.1 - FTIR		14.0			11	4
14	08-mar-2024	13-mar-2024	390	14539	Sí	0	Sí	<2 - Estimado	<.1	<.1 - FTIR		13.2	7.50	10	4	
15	30-abr-2024	10-may-2024	386	14925	Sí	11	Sí	<2 - Estimado	<.1	<.1 - FTIR		14.3	7.31	10	4	
16	17-jul-2024	22-jul-2024	338	15263	Sí	0	Sí	<2 - Estimado	<.1	<.1 - FTIR		14.1	7.59	11	5	

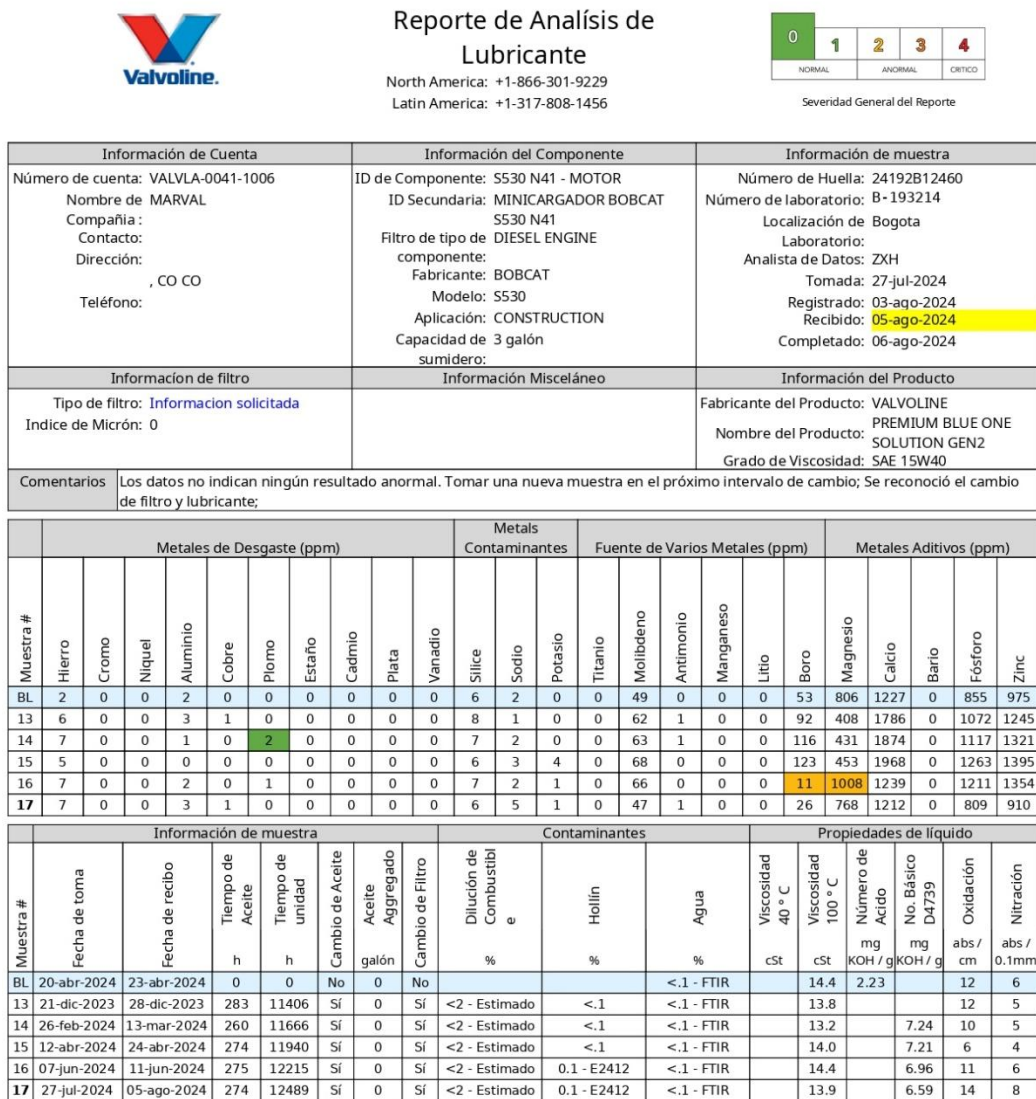
**4.1.2.1.11 Muestras de aceite: minicargador S530 – N28.** En este equipo se realizaron dieciséis análisis de muestras de aceite desde enero de 2022 hasta agosto de 2024.. El último resultado muestra un contenido menor de aluminio, que podría provenir de los pistones, bloque o contaminación con grasa, sin embargo, este incremento se encuentra dentro de los parámetros aceptables, sin representar un riesgo significativo para el rendimiento del equipo.

**Figura 0.11. Resultados muestras de aceite, minicargador N 28**



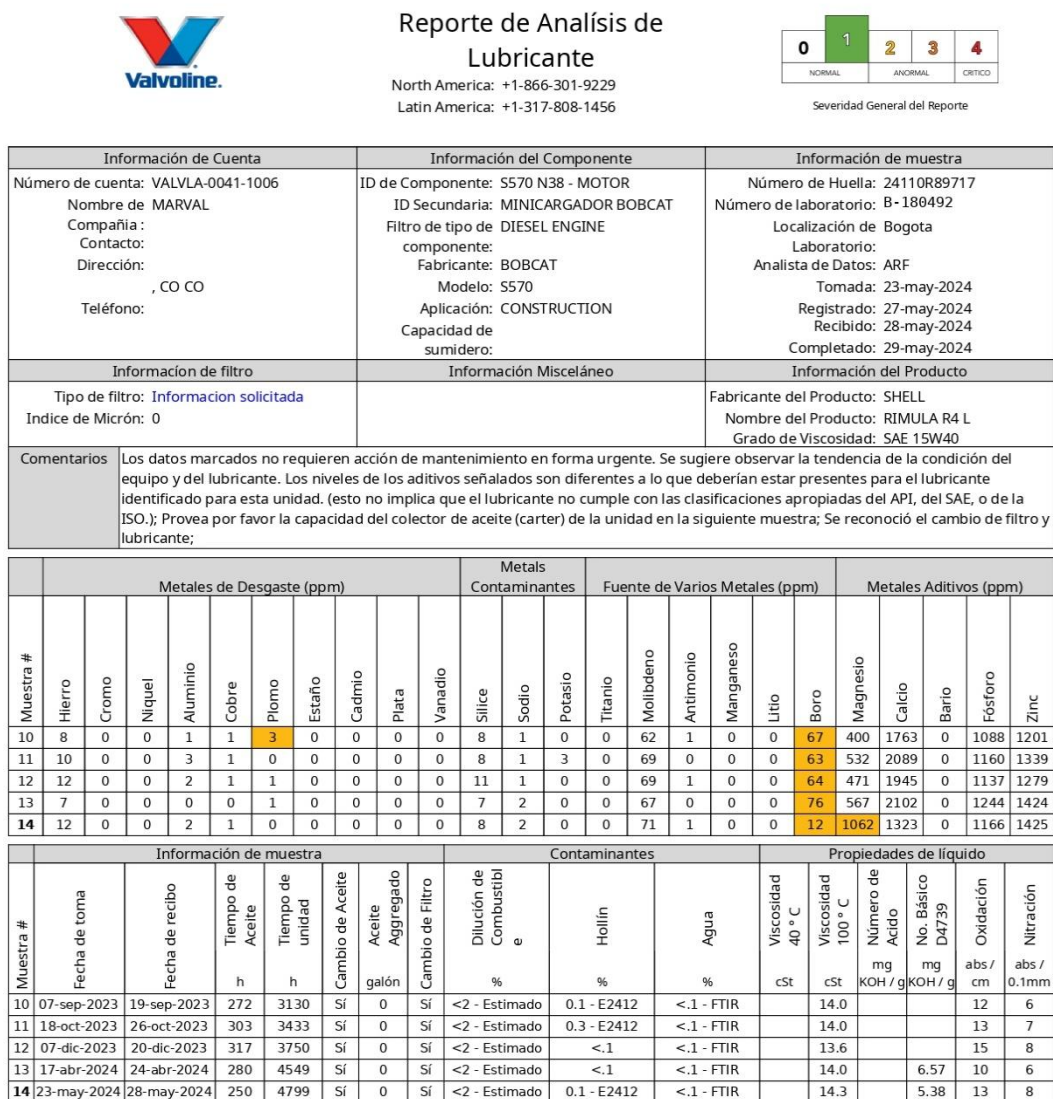
**4.1.2.1.12 Muestras de aceite: minicargador S530 – N41.** En este equipo se realizaron dieciséis análisis de muestras de aceite desde enero de 2022 hasta agosto de 2024. Se observó que el intervalo entre los cambios de aceite fue aumentando progresivamente con el tiempo. El último resultado obtenido no muestra ningún resultado anormal, lo que sugiere que el aceite mantuvo sus propiedades dentro de los parámetros recomendados durante todo el período de análisis.

**Figura 0.12. Resultados muestras de aceite, minicargador N 41**



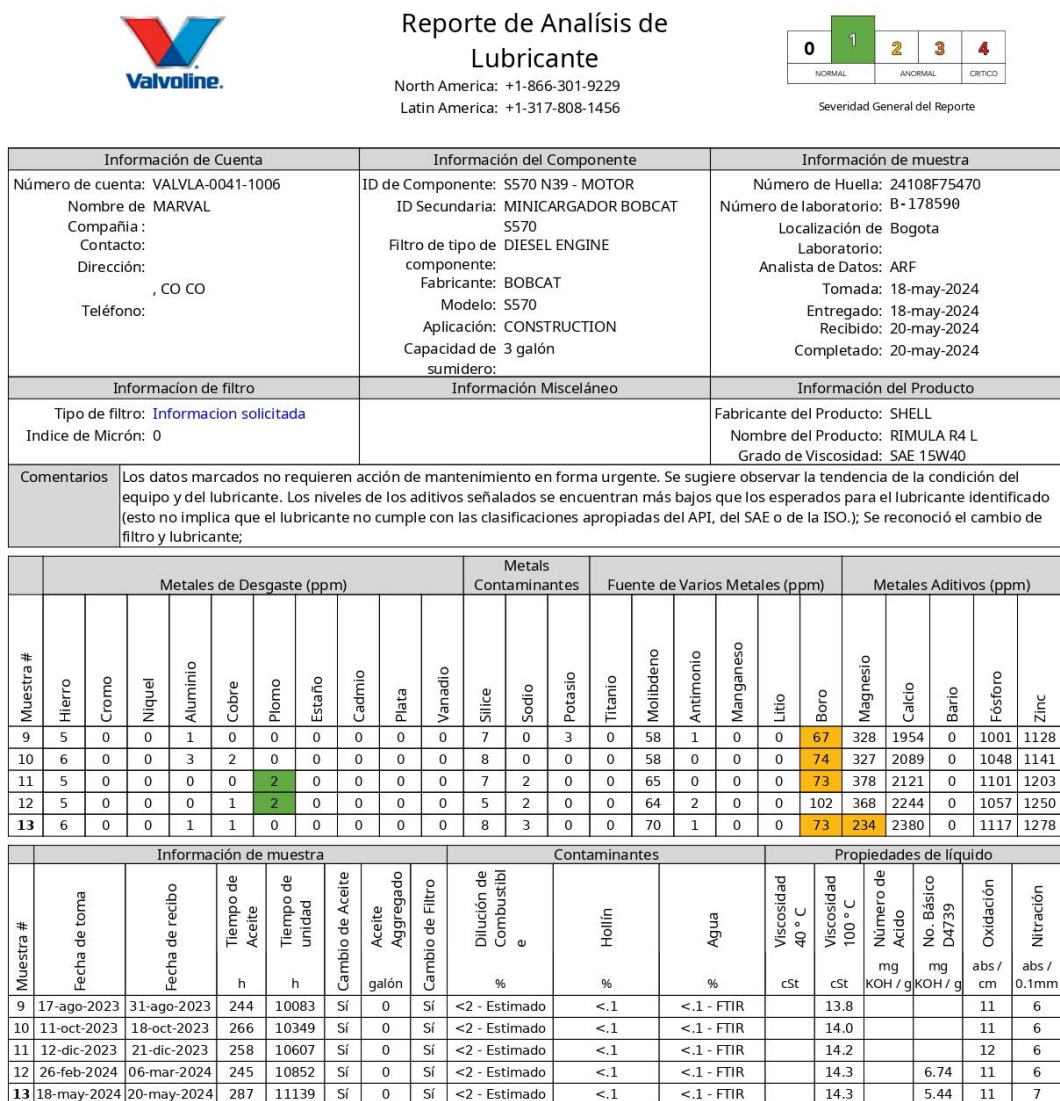
**4.1.2.1.13 Muestras de aceite: minicargador S570 – N38.** En este equipo se realizaron catorce análisis de muestras de aceite desde mayo de 2022 hasta agosto de 2024. Se observó que el intervalo entre los cambios de aceite fue aumentando progresivamente con el tiempo. El último resultado obtenido no muestra ningún resultado anormal, lo que sugiere que el aceite mantuvo sus propiedades dentro de los parámetros recomendados durante todo el período de análisis.

**Figura 0.13. Resultados muestras de aceite, minicargador N 38**



**4.1.2.1.14 Muestras de aceite: minicargador S570 – N39.** En este equipo se realizaron trece análisis de muestras de aceite desde mayo de 2022 hasta agosto de 2024. Se observó que el intervalo entre los cambios de aceite fue aumentando progresivamente con el tiempo. El último resultado obtenido no muestra ningún resultado anormal, lo que sugiere que el aceite mantuvo sus propiedades dentro de los parámetros recomendados durante todo el período de análisis.

**Figura 0.14.** Resultados muestras de aceite, minicargador N 39

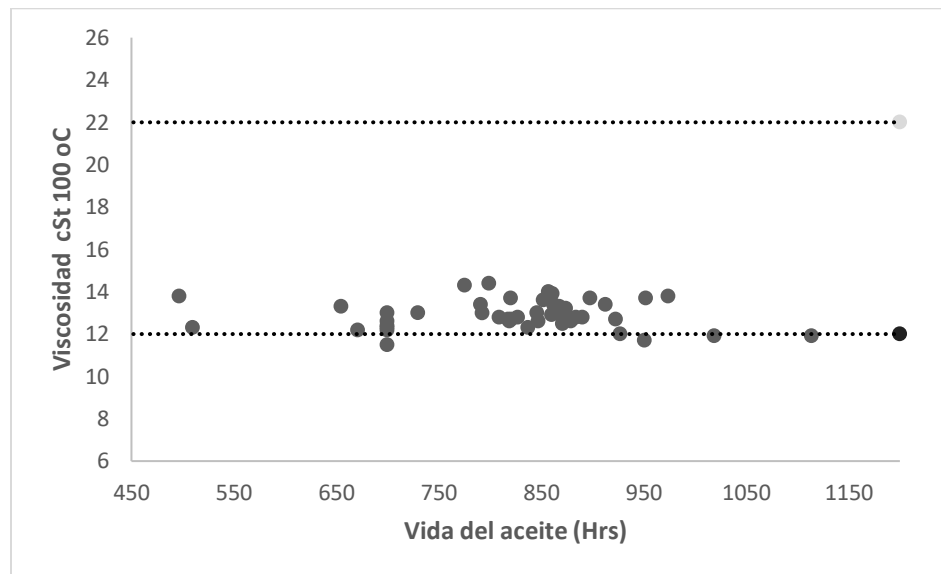
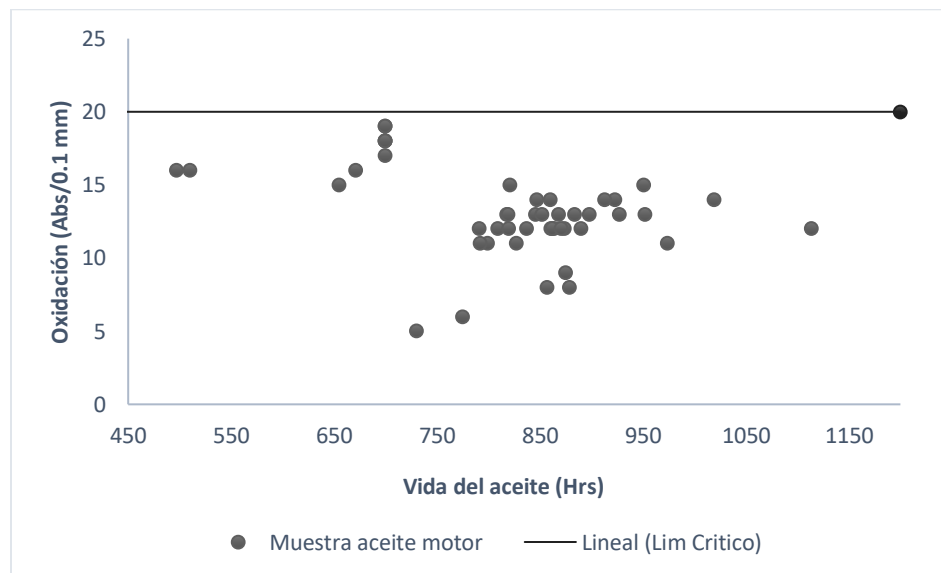


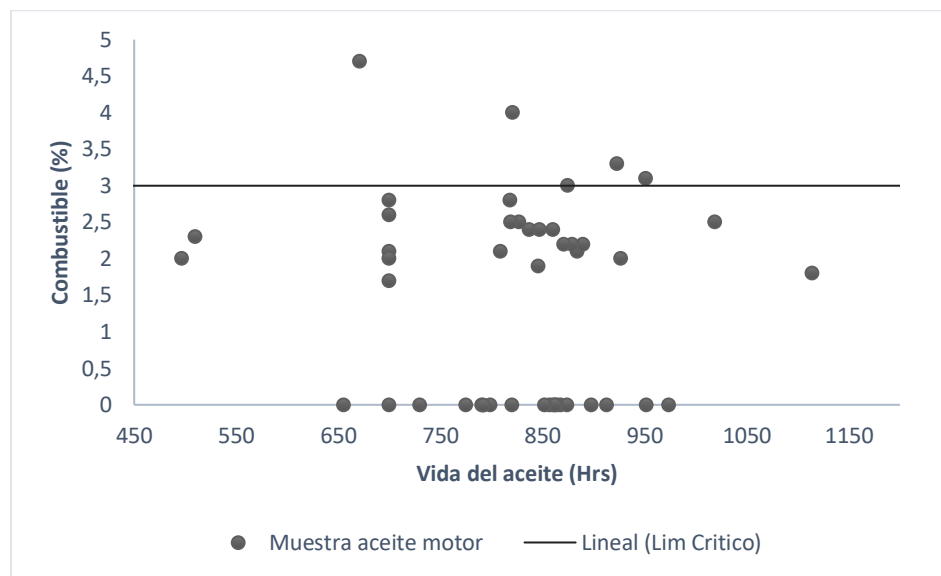
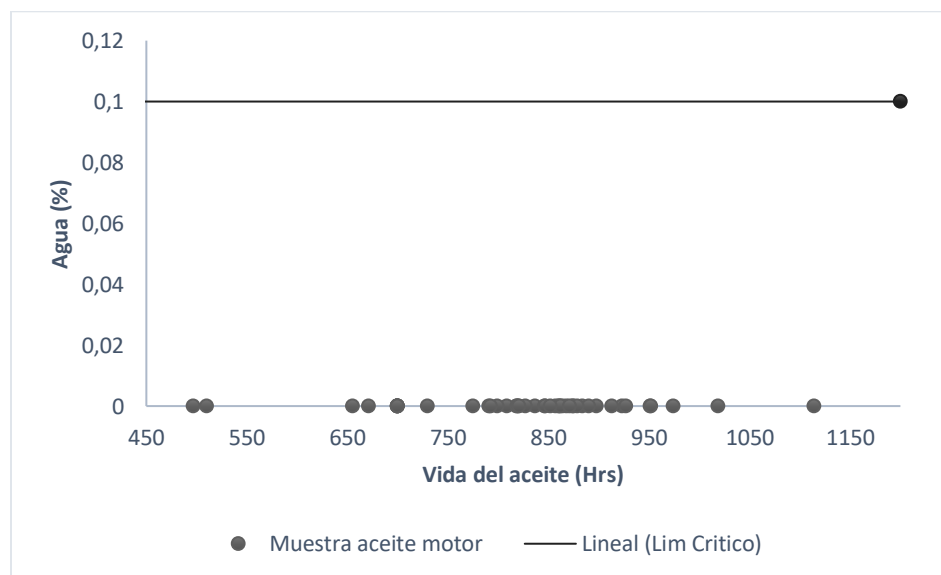
### **4.1.3 *Análisis tendencial de las muestras de aceite***

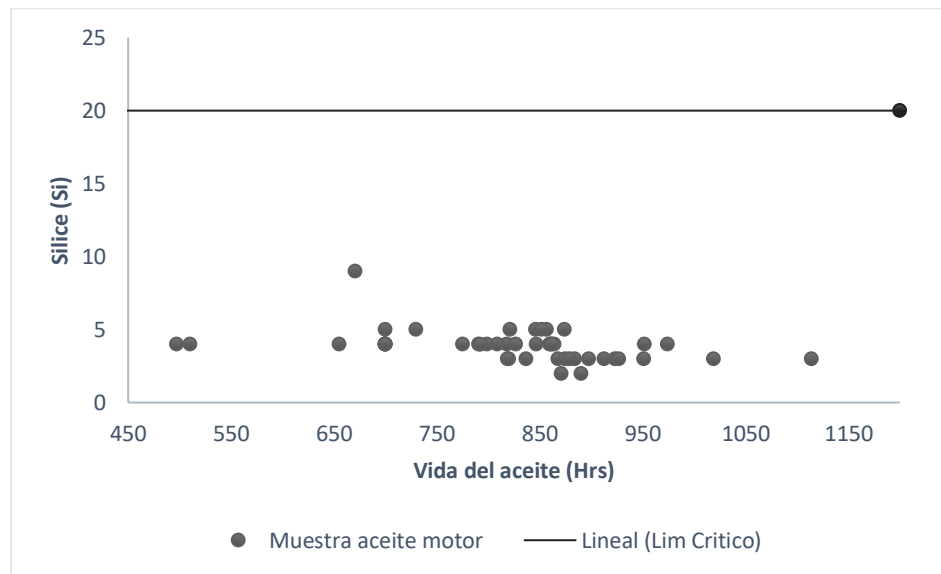
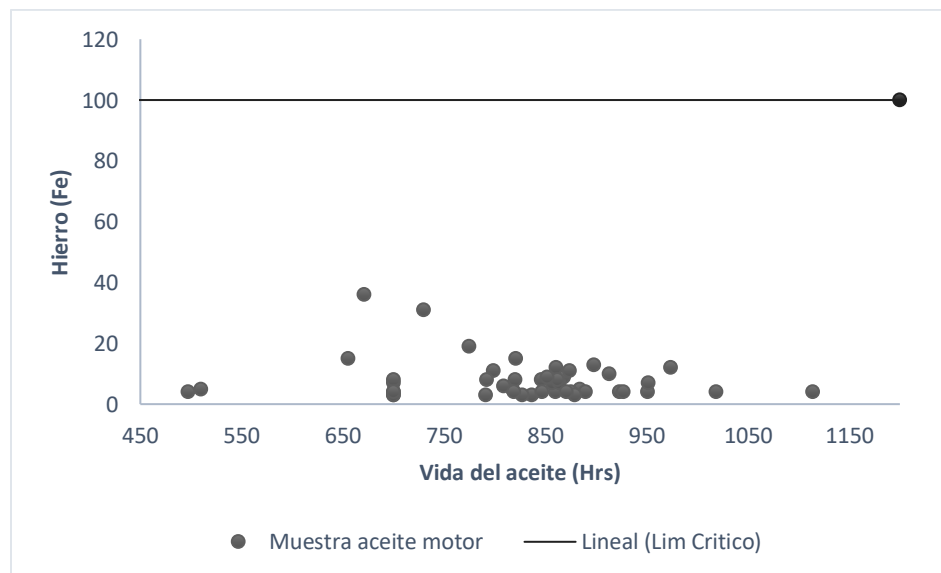
Este apartado presenta un análisis global comparativo de los resultados obtenidos en las muestras de aceite para los equipos de Concremóvil y Construcciones Marval. El objetivo es evaluar la efectividad de la estrategia de extensión del período de cambio de aceite, monitoreando el comportamiento del lubricante y la estabilidad de los parámetros clave a lo largo del tiempo, para extraer conclusiones sobre el rendimiento del aceite en ambos clientes.

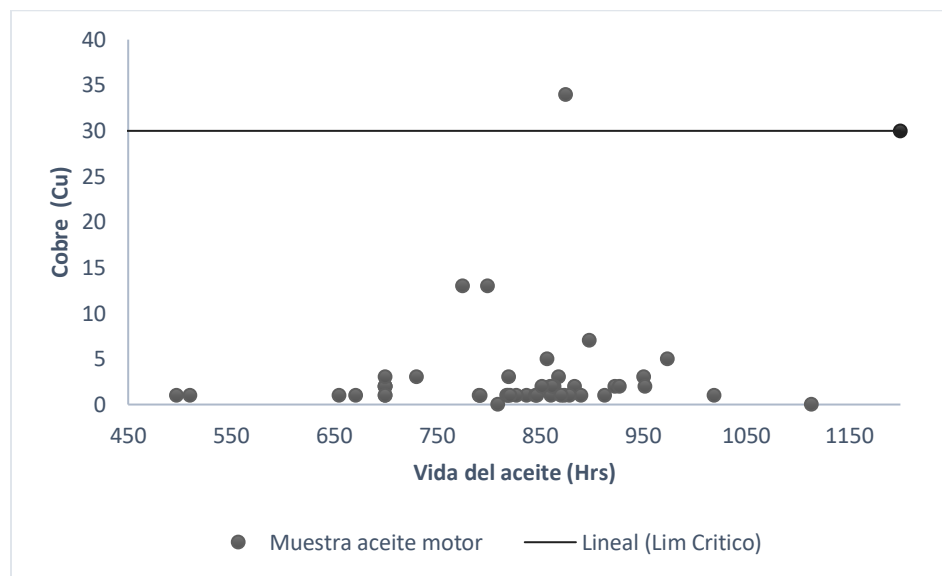
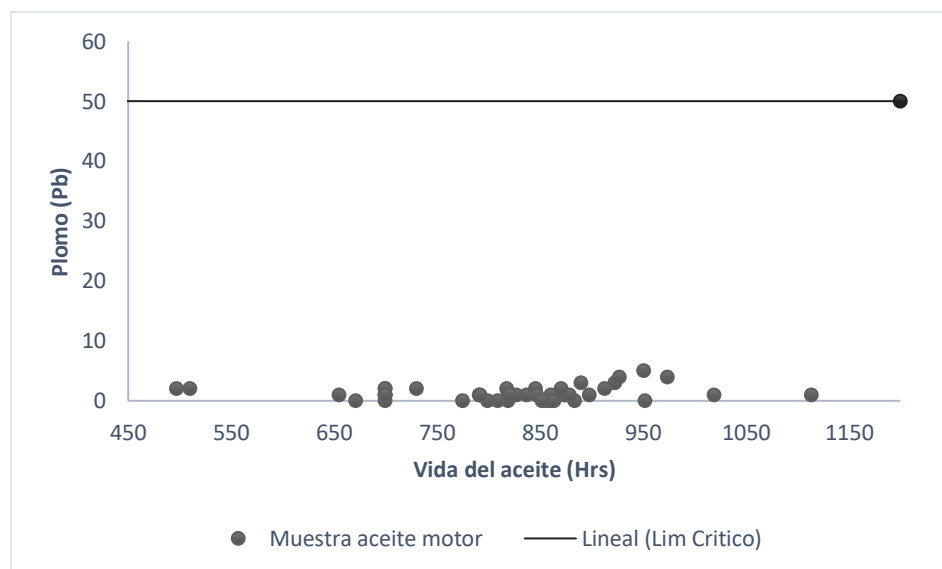
**4.1.3.1 Comparación del rendimiento del aceite por tipo de flota.** A través de los gráficos de tendencias obtenidos para cada tipo de flota (mixers, minicargadores, volquetas), se puede observar un comportamiento estable en los parámetros clave del aceite (viscosidad, niveles de contaminantes, y estado de los aditivos) en la mayoría de las muestras. A continuación, se presenta un resumen comparativo de los resultados más relevantes por tipo de flota y cliente:

**4.1.3.1.1 Tendencias de los resultados muestras de aceite, mixer Concremóvil.** En los mixers, se registró una estabilidad significativa en la viscosidad del aceite a lo largo de las muestras, lo que indica un buen rendimiento del lubricante incluso bajo las condiciones operativas exigentes de estos equipos. Los niveles de contaminantes (como el cobre y el plomo) también se mantuvieron dentro de los parámetros normales, con algunas variaciones menores en ciertas muestras, pero sin indicios de desgaste significativo en los componentes.

**Figura 0.15** Tendencia de la viscosidad. Mixers - Concremóvil. Margarita G. 2024**Figura 0.16** Tendencia de la oxidación. Mixers - Concremóvil. Margarita G. 2024.

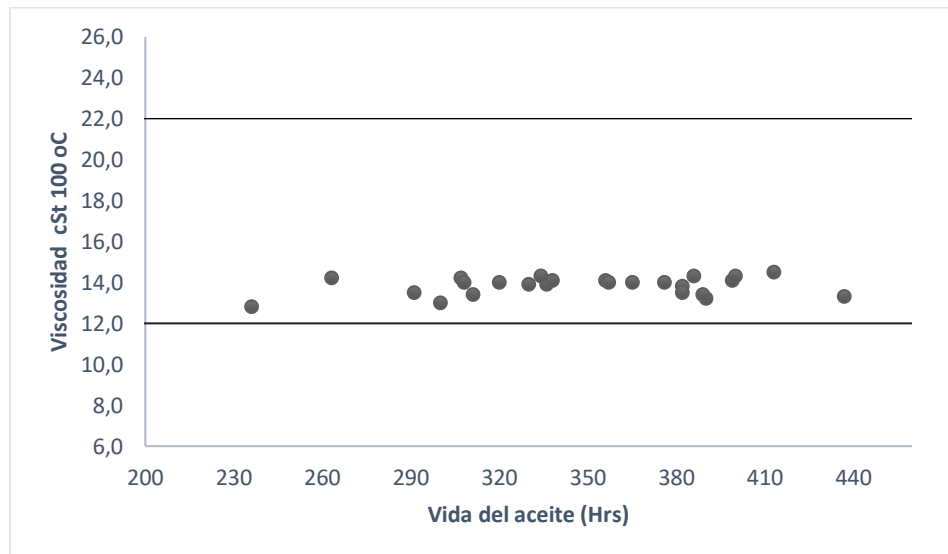
**Figura 0.17** Tendencia dilución de combustible. Mixers - Concremóvil. Margarita G. 2024.**Figura 0.18** Tendencia contaminación de agua. Mixers - Concremóvil. Margarita G. 2024.

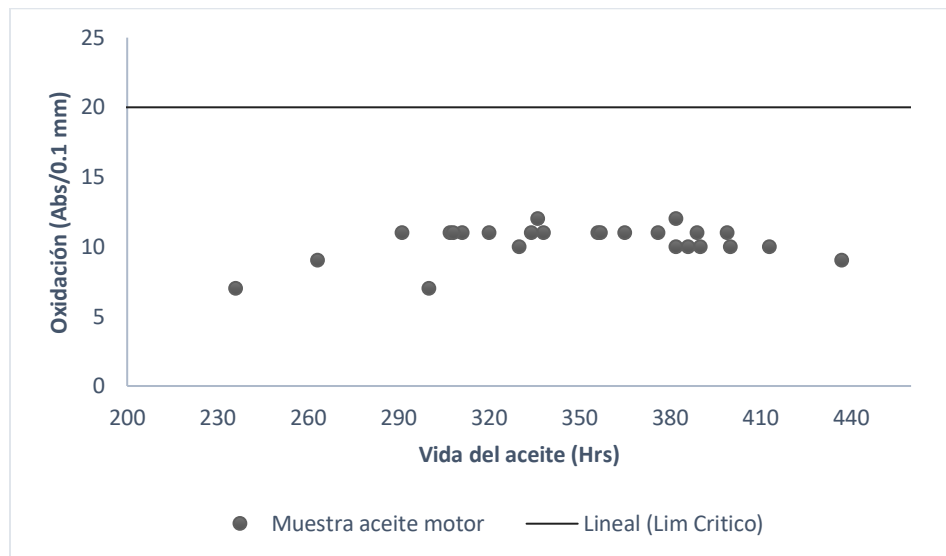
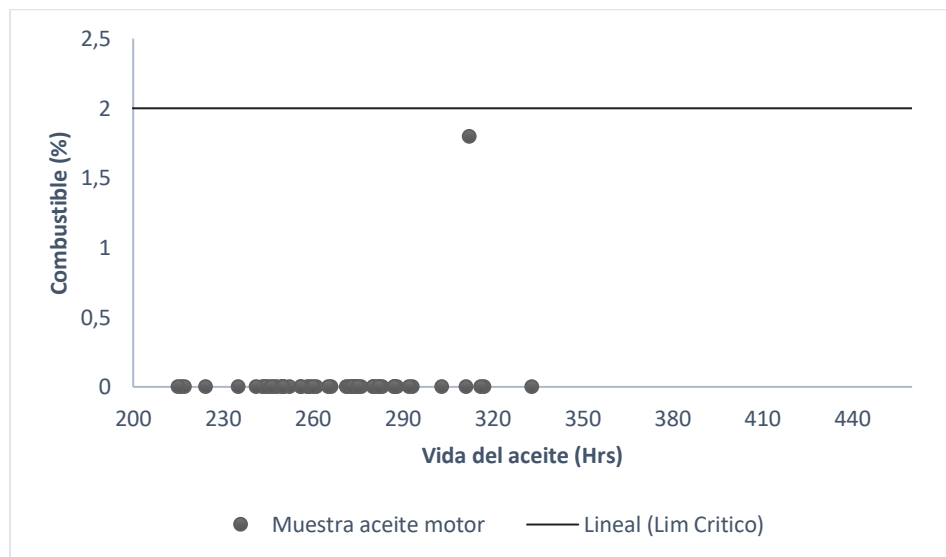
**Figura 0.19** Tendencia contaminación por sílice. Mixers - Concremóvil. Margarita G. 2024.**Figura 0.20** Tendencia contaminación por hierro. Mixer - Concremóvil. Margarita G. 2024.

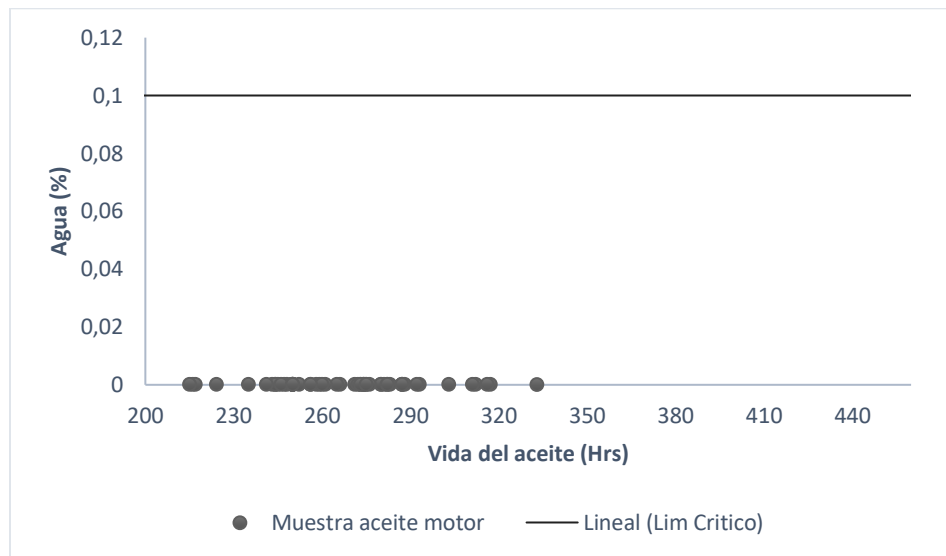
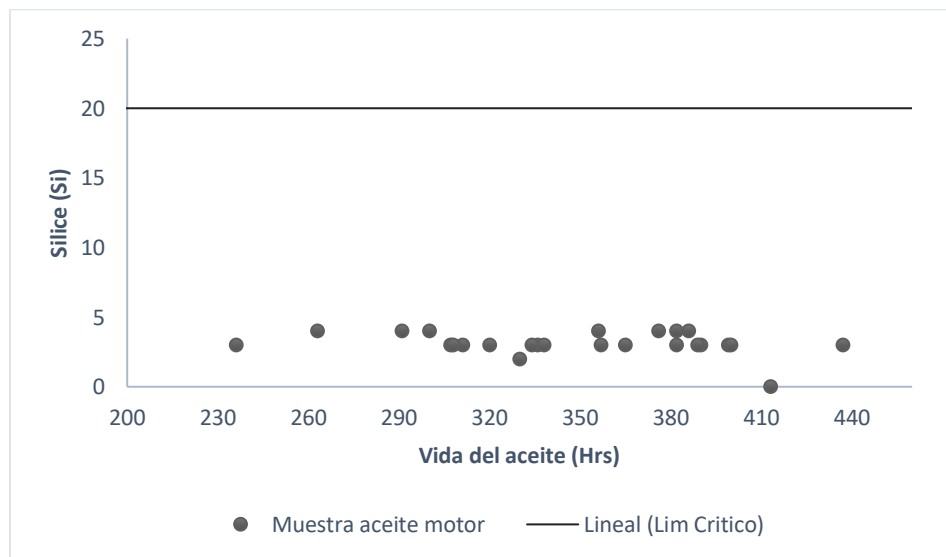
**Figura 0.21** Tendencia contaminación por cobre. Mixer - Concremóvil. Margarita G. 2024.**Figura 0.22** Tendencia contaminación por plomo. Mixer - Concremóvil. Margarita G. 2024.

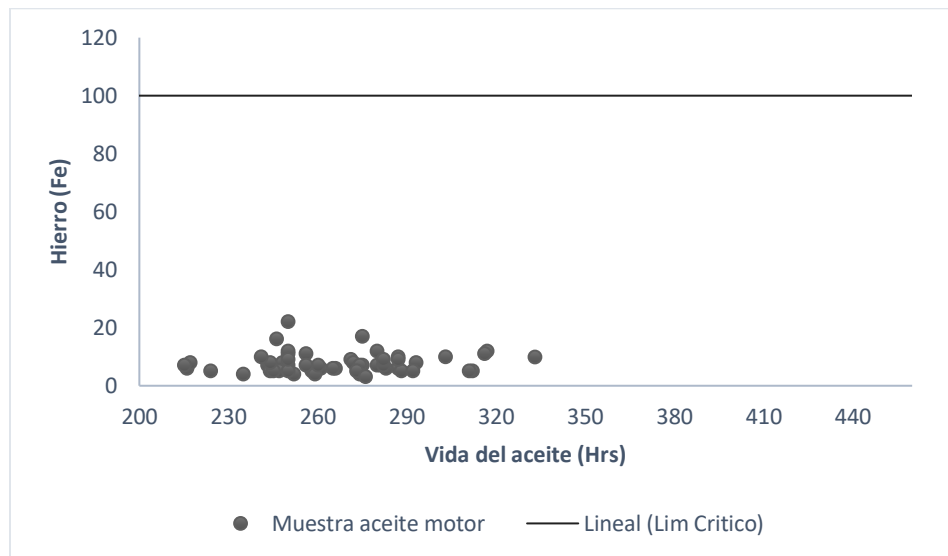
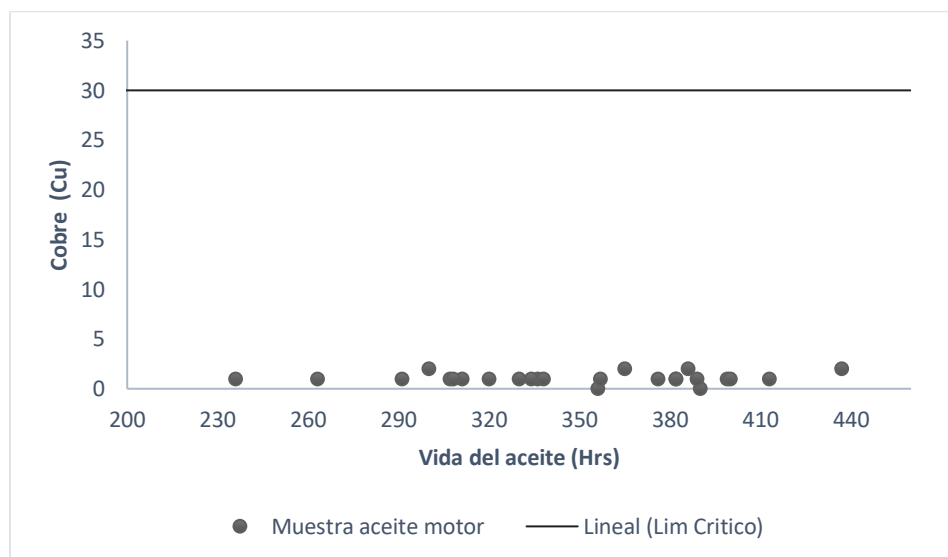
**4.1.3.1.2 Tendencias de los resultados muestras de aceite, minicargadores Construcciones Marval.** Los minicargadores mostraron una tendencia similar, con la viscosidad del aceite en niveles adecuados durante la mayor parte del periodo de análisis. Sin embargo, se observó un aumento en los niveles de hierro en algunas muestras, lo que sugiere un posible desgaste en componentes internos como los cojinetes. Aunque estos niveles no alcanzan valores críticos, se recomienda monitorear más de cerca este parámetro en futuros análisis.

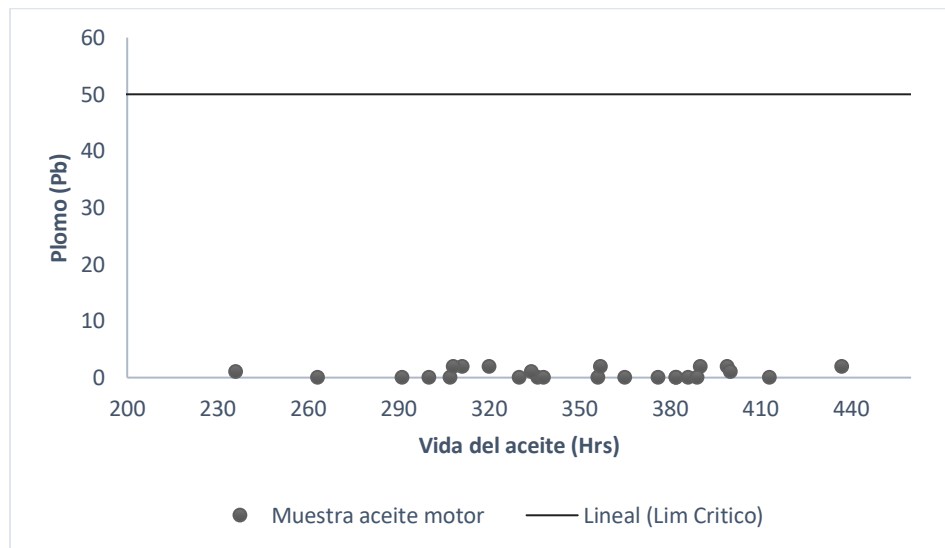
**Figura 0.23** Tendencia de la viscosidad. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024.



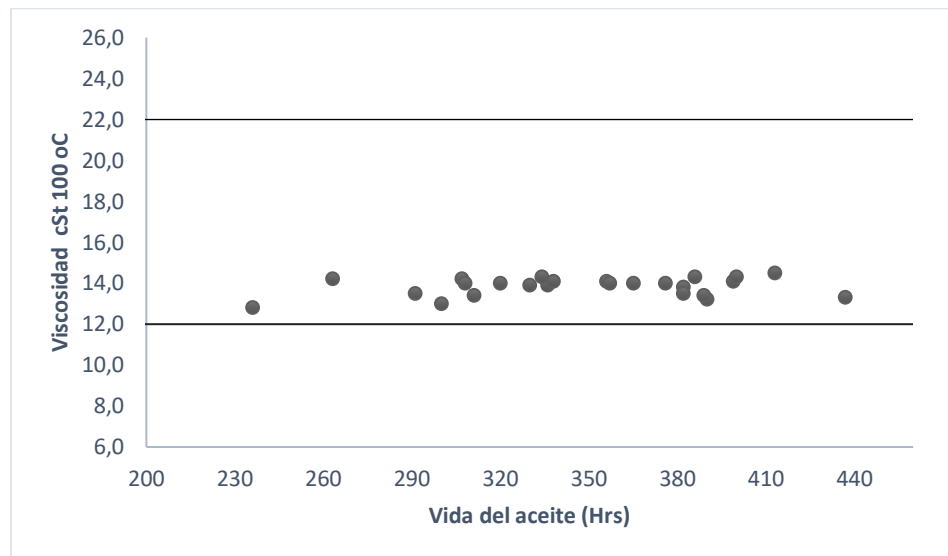
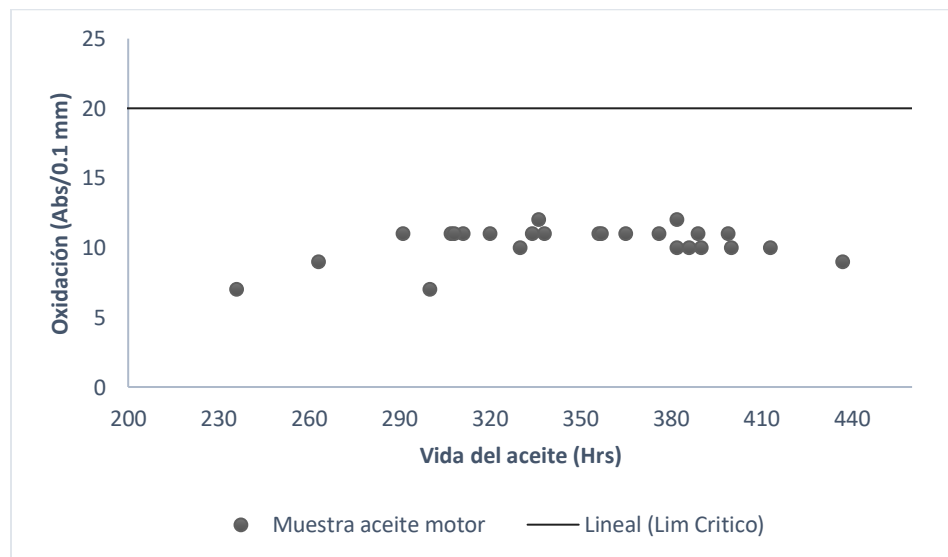
**Figura 0.24** Tendencia de la oxidación. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024**Figura 0.25** Tendencia dilución de combustible. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024.

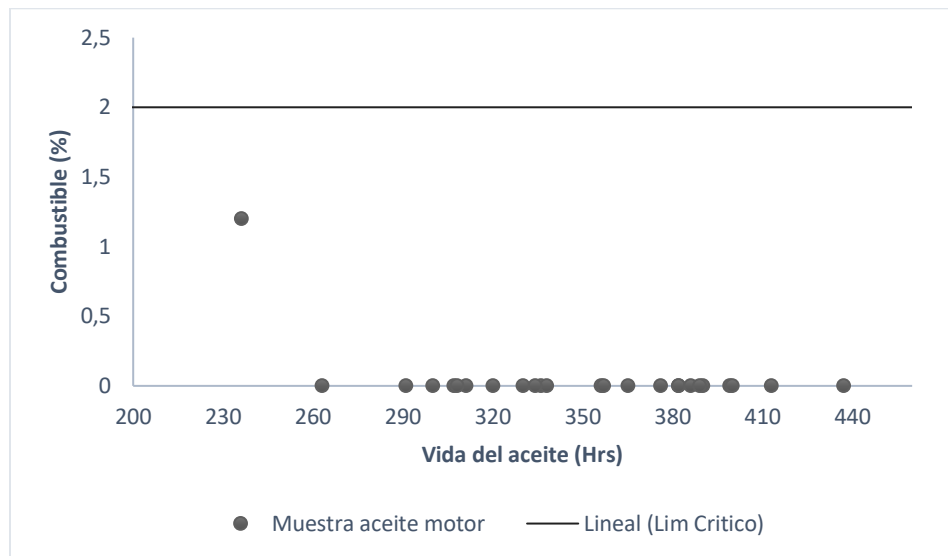
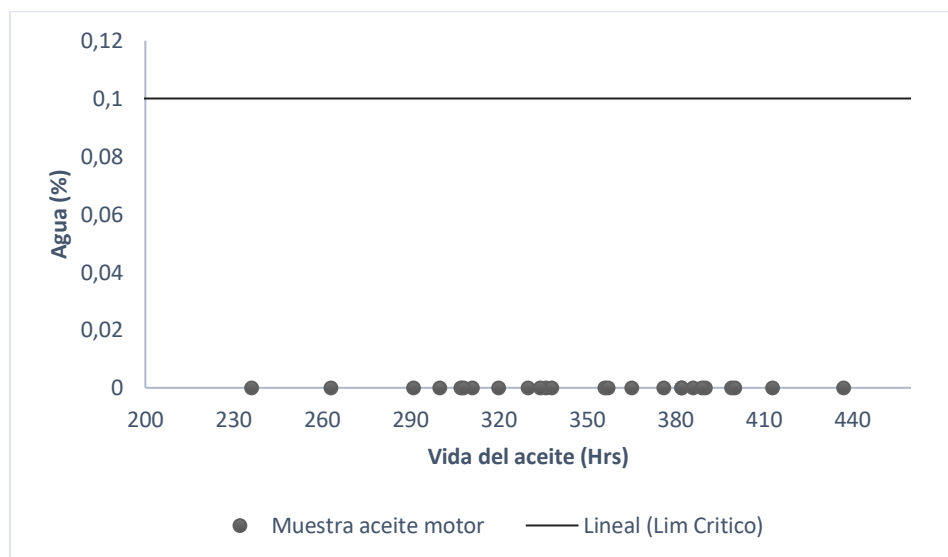
**Figura 0.26** Tendencia contaminación por agua. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024.**Figura 0.27** Tendencia contaminación por sílice. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024.

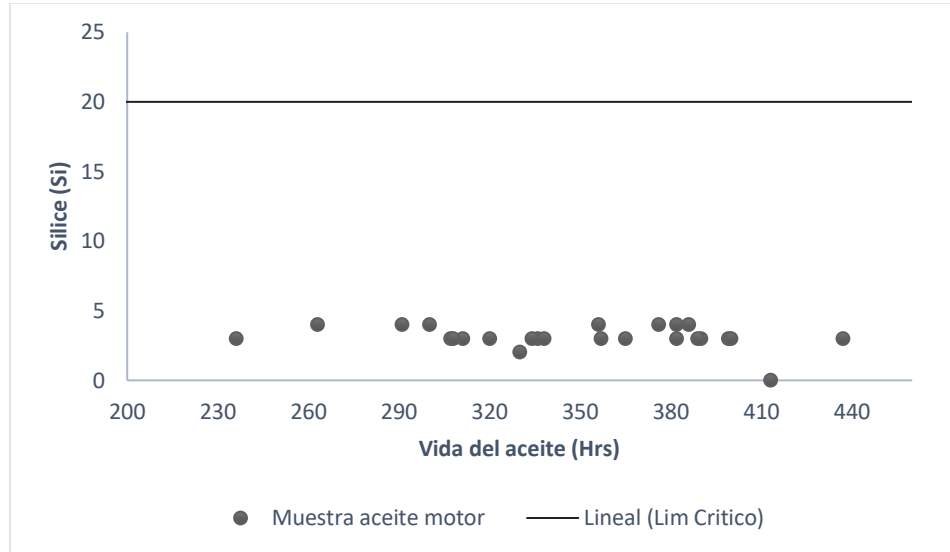
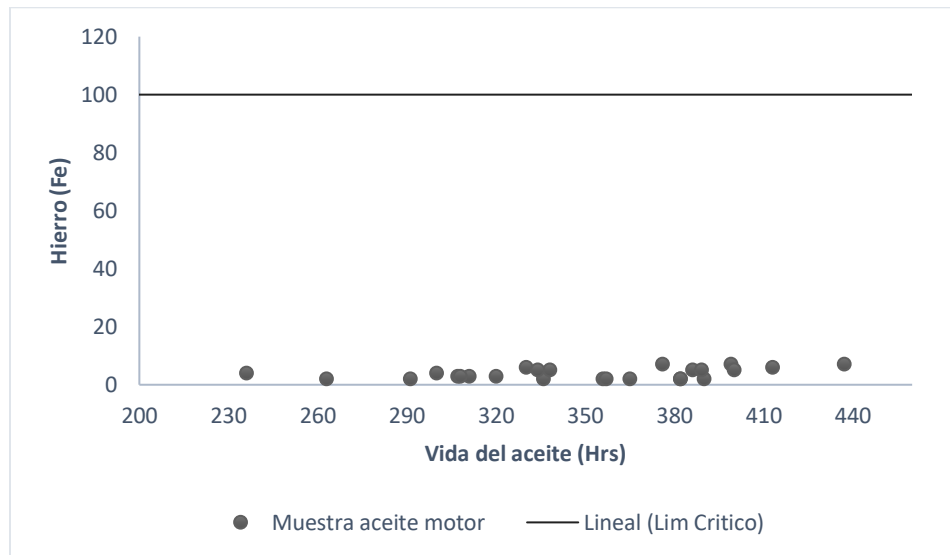
**Figura 0.28** Tendencia contaminación por hierro. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024.**Figura 0.29** Tendencia contaminación por cobre. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024

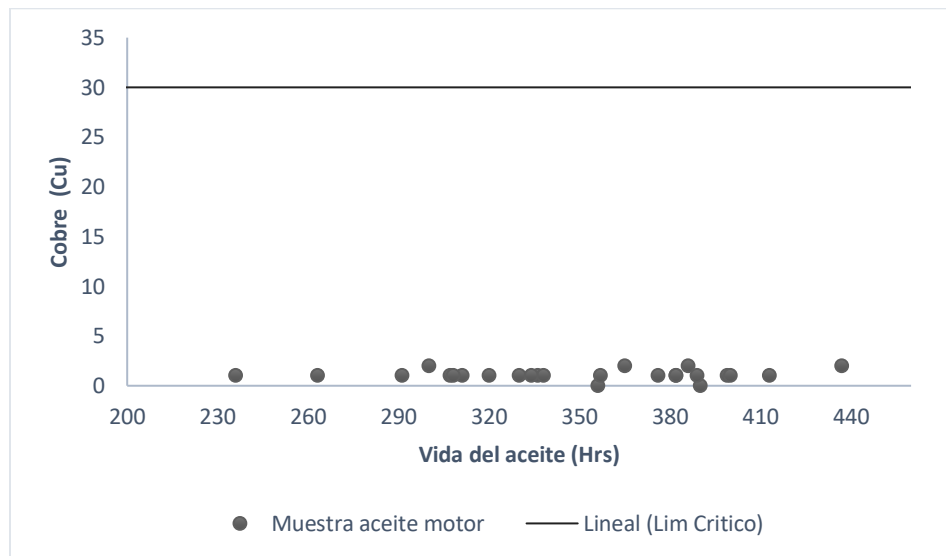
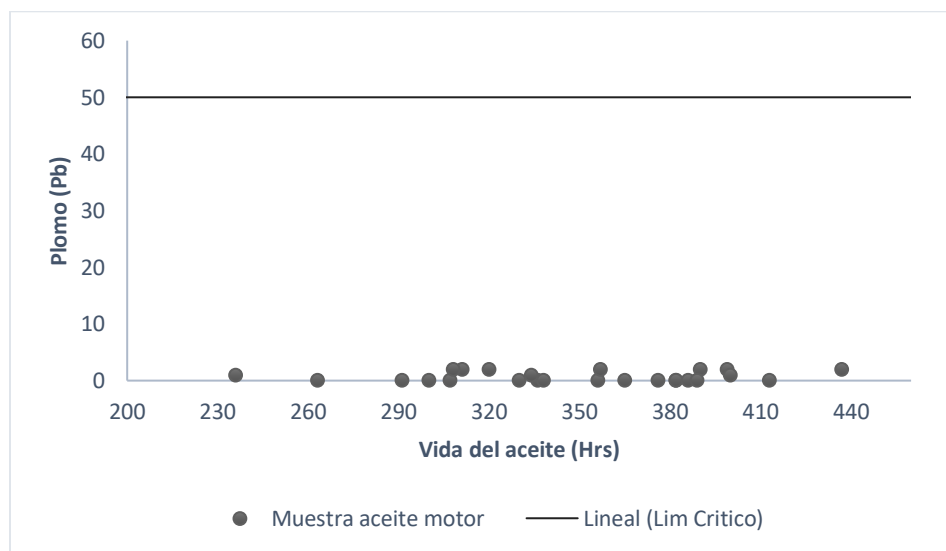
**Figura 0.30** Tendencia contaminación por plomo. Minicargadores - Marval. Margarita G. 2024

**4.1.3.1.3 Tendencias de los resultados muestras de aceite, volquetas Construcciones Marval.** as volquetas mostraron resultados estables en cuanto a la condición del aceite. Los contaminantes metálicos (especialmente el cobre y el plomo) presentaron ligeras fluctuaciones, pero se mantuvieron dentro de los límites establecidos. Estos resultados indican que el aceite está desempeñando su función de protección de manera efectiva, incluso en condiciones de trabajo prolongadas y bajo carga.

**Figura 0.31** Tendencia de la viscosidad. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024.**Figura 0.32** Tendencia de la oxidación. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024.

**Figura 0.33** Tendencia dilución de combustible. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024**Figura 0.34** Tendencia contaminación por agua. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024

**Figura 0.35** Tendencia contaminación por sílice. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024.**Figura 0.36** Tendencia contaminación por hierro. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024.

**Figura 0.37** Tendencia contaminación por cobre. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024.**Figura 0.38** Tendencia contaminación por plomo. Volquetas - Marval. Margarita G. 2024.

**4.1.3.2 Tendencias en los parámetros monitoreados.** Para un análisis global de los datos, se evaluaron las tendencias generales en los parámetros monitoreados para los diferentes tipos de

flotas y clientes. Los gráficos de tendencia permitieron identificar patrones recurrentes y prever posibles riesgos futuros. A continuación, se presentan las principales tendencias observadas:

**Viscosidad del aceite:** La mayoría de los equipos, tanto de Concremóvil como de Construcciones Marval, mantuvieron la viscosidad del aceite dentro de los parámetros recomendados por los fabricantes, a excepción de algunas muestras de mixers donde se registró una ligera disminución en la viscosidad debido a la dilución de combustible. Esta condición es normal considerando las largas horas de ralentí de estos equipos, pero debe seguirse monitoreando.

**Niveles de metales desgastantes:** En ambos clientes, se observó una tendencia creciente en los niveles de cobre y hierro en algunos equipos, particularmente en los minicargadores y volquetas de Construcciones Marval. Estos aumentos, aunque dentro de los límites permitidos, pueden ser indicativos de desgaste en los cojinetes o en otras partes móviles del motor. En el caso de Concremóvil, los niveles de desgaste se mantuvieron más estables, con solo algunas variaciones menores en ciertas muestras.

**Contaminantes externos:** No se registraron niveles alarmantes de agua o suciedad en las muestras, lo que sugiere que los sistemas de filtración de ambos clientes están funcionando correctamente y que las condiciones operativas no están introduciendo contaminantes externos de manera significativa.

**4.1.3.3 Comparación global del desempeño de los clientes:** Al comparar los resultados obtenidos de ambos clientes, se puede determinar que:

**Concremóvil:** Los resultados de las muestras de aceite indican que los mixers están operando en condiciones óptimas, con solo ligeras variaciones en los niveles de viscosidad y metales. El uso prolongado del aceite no ha comprometido el rendimiento de los motores, lo que

sugiere que la estrategia de extender los periodos de cambio de aceite ha sido exitosa para este cliente, reduciendo los costos sin afectar la disponibilidad de los equipos.

**Construcciones Marval:** Aunque en general los resultados son positivos, los minicargadores y volquetas han mostrado ligeros incrementos en los niveles de hierro y cobre, lo que sugiere que se podría requerir un monitoreo más riguroso en el futuro para evitar un desgaste excesivo de los componentes. A pesar de estos incrementos, el rendimiento del aceite sigue siendo adecuado, y la extensión del periodo de cambio ha permitido reducir los costos operativos sin comprometer la operatividad de los equipos.

## **4.2 Impacto económico de la extensión del periodo de cambio de aceite.**

### ***4.2.1 Obtención de datos sobre los costos de mantenimiento***

Antes de la implementación de la estrategia de extensión del período de cambio de aceite, se recopilaron datos sobre los costos de mantenimiento preventivo asociados a las operaciones del cliente Concremovil y Construcciones Marval. Estos datos incluyeron no solo los costos directos de los cambios de aceite, sino también otros gastos asociados que influyen en el costo total de operación, tales como:

**Mano de obra:** El personal técnico necesario para ejecutar el mantenimiento preventivo.

**Repuestos:** El costo de los insumos empleados, como aceites, filtros, sellos, y cualquier otro componente necesario para el proceso.

**Tiempo de inactividad:** Se contabilizó el tiempo que los equipos estuvieron fuera de servicio debido a los mantenimientos, lo cual se traduce en pérdidas operativas al no estar los equipos disponibles para su uso.

Para Concremóvil, los datos mostraron que los 8 mixers bajo análisis tenían un costo promedio por cambio de aceite de \$2'353.916. Estos cambios de aceite se realizaban con una frecuencia de 3.6 cambios por año, lo que implicaba un costo total anual considerable. Adicionalmente, los mixers operaban alrededor de 210 horas mensuales, lo que hacía que cada hora de inactividad resultara en una pérdida significativa, especialmente en proyectos críticos de producción de concreto.

Para Construcciones Marval, se identificaron los costos de mantenimiento de una flota compuesta por volquetas y minicargadores. En promedio, el costo de cada intervención de cambio de aceite, que incluía tanto la mano de obra como los materiales, era de \$800.000 para los minicargadores y \$2'500.000 para las volquetas. Se estimó que estos equipos requerían un promedio de 8.6 cambios de aceite por año. Dado que cada intervención significaba también una parada operativa de aproximadamente 4 horas para los minicargadores y 8 horas para las volquetas, el tiempo total de inactividad anual se calculó en 136 horas para las volquetas, y 137 horas para los minicargadores estudiados, lo cual impactaba directamente en la eficiencia de las operaciones de Marval.

#### ***4.2.2 Evaluación de costos luego de la extensión del periodo de cambio de los aceites.***

Una vez implementada la estrategia de extensión del período de cambio de aceite, se observaron reducciones notables en los costos de mantenimiento. Los análisis revelaron que la menor frecuencia de cambios de aceite tuvo un impacto positivo.

La comparación entre los costos pre y post implementación de la estrategia permitió cuantificar de manera precisa el impacto económico. Esta comparación no solo reflejó los ahorros directos obtenidos mediante la reducción en la frecuencia de cambios de aceite, sino también

algunos beneficios operativos relacionados con una mayor eficiencia en la utilización de los recursos.

**Calculadora de Ahorro:** Se utilizó una calculadora de ahorro para comparar los costos anuales antes y después de la implementación de la estrategia. Los resultados mostraron una disminución considerable en los costos de mantenimiento para ambas empresas:

**En Construcciones Marval:** A pesar de que el costo unitario de cada cambio de aceite no varió de gran manera, la reducción en la frecuencia de cambios fue significativa. Antes de la implementación, los equipos requerían 8.6 cambios por año, pero tras la implementación, esta frecuencia bajó a 7.2 cambios para los minicargadores y 5.4 para las volquetas, lo que resultó en un ahorro anual estimado de \$48'584.592. Esto no solo impactó en los costos de materiales y mano de obra, sino también en la cantidad de horas de inactividad, que se redujeron proporcionalmente a los intervalos extendidos de mantenimiento.

**En Concremóvil:** Los resultados fueron igualmente positivos. La frecuencia de cambios de aceite de los mixers se redujo de 3.6 cambios por año a 2.7 cambios por año, lo que permitió a la empresa disminuir sus costos anuales de mantenimiento de \$296'593.416 a \$205'415.572. La disminución de las intervenciones no solo generó ahorros monetarios directos, sino que también permitió a los mixers estar operativos por más tiempo debido al seguimiento de las muestras de aceite, lo que aumentó la capacidad de respuesta en proyectos exigentes.

**Tabla 3.** Calculadora de ahorro, Construcciones Marval.

Equipo		MINICARGADORES	VOLQUETAS
Cantidad de equipos		19	4
Periodo de operación mensual	[Hrs]	140	180

<b>1. PANORAMA ANTERIOR</b>			
Periodo de cambio	[Hrs]	<b>250</b>	<b>250</b>
Numero de cambios al año	[Año]	<b>8,6 cambios</b>	<b>8,6 cambios</b>
Costo Mantenimiento IVA Incl	[\$/Mtto]	\$ 800.000	\$ 2.500.000
<b>1.1 COSTOS ANUALES CAMBIO DE ACEITE FLOTA</b>			
Costo mantenimiento		\$ 131.328.000	\$ 86.400.000
<b>Total</b>	<b>[\$]</b>	<b>\$ 131.328.000</b>	<b>\$ 86.400.000</b>

<b>2. PANORAMA ACTUAL</b>			
Periodo de cambio	[Hrs]	<b>300</b>	<b>400</b>
Numero de cambios al año	[Año]	<b>7,2 cambios</b>	<b>5,4 cambios</b>
Costo Mantenimiento IVA Incl	[\$/Mtto]	\$ 798.316	\$ 2.774.712
<b>2.1 COSTOS ANUALES CAMBIO DE ACEITE FLOTA</b>			
Costo mantenimiento		\$ 109.209.629	\$ 59.933.779
<b>Total</b>	<b>[\$]</b>	<b>\$ 109.209.629</b>	<b>\$ 59.933.779</b>

<b>3. AHORROS GENERADOS</b>			
<b>3.1 AHORROS ANUALES CAMBIO DE ACEITE FLOTA</b>			
Ahorro mantenimiento		\$ 22.118.371	\$ 26.466.221
<b>Total</b>	<b>[\$]</b>	<b>\$ 22.118.371</b>	<b>\$ 26.466.221</b>
	<b>[%]</b>	<b>17%</b>	<b>31%</b>

**Tabla 4.** Calculadora de ahorro, Concremóvil

Equipo		<b>MIXER</b>
Cantidad de equipos		35
Periodo de operación mensual	[Hrs]	210
<b>1. PANORAMA ANTERIOR</b>		
Periodo de cambio	[Hrs]	<b>700</b>
Numero de cambios al año	[Año]	<b>3,6 cambios</b>
Costo Mantenimiento IVA Incl	[\$/Mtto]	\$ 2.353.916
<b>1.1 COSTOS ANUALES CAMBIO DE ACEITE FLOTA</b>		
Costo mantenimiento		\$ 296.593.416
<b>Total</b>	<b>[\$]</b>	<b>\$ 296.593.416</b>
<b>2. PANORAMA ACTUAL</b>		
Periodo de cambio	[Hrs]	<b>950</b>
Numero de cambios al año	[Año]	<b>2,7 cambios</b>
Costo Mantenimiento IVA Incl	[\$/Mtto]	\$ 2.212.526
<b>2.1 COSTOS ANUALES CAMBIO DE ACEITE FLOTA</b>		
Costo mantenimiento		\$ 205.415.572
<b>Total</b>	<b>[\$]</b>	<b>\$ 205.415.572</b>
<b>3. AHORROS GENERADOS</b>		
<b>3.1 AHORROS ANUALES CAMBIO DE ACEITE FLOTA</b>		
Ahorro mantenimiento		\$ 91.177.844
<b>Total</b>	<b>[\$]</b>	<b>\$ 91.177.844</b>
	<b>[%]</b>	<b>31%</b>

**4.2.2.1 Proyección de ahorro a toda la flota**

Basado en los resultados obtenidos de los equipos seleccionados, se realizó una proyección de ahorro para toda la flota de ambas empresas:

**Concremóvil:** La flota completa de 35 mixer podría beneficiarse con un ahorro proyectado de \$91'177.844 anual (31%) lo cual representaría una mejora sustancial en la eficiencia operativa y en la capacidad de respuesta en proyectos.

**Construcciones Marval:** Se proyectó que, si toda la flota de 4 volquetas y 19 minicargadores implementara la estrategia, el ahorro total estimado podría alcanzar los \$48'584.592 (24%) anual, con una reducción significativa en el tiempo de inactividad total.

### **4.3 Disponibilidad de los equipos**

#### ***4.3.1 Recolección de datos sobre disponibilidad***

Antes de la implementación de la estrategia de extensión del período de cambio de aceite, se recopilaron datos detallados sobre la disponibilidad de los equipos, prestando especial atención al tiempo de inactividad causado por los mantenimientos preventivos. Estos datos incluyeron:

**Para Concremóvil:** La disponibilidad promedio de los mixers antes de la implementación era del 96%. Los mantenimientos preventivos, incluidos los cambios de aceite, no afectaban directamente la disponibilidad, ya que se realizaban los domingos, un día en el que no operaban. Sin embargo, los mixers continuaban operando 210 horas mensuales, cumpliendo con su rol crucial en la producción de concreto para proyectos de construcción.

**Para Construcciones Marval:** La disponibilidad promedio de los equipos (minicargadores y volquetas) se veía afectada por los mantenimientos preventivos programados durante horas laborales. Antes de la implementación de la estrategia, los minicargadores trabajan un promedio de 140 horas mensuales y las volquetas 180 horas mensuales. Los tiempos de mantenimiento eran significativos: 4 horas por cada minicargador y 8 horas por cada volqueta. Esto generaba un tiempo de inactividad considerable, afectando la disponibilidad y limitando su uso en proyectos clave. Se realizaban un promedio de 8.6 mantenimientos por año, lo que resultaba en una pérdida de 34.4 horas al año para los minicargadores y de 68.8 horas al año para las volquetas. La disponibilidad promedio de los minicargadores era del 97.95% y la de las volquetas del 96.82%.

#### ***4.3.2 Análisis de disponibilidad de equipos, luego de implementación***

Después de la implementación de la estrategia, se evaluaron los beneficios obtenidos en términos de disponibilidad de los equipos. Al reducir la frecuencia de los cambios de aceite, los equipos pasaron más tiempo en operación activa, lo que se tradujo en un aumento de la disponibilidad

**Para Concremóvil:** A pesar de que los mantenimientos no afectaban la disponibilidad debido a su ejecución en domingos, la implementación del análisis constante de muestras de aceite permitió identificar posibles problemas antes de que se convirtieran en fallas graves. Esto mejoró indirectamente la confiabilidad de los mixers y evitó paradas inesperadas que habrían afectado su rendimiento en los días laborables. Con esta estrategia preventiva, se fortaleció la estabilidad operativa de la flota, manteniendo un nivel de disponibilidad del 96% y asegurando una mayor capacidad de respuesta en proyectos críticos.

**Para Construcciones Marval:** La disponibilidad de los equipos mejoró notablemente debido a la reducción en los tiempos de mantenimiento y a la menor frecuencia de cambios de aceite. Anteriormente, el mantenimiento de un minicargador demoraba 4 horas, y el de una volqueta 8 horas. Tras la implementación de la estrategia, estos tiempos se redujeron a 1 hora para los minicargadores y a 1 hora y 30 minutos para las volquetas. Además, la cantidad de mantenimientos preventivos anuales también disminuyó: se pasó de realizar 8.6 mantenimientos a 7.2 por año para los minicargadores, y de 8.6 a 5.4 para las volquetas. Esto resultó en una pérdida de solo 7.2 horas anuales para los minicargadores y 8.1 horas anuales para las volquetas.

La disponibilidad de los minicargadores aumentó a 99.57% y la de las volquetas a 99.63%, lo que representa una mejora considerable en la disponibilidad operativa. Estos incrementos permiten que los equipos estén disponibles durante más horas para trabajar en proyectos importantes, logrando una mayor eficiencia operativa y reduciendo el impacto del tiempo de inactividad.

## 5. Conclusiones

Este estudio evaluó el impacto del análisis de muestras de aceite en motores diésel sobre la operación y la reducción de costos en los sectores de construcción y cemento, para los clientes de Dozernaq: Construcciones Marval y Concremóvil. A través de los resultados obtenidos, se pueden destacar las siguientes conclusiones:

Impacto positivo de la extensión del período de cambio de aceite: El estudio demostró que la extensión del período de cambio de aceite mediante el análisis de muestras tuvo un impacto positivo tanto en la reducción de costos como en la disponibilidad operativa de los equipos. En Construcciones Marval, se logró una reducción del 24% en los costos de mantenimiento y un aumento en la disponibilidad operativa de los minicargadores (99.57%) y volquetas (99.63%), mientras que en Concremóvil los costos disminuyeron un 31%, manteniéndose una alta disponibilidad del 96%.

Eficacia del análisis de muestras de aceite: El análisis de muestras de aceite fue eficaz para extender los intervalos de cambio de aceite sin comprometer el rendimiento del motor ni la confiabilidad de los equipos. Los parámetros clave, como la viscosidad del aceite y los niveles de

contaminantes, se mantuvieron dentro de los rangos aceptables, demostrando que la estrategia de mantenimiento preventivo es viable y sostenible a largo plazo.

**Reducción de costos operativos:** La estrategia de extensión del período de cambio de aceite permitió una reducción considerable de los costos operativos, especialmente en términos de mano de obra, tiempo de inactividad, y materiales como aceite y filtros. En el caso de Construcciones Marval, con los minicargadores se generó un ahorro del 17% anual y para las volquetas un ahorro del 31% anual. Concremóvil, generó un ahorro en mantenimiento del 31% anual. Estos ahorros refuerzan la importancia de aplicar medidas que optimicen la eficiencia operativa y reduzcan los gastos sin afectar la calidad de la operación.

**Aumento de la disponibilidad de los equipos:** La disponibilidad de los equipos mejoró notablemente en Construcciones Marval, donde los tiempos de mantenimiento se redujeron drásticamente de 4 horas a 1 hora para los minicargadores, y de 8 horas a 1.5 horas para las volquetas. Esto permitió que los equipos estuvieran disponibles más tiempo para las operaciones, mejorando la productividad global de la empresa. En Concremóvil, si bien los mantenimientos no afectaban directamente la disponibilidad, el monitoreo constante de las muestras de aceite permitió prevenir fallas imprevistas, lo que incrementó la confiabilidad operativa.

**Contribución a la sostenibilidad operativa:** La estrategia también contribuyó a una operación más sostenible, al reducir la cantidad de cambios de aceite necesarios, disminuyendo así el uso de lubricantes y la generación de residuos. Para el caso de Construcciones Marval, los minicargadores pasaron de realizar 8.6 cambios anuales a 7.2 cambios anuales, y en el caso de las volquetas, pasaron de 8.6 cambios anuales a 5.4 cambios anuales. En el caso de Concremóvil, los mixer pasaron de realizar 3.6 cambios anuales a 2.7 cambios anuales. Esto resalta el valor de

aplicar estrategias que no solo mejoren la eficiencia operativa, sino que también tengan un impacto positivo en el medio ambiente.

## **6. Recomendaciones**

A partir de los resultados obtenidos en este estudio y con el objetivo de mantener y ampliar los beneficios alcanzados mediante la implementación de la estrategia de extensión del período de cambio de aceite, se proponen las siguientes recomendaciones. Estas están orientadas a optimizar aún más los procesos de mantenimiento, mejorar la disponibilidad de los equipos, y maximizar la reducción de costos operativos y el uso eficiente de recursos en Construcciones Marval y Concremóvil.

**Monitoreo continuo del aceite:** Se recomienda continuar con el análisis periódico de las muestras de aceite para asegurar que los intervalos extendidos no afecten negativamente el rendimiento de los motores. Aunque los resultados hasta ahora han sido favorables, es necesario seguir vigilando cualquier posible aumento en los niveles de contaminantes que podrían requerir ajustes en la estrategia.

**Expansión de la estrategia a toda la flota:** Dado el éxito de la implementación inicial, se sugiere aplicar la extensión del período de cambio de aceite a toda la flota de Concremóvil y Construcciones Marval, ya que esto proporcionará un ahorro aún mayor en costos operativos. La proyección realizada muestra que la flota completa podría beneficiarse con un ahorro anual de hasta \$48'584.592 en Marval y \$91'177.844 en Concremóvil.

**Disminución del tiempo de inactividad:** A pesar de los buenos resultados, es importante seguir disminuyendo el tiempo de inactividad programada. A medida que se desarrollan nuevas

tecnologías y herramientas de mantenimiento predictivo, se puede mejorar aún más la eficiencia de las operaciones.

### Referencias Bibliográficas

- Blanchard, B. S., & Fabrycky, W. J. (2006). *Systems Engineering and Analysis*. Prentice Hall.
- Boyd, B. K., & Drewry, S. (2013). *Maintenance Engineering Handbook*. McGraw-Hill Education.
- Cárdenas, L., & Pineda, R. (2012). Mantenimiento preventivo en la industria petrolera venezolana. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 15(3), 200-215.
- Chew, Y. K. (2004). *Managing Maintenance Resources*. Butterworth-Heinemann.
- Fernández, A., & Gutiérrez, M. (2013). Optimización de los intervalos de cambio de aceite en la industria automotriz colombiana. *Journal of Industrial Engineering*, 23(4), 456-467.
- García, J., & López, P. (2016). Análisis de aceite en flotas de transporte en México. *Revista de Tecnología Automotriz*, 12(2), 120-132.
- Gómez, R., & Rodríguez, L. (2014). Impacto económico del mantenimiento preventivo en la industria minera brasileña. *Brazilian Journal of Maintenance*, 8(1), 44-59.
- Hernández, E., & Martínez, C. (2015). Beneficios del mantenimiento preventivo en el transporte público peruano. *Peruvian Journal of Engineering*, 29(5), 315-330.
- Huang, H., Rao, A., & Shang, H. (2016). *Lubricant Analysis and Condition Monitoring*. Elsevier.
- Johnson, J. P., Lee, K. T., & Moore, R. (2017). *Engineering Asset Management: Methods and Applications*. Springer.
- Kumar, S. A., & Suresh, N. (2008). *Production and Operations Management*. New Age International Publishers.
- Lindley, R. (2009). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook*. McGraw-Hill.
- Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Butterworth-Heinemann.
- Pérez, F., & Ramírez, J. (2014). Impacto del análisis de aceite en la industria minera chilena. *Journal of Mining Technology*, 17(3), 225-237.

Pintelon, L., & Puyvelde, F. V. (2006). *Maintenance Decision Making*. Springer.

Rivas, M., & Escobar, J. (2015). Beneficios económicos del mantenimiento preventivo en la industria energética argentina. *Argentinian Journal of Industrial Economics*, 19(4), 289-303.

Smith, L., & Martin, K. (2015). *Machinery Oil Analysis: Methods, Automation & Benefits*. Noria Corporation.

Stachowiak, G., & Batchelor, A. (2005). *Engineering Tribology*. Elsevier.

Tsang, A. H. (2002). *Strategic Maintenance Planning*. Butterworth-Heinemann.

**Apéndice**

**Apéndice A.** Resultados de Muestras de Aceite – Concremóvil

**Apéndice B.** Resultados de Muestras de Aceite – Construcciones Marval

**Apéndice C.** Tendencias de los resultados de las muestras de aceite

**Apéndice D.** Calculadora de Ahorros – Extensión del período de cambio

**Apéndice E.** Autorización de uso de datos