

11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
38 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA
PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS**
(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.unfels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- 1). TESIS () 2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL (X)

DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres: PEREZ ZAPANA WESLY ANTONIO
D.N.I.: 70568310
Otro Documento:
Nacionalidad: PERUANA
Teléfono: 945657350
e-mail: 2016100096@unfels.edu.pe

DATOS ACADÉMICOS

Pregrado

Facultad: FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
Programa Académico: TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Título Profesional otorgado: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Postgrado

Universidad de Procedencia:
País:
Grado Académico otorgado:

Datos de trabajo de investigación

Título: "ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD EN CAMIONES MIXER DE UNA PLANTA CONCRETERA"
Fecha de Sustentación: 14 DE DICIEMBRE DE 2024
Calificación: APROBADO POR UNANIMIDAD
Año de Publicación: 2025



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo No autorizo

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	info:eu-repo/semantics/openAccess (Para documentos en acceso abierto)	<input checked="" type="checkbox"/>

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	info:eu-repo/semantics/restrictedAccess (Para documentos restringidos)	<input type="checkbox"/>
	info:eu-repo/semantics/embargoedAccess (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	<input type="checkbox"/>
	info:eu-repo/semantics/closedAccess (para documentos confidenciales)	<input type="checkbox"/>

(*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

Motivos de la elección del acceso restringido:

PEREZ ZAPANA WESLY ANTONIO

APELLIDOS Y NOMBRES

70568310

DNI



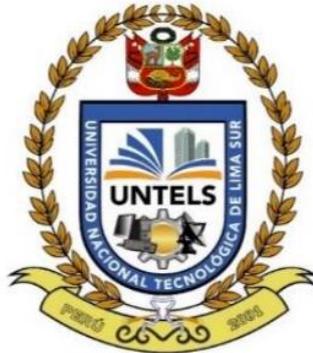
Firma y huella:



Lima, 07 de ENERO del 20 25

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD
EN CAMIONES MIXER DE UNA PLANTA CONCRETERA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

PEREZ ZAPANA, WESLY ANTONIO
ORCID: 0009-0009-1367-0955

ASESOR

PUMA CORBACHO, SOLIN EPIFANIO
ORCID: 0000-0003-4614-8169

**Villa el Salvador
2024**



VII Programa de Titulación por la Modalidad de Trabajo de Suficiencia Profesional
Facultad de Ingeniería y Gestión

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OBTENER EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

En Villa El Salvador, siendo las 13:06 horas del día 14 de diciembre de 2024, reunidos en las instalaciones de la UNTELS, los miembros del Jurado Evaluador, integrado por:

PRESIDENTE: FABIO ZEGARRA CHOQUE ORCID N°0000-0002-7113-5100 Colegiatura N°84031
SECRETARIO: FABRIZIO A. MILLAN MONTALVO ORCID N°0000-0003-0668-6907 Colegiatura N°112861
VOCAL : MARGARITA F. MURILLO MANRIQUE ORCID N°0000-0003-2580-0082 Colegiatura N°59410

Nombrados con RESOLUCIÓN DE DECANATO N°232-2024-UNTELS-R-D, de fecha 12 de diciembre de 2024, quienes dan inicio a la Sesión Pública de Sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional.

Acto seguido, el aspirante al Título Profesional en **Ingeniero Mecánico Electricista**.

Don (ña): **WESLY ANTONIO PEREZ ZAPANA** identificado(a) con D.N.I. N°70568310; procedió con la Sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional Titulado:

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD EN CAMIONES MIXER DE UNA PLANTA CONCRETERA

Autorizado mediante RESOLUCIÓN DE DECANATO N°234-2024-UNTELS-R-D, de fecha 12 de diciembre de 2024, de conformidad con las disposiciones del Reglamento General para el Otorgamiento de Grado Académico y Título Profesional vigente, sustentó y absolvió las interrogantes que le formularon los señores miembros del Jurado Evaluador.

Concluida la Sustentación se procedió a la evaluación y calificación correspondiente, de acuerdo al Art. 57° del Reglamento General para optar el Título Profesional.

CALIFICACIÓN		CONDICIÓN	EQUIVALENCIA
NÚMERO	LETRAS		
15	Quince	Aprobado por Unanimidad	Buena

Siendo las 13:28 horas del día 14 de diciembre de 2024, se dio por concluido el acto de sustentación, firmando el jurado evaluador el Acta de Sustentación y con firma del sustentante en señal de conformidad.


FABIO ZEGARRA CHOQUE
PRESIDENTE


FABRIZIO ARMÁNDO MILLAN MONTALVO
SECRETARIO


MARGARITA F. MURILLO MANRIQUE
VOCAL


WESLY ANTONIO PEREZ ZAPANA
BACHILLER

Nota: Artículo 50°. - Para el inicio y desarrollo de la sustentación se requiere la presencia física y permanente de los integrantes del jurado. De faltar algún miembro del jurado, la sustentación procederá con los dos integrantes presentes. En caso de ausencia del presidente del jurado, ésta será asumida por el jurado de mayor categoría y antigüedad. En caso de ausencia de dos (02) integrantes del jurado, se suspenderá el acto de sustentación, pudiendo reprogramarse dentro de los cinco (05) días hábiles siguientes, sin perjuicio de aplicar el artículo 62° del presente Reglamento.

DEDICATORIA

A mi familia, enamorada, y en especial a mis padres Delfín Pérez y Susana Zapana que siempre creyeron en mí a pesar de todos los obstáculos; ya sea económicos, temas sociales y de salud. Nunca dejaron de apoyarme, estuvieron conmigo incondicionalmente.

AGRADECIMIENTO

Primero que nada, agradezco a Dios por darme salud y guiarme por el buen camino. Agradezco también a la UNTELS, mi alma mater por su compromiso con la excelencia académica. Sin los conocimientos brindados por sus docentes, este trabajo no habría sido posible.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
LISTADO DE FIGURAS	vi
LISTADO DE TABLAS	vii
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	ix
CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES	1
1.1 Contexto	1
1.1.1 Misión	1
1.1.2 Visión	1
1.1.3 Servicios y productos	1
1.2 Delimitación temporal y espacial del trabajo	2
1.2.1 Temporal	2
1.2.2 Espacial.....	2
1.3 Objetivos de la investigación	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes	4
2.1.1 Antecedentes nacionales	4
2.1.2 Antecedentes internacionales	5
2.2 Bases teóricas	6
2.2.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	6
2.2.2 Análisis de criticidad	6
2.2.3 Análisis de modo y efecto de falla	9
2.2.4 Análisis de aceite	12
2.2.5 Motor de combustión interna	13

2.2.6	MTBF (Mid time between failure)	13
2.2.7	MTTR (Mid time to repair)	14
2.2.8	Disponibilidad por averías	14
2.2.9	Concreto premezclado	15
2.2.10	Camión mixer	15
2.2.11	Bombo giratorio o trompo	16
2.2.12	Chute de carga.....	16
2.2.13	Reductor hidráulico	16
2.2.14	Bomba hidráulica.....	17
2.2.15	Motor hidráulico.....	18
2.3	Definición de términos básicos.....	18
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL		21
3.1	Determinación y análisis del problema	21
3.2	Modelo de solución propuesto.....	21
3.3	Resultados	23
CONCLUSIONES		37
RECOMENDACIONES		38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		39
ANEXOS		42

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: <i>Representación satelital de ubicación de la concretera.</i>	2
Figura 2: <i>Valores de factores clave para hallar el CTR.</i>	8
Figura 3: <i>Matriz 4x5 de criticidad de equipos.</i>	9
Figura 4: <i>Ejemplo de modos de fallo.</i>	11
Figura 5: <i>Ejemplo de efectos de falla.</i>	12
Figura 6: <i>Componentes del camión mixer.</i>	15
Figura 7: <i>Reductor hidráulico.</i>	17
Figura 8: <i>Bomba hidráulica plato oscilante.</i>	17
Figura 9: <i>Motor hidráulico de engranajes.</i>	18
Figura 10: <i>Gráfica de modos de falla y efecto del motor.</i>	27
Figura 11: <i>Gráfica de modos de falla y efecto del enfriador de aceite.</i>	27
Figura 12: <i>Criticidad total por riesgo de componente.</i>	29
Figura 13: <i>Gráfica de viscosidad a 100°C vs horas del aceite del motor.</i>	30
Figura 14: <i>Gráfica de oxidación vs Horas de aceite del motor.</i>	31
Figura 15: <i>Gráfica de TBN vs Horas de aceite del motor.</i>	31
Figura 16: <i>Gráfica de Hollín vs Horas de aceite del motor.</i>	32
Figura 17: <i>Gráfica de Silicio vs Horas de aceite del motor.</i>	33
Figura 18: <i>Gráfica de Hierro vs Horas de aceite del motor.</i>	34
Figura 19: <i>Gráfica de Potasio vs Horas de aceite del motor.</i>	34
Figura 20: <i>Gráfica de Sodio vs Horas de aceite del motor.</i>	35
Figura 21: <i>Gráfica de Cobre vs Horas de aceite del motor.</i>	35
Figura 22: <i>Gráfica de Cromo vs Horas de aceite del motor.</i>	36
Figura 23: <i>Gráfica de Plomo vs Horas de aceite del motor.</i>	36
Figura 24: <i>Gráfica de viscosidad a 100°C vs Horas de aceite del motor.</i>	42
Figura 25: <i>Gráfica de oxidación vs Horas de aceite del motor.</i>	42
Figura 26: <i>Gráfica de TBN vs Horas de aceite del motor.</i>	43
Figura 27: <i>Gráfica de Hollín vs Horas de aceite del motor.</i>	43
Figura 28: <i>Gráfica de Silicio vs Horas de aceite del motor.</i>	44
Figura 29: <i>Gráfica de Hierro vs Horas de aceite del motor.</i>	44
Figura 30: <i>Gráfica de Potasio vs Horas de aceite del motor.</i>	45
Figura 31: <i>Gráfica de Potasio vs Horas de aceite del motor.</i>	45
Figura 32: <i>Gráfica de Cobre vs Horas de aceite del motor.</i>	46
Figura 33: <i>Gráfica de Cromo vs Horas de aceite del motor.</i>	46
Figura 34: <i>Gráfica de Plomo vs Horas de aceite del motor.</i>	47

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: <i>Indicadores de mantenimiento</i>	23
Tabla 2: <i>Detalle de los componentes del camión mixer</i>	24
Tabla 3: <i>Modos de falla del sistema de propulsión</i>	25
Tabla 4: <i>Modos de falla del sistema de lubricación</i>	26
Tabla 5: <i>Componentes del camión mixer con nuevas horas de parada</i>	28
Tabla 6: <i>Propiedades del aceite MOBIL DELVAC MX 15W40</i>	29

RESUMEN

Las plantas concretaras buscan maximizar la disponibilidad de sus equipos para ahorrar costos y cumplir con los clientes. Actualmente, enfrentan problemas en el sistema de propulsión y lubricación del mixer debido a malas prácticas operativas y falta de mantenimiento adecuado.

Para mejorar la disponibilidad, se realizó un análisis detallado que incluyó el cálculo de disponibilidad, análisis de aceite, FMEA y análisis de criticidad. Se encontró que el sistema de propulsión y el sistema de lubricación son los principales responsables de las fallas causando una disponibilidad del 86.76% el cual se encuentra por debajo del rango está establecido por la empresa. Estos sistemas acumularon 4334.8 y 4999.4 horas de parada, respectivamente, entre enero y octubre.

El análisis de criticidad revela que el sistema de propulsión y lubricación representan el 41% de las paradas no programadas, indicando la necesidad de enfocarse en estos componentes para mejorar la disponibilidad.

Además, un análisis exhaustivo del aceite de los motores mostró que es posible extender el intervalo de cambio de aceite de 150 a 200 horas sin comprometer el rendimiento del equipo.

Implementar un programa de mantenimiento preventivo enfocado en estos componentes críticos y monitorear regularmente la condición del aceite puede mejorar significativamente la disponibilidad de la flota, reducir tiempos de parada y prolongar la vida útil de los equipos.

INTRODUCCIÓN

La demanda en la industria de concreto premezclado en el Perú y más aún en el sur del país está en constante crecimiento debido a la reanudación de proyectos de construcción públicos y privados. Esto en base a la reactivación económica causada por la ya conocida pandemia del Covid. Es por lo que la planta concretera está realizando la compra de 16 camiones mixer a GNV para cumplir dicha demanda y además a reducir la contaminación ambiental. Como bien se sabe, los camiones mixer permiten transportar y mezclar el concreto directamente en el sitio de construcción asegurando que llegue a condiciones óptimas para su uso según la petición de cliente. La empresa concretera en la actualidad está operando con una flota de 523 camiones mixer, de los cuales 327 son de la marca china mencionada entre diésel y GNV; es decir, representa el 63% de la flota. Los sistemas más complejos del camión mixer son los siguientes: sistema de propulsión, trompo giratorio y sistema hidráulico.

El problema surge a raíz de la mala praxis de manejo del camión y al mantenimiento fuera de fecha detallada por el fabricante y a la omisión del mantenimiento solicitada por la experiencia del departamento de planeamiento. El presente trabajo busca maximizar la disponibilidad, vida útil del motor con técnicas predictivas (predecir la falla antes que aparezca y alargar la vida de este) y bajo el manual proporcionado por el fabricante. En consecuencia, a ello, lograremos evitar paradas innecesarias, alargar la vida útil del camión mixer, y principales componentes como lo es el motor, el trompo y sistema de dirección.

Es por tal motivo que venimos realizando técnicas predictivas como análisis de aceite, termografía y videoscopía para cumplir con los principales indicadores de mantenimiento como el MTTR, MTBF y disponibilidad que son de vital importancia para que la planta vea en que puede mejorar o que sistemas están fallan.

CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES

1.1 Contexto

La empresa concretera es una subsidiaria del grupo cementero más grande del Perú, se crea en 1996 con la fusión de dos empresas líderes en el país en la producción de concreto premezclado.

La concretera es una empresa líder en soluciones de concreto en Perú. Se especializa en la producción y suministro de concreto premezclado para diversos tipos de obras y proyectos, incluyendo construcciones residenciales, comerciales e industriales, así como proyectos mineros.

1.1.1 Misión

La concretera es una empresa peruana líder en la producción de concreto premezclado, cuya misión es mejorar la calidad de vida a través de la generación de beneficios para la construcción y minería. Logran esto produciendo y comercializando concreto premezclado y productos relacionados, asegurando la satisfacción de sus clientes y agregando valor a sus accionistas, empleados y la sociedad en general. Además, se comprometen con el desarrollo y bienestar de su personal y la comunidad, manteniéndose a la vanguardia en tecnología y mejora continua de sus procesos.

1.1.2 Visión

Convertirse en la empresa líder en el sector peruano de concreto premezclado y productos y servicios relacionados, asegurando la satisfacción del cliente a través de la calidad y el servicio, mientras se fomenta el desarrollo y bienestar del personal y la comunidad.

1.1.3 Servicios y productos

La concretera ofrece una variedad de servicios y productos enfocados en soluciones de concreto tales como: concreto premezclado, servicio de bombeo de concreto, agregados (grava,

arena fina, arena gruesa), prefabricados (adoquines, líneas de pretensados), servicios de minería (shotcrete vía húmeda, relleno cementado) y mezclas listas (bolsas de concreto).

1.2 Delimitación temporal y espacial del trabajo

1.2.1 Temporal

La propuesta de trabajo suficiencia profesional se desarrollará en periodo de 3 meses. Del 31 de agosto hasta el 11 de diciembre de 2024. Durante este tiempo, se analizarán todos los parámetros involucrados.

1.2.2 Espacial

El presente proyecto está ubicado en Cooperativa Las Vertientes Mz F, Lt. 3A (Alt. KM. 18.5 Panamericana Sur), Villa EL Salvador tal como se muestra en la Figura 1 (Representación satelital).

Figura 1

Representación satelital de ubicación de la concretera.



Nota. Tomado de Google Maps.

1.3 Objetivos de la investigación

1. Caracterizar y cuantificar la disponibilidad actual de la flota de camiones mixer a través de un análisis detallado de los históricos de mantenimiento identificando los modos de falla más comunes.
2. Desarrollar análisis de criticidad de los componentes de los camiones mixer para poder priorizar tareas de mantenimiento; buscando que componentes son más propensos a fallar.
3. Desarrollar una técnica predictiva en los motores de los camiones mixer para poder prolongar los intervalos de mantenimiento.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Según estudios previos, el análisis de confiabilidad en mantenimiento ha demostrado ser crucial para garantizar la eficiencia y la seguridad operativa de los sistemas industriales. Diversos autores han abordado este tema desde diferentes perspectivas.

2.1.1 Antecedentes nacionales

De acuerdo con Escarcena y Carrillo (2019), en su trabajo de investigación “Implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para equipos de sostenimiento BOLTER 88” para optar el título de ingeniero mecánico de la Universidad Nacional del Callao, concluye que la metodología de análisis de confiabilidad mejora la gestión del mantenimiento de los activos incrementando un 6.68% la disponibilidad mecánica y un 10.88% la confiabilidad mediante un análisis de criticidad, determinando los modos de fallas y el efecto del activo en su contexto operacional actual para buscar reducir los mantenimientos correctivos.

Por otro lado, Yarin (2021), en su trabajo de investigación operativa “Análisis de confiabilidad orientado a optimizar la gestión del mantenimiento en la línea de producción de geomembranas en la empresa industrial de plásticos Eco System S.A.C.” para optar el título de Licenciado en Investigación operativa por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, concluye que, al utilizar una combinación de datos históricos sobre el tiempo medio entre fallas de los activos y el Análisis de Confiabilidad, se puede optimizar la gestión del mantenimiento de los activos para reducir las horas perdidas de las fallas en un 70.3%

Azañero y Cubillas (2023), en su trabajo de investigación para optar el grado académico de maestro en gerencia de mantenimiento por la Universidad Nacional del Callao llamado “Plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para aumentar

la disponibilidad de las pasarelas de embarque del aeropuerto internacional Jorge Chávez”, concluyen que después de implementar un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, la disponibilidad de los equipos aumentó en un 23%, pasando del 70% al 93%. Los costos de mantenimiento se redujeron significativamente en un 69%. Además, el análisis de criticidad permitió identificar y reducir la criticidad de los componentes.

2.1.2 Antecedentes internacionales

Binimelis (2022) en su trabajo de investigación “Desarrollo de un modelo de mantenimiento para una flota de camiones transportadores de hormigón” para optar el título de ingeniero civil mecánico por la Universidad Técnica Federico Santa María, concluye que para desarrollar un adecuado plan de mantenimiento de los activos es tomarlos de manera individual ya que cada uno opera en un contexto operacional diferente. Debido a ello y aplicando análisis de aceite máximo la periodicidad del cambio de aceite del motor en 400 horas.

Padilla (2021), en su trabajo de investigación para obtener el grado de maestría en gestión de mantenimiento por la Universidad del Alzúay llamado “Propuesta de un plan de mantenimiento basado en los tipos de mantenimiento de la norma EN 13306, en el nuevo Centro de Gestión de la Empresa Pública EMMAIPC EP”, concluye que después de entrevistar al personal involucrado, se comprendió el contexto operacional y el equipamiento de las plantas, y se aplicó el mantenimiento productivo total. Esto permite cuantificar la gestión del mantenimiento la cual se obtuvo un valor aceptable de 53.5%, es decir se mide parámetros de que cantidad de trabajadores están allegados a sus distintas funciones de sus respectivas áreas.

Por último, Reza et al. (2024), en su artículo de investigación para Revista Internacional Heliyon llamado “Análisis de confiabilidad humana en operaciones de mantenimiento y reparación de camiones mineros: un enfoque de red bayesiana”, concluyen que el análisis

reveló que los factores relacionados con el trabajo y la organización tienen un impacto significativo en la probabilidad de ocurrencia de errores humanos, seguidos por factores ambientales, individuales y técnicos. La probabilidad calculada de error humano es del 11%. Los errores humanos incluyen la programación simultánea de mantenimiento preventivo y correctivo, tareas repetitivas y el uso inadecuado de herramientas de control.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Moubray (1997) define al RCM como un procedimiento para identificar las acciones necesarias que garanticen que un bien físico siga operando conforme a las expectativas de los usuarios en su entorno operativo actual. Desde la perspectiva de la ingeniería, cualquier bien físico necesita ser mantenido y ocasionalmente modificado. Mantener se define como preservar el estado actual, mientras que modificar implica cambiar algún aspecto. El mantenimiento se enfoca en asegurar que un bien continúe cumpliendo las funciones deseadas por el usuario. Esto depende del contexto operativo en el que se utiliza el bien.

2.2.2 Análisis de criticidad

En una planta industrial, no todos los equipos tienen la misma relevancia. Algunos son más cruciales que otros. Dado que los recursos de una empresa para el mantenimiento son limitados, es esencial asignar la mayoría de estos recursos a los equipos más importantes, dejando una menor proporción para aquellos que tienen menos impacto en los resultados de la empresa. Para distinguir entre los equipos que tienen una gran influencia en los resultados y los que no, realizamos el análisis de criticidad de los equipos de la planta (García, 2003).

The Woodhouse Partnership Limited (s.f.) incluye el uso de herramientas y procesos para la gestión como lo es la matriz de

criticidad 4x5. Dicha matriz es una herramienta clave en el análisis de criticidad, utilizada para evaluar y priorizar activos según su nivel de riesgo. Este método permite a las organizaciones identificar y priorizar los activos que necesitan más atención y recursos de mantenimiento, basándose en el riesgo que representan para la operación.

La ecuación 1 representa la criticidad total por riesgo.

$$CTR = FF \times C \quad (1)$$

Donde:

CTR: Criticidad total por riesgo

FF: Frecuencia de fallas (Número de fallas por año)

C: Consecuencias de los eventos de la falla

La ecuación 2 denota como se calcula las consecuencia de los eventos de la falla.

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA \quad (2)$$

Donde:

IO: Factor de impacto en la producción

FO: Factor de flexibilidad operacional

CM: Factor de costo de mantenimiento

SHA: Factor de impacto en seguridad industrial, higiene y protección del medio ambiente

Para saber los cinco factores clave: frecuencia de fallas, impacto en la producción, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento y seguridad industrial en el ámbito del mantenimiento industrial se necesita saber los valores de cada uno. En la figura 2 se

detalla los valores de cada factor para hallar el análisis de criticidad de cada equipo o sistema.

Figura 2

Valores de factores clave para hallar el CTR

FF	Frecuencia de fallas
4	Frecuente: mayor a 2 eventos al año
3	Promedio: 1 y 2 eventos al año
2	Bueno: 1 evento al año
1	Excelente: menos de 1 evento al año
IO	Factor de impacto en la producción
10	Pérdidas de producción superiores al 75%
7	Pérdidas de producción entre el 50 y 74%
5	Pérdidas de producción entre el 25 y 49%
3	Pérdidas de producción entre el 10 y 24%
1	Pérdidas de producción menores al 10%
FO	Factor de flexibilidad operacional
4	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir.
2	Se cuentan con unidades que cubren de forma parcial.
1	Se cuentan con unidades de reserva en línea.
CM	Factor de costos de mantenimiento
2	Costo de reparación, materiales y mano de obra mayor a 20,000 dólares
1	Costos de reparación, materiales y mano de obra menor a 20,000 dólares
SHA	Factor de impacto en seguridad industrial, higiene y protección del medio ambiente
8	Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos.
6	Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud y/o incidente ambiental de difícil restauración.
3	Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable).
1	No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales.

Nota. Figura tomada de la web Woodhouse Partnership Limited

Por último, una vez sabiendo los valores se detalla la matriz 4x5 que está estructurada en cuatro filas y cinco columnas. La Figura 3 muestra la criticidad de cada activo, combinando la frecuencia de fallas (baja a alta) con la gravedad de sus consecuencias (insignificantes a catastróficas). Los niveles de criticidad se clasifican como críticos, no críticos o de criticidad media.

Figura 3

Matriz 4x5 de criticidad de equipos.



Nota. Figura tomada de la web Woodhouse Partnership Limited

2.2.3 Análisis de modo y efecto de falla

2.2.3.1 Funciones y niveles de desempeño

Moubray (1997) detalla que el primer paso del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es identificar las funciones y el rendimiento esperado de cada equipo o sistema en su entorno actual. Esto incluye dos aspectos importantes: determinar qué funciones esperan los usuarios y asegurarse de que el equipo pueda cumplir con esas expectativas. Las funciones se dividen en dos tipos: las funciones primarias, que son la razón principal por la que se compró el equipo, como velocidad, rendimiento, capacidad de transporte o almacenamiento, calidad del producto y servicio

al cliente; y las funciones secundarias, que son adicionales a las primarias e incluyen aspectos como seguridad, control, confort, integridad estructural, eficiencia, cumplimiento de normas ambientales y estética. Es crucial que los usuarios participen en este proceso, ya que ellos conocen mejor cómo cada equipo contribuye al bienestar físico y financiero de la organización. Si se hace correctamente, este paso del RCM puede llevar bastante tiempo, pero permite al personal encargado entender a fondo cómo funcionan realmente los equipos.

2.2.3.2 Fallas funcionales

Las fallas funcionales son clave para definir los objetivos de mantenimiento, ya que se basan en las funciones y el rendimiento esperado del equipo. Para lograr estos objetivos, es esencial identificar los diferentes tipos de fallas que pueden ocurrir. En el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), esto se hace en dos etapas: primero, se investigan las circunstancias que llevan a una falla; luego, se analizan las situaciones que causan que el equipo falle. Estas fallas, conocidas como fallas funcionales, ocurren cuando el equipo no puede cumplir una función a un nivel aceptable para el usuario. Esto incluye tanto la incapacidad total de funcionar como las fallas parciales, donde el equipo sigue funcionando, pero con un rendimiento o precisión inaceptables. Estas fallas solo pueden identificarse claramente una vez que se han definido las funciones y los estándares de rendimiento (Moubray, 1997).

2.2.3.3 Modos de falla

Después de identificar las fallas funcionales, el siguiente paso es encontrar todas las posibles causas de estos errores, conocidas como modos de fallas. Estos modos de fallas “razonablemente similares” incluyen eventos que

han ocurrido en el mismo equipo o en equipos similares en el mismo entorno operativo. También se consideran las fallas que se están previniendo con los regímenes de mantenimiento actuales o que podrían ocurrir en el contexto actual (Moubray. 1997)

La lista tradicional de modos de fallas incluye deterioro, desgaste normal y problemas de diseño, pero también pueden abarcar fallas causadas por errores humanos, ya sea de operarios o del personal de mantenimiento. Es fundamental identificar la causa raíz de cada falla para no perder tiempo y esfuerzo tratando solo los síntomas en lugar de las causas reales. Además, es importante no enfocarse en demasiados detalles durante el análisis para usar el tiempo de manera eficiente. Un enfoque preciso en la identificación de las causas de fallas permite gestionar adecuadamente los posibles problemas en los equipos y optimizar el proceso de mantenimiento (Moubray, 1997).

Figura 4

Ejemplo de modos de fallo

SISTEMA MOTOR SUBSISTEMA SISTEMA DE COMBUSTIBLE					
	FUNCION		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Funcion)	MODOS DE FALLA (Causa de la Falla)	
1	Trasferir combustible de un tanque de combustible al motor a un promedio de 1 litro por minuto	Δ	Incapaz de transferir combustible	1	No hay combustible en el tanque.
				3	El filtro esta bloqueado
				7	Línea de Combustible bloqueada.
				1	
				2	Línea de combustible puesta a prueba, etc.

Nota. Tomada del libro de Jhon Moubray, 1997, p. 78

2.2.3.4 Efectos de falla

Es necesario crear una lista detallada de los efectos de las fallas, describiendo lo que sucede cuando ocurre cada modo de falla. Esta descripción debe incluir toda la información necesaria para evaluar las consecuencias, como las evidencias de que la falla ha ocurrido, su posible impacto en la seguridad ambiental, su influencia en la producción u operaciones, y las medidas necesarias para reparar la falla. Este análisis exhaustivo de modos y efectos de fallas ofrece oportunidades significativas para mejorar el desempeño general, aumentar la seguridad y eliminar aspectos innecesarios (Moubray, 1997).

Figura 5

Ejemplo de efectos de falla

MODO DE FALLA		EFFECTOS DE LAS FALLAS
1	Falla en los rodamientos de la caja de engranaje.	El motor se dispara y suena la alarma en la sala de control. 3 horas de inactividad para reemplazar la caja de engranajes. Nuevos rodamientos colocados en el taller.
2	Dentadura del engranaje rota	El motor no se dispara, pero la maquina se detiene. 3 horas de inactividad para reemplazar el engranaje. Nuevo engranaje colocado en el taller.
3	Engranaje falla por falta de aceite	El motor se dispara y la alarma suena en la sala de control. 3 horas de inactividad para reemplazar el engranaje.

Nota. Tomada del libro de Jhon Moubray, 1997, p. 83

2.2.4 Análisis de aceite

Bruce (2012) subraya que el análisis de aceite es crucial para el mantenimiento predictivo y la gestión de lubricantes. Este proceso permite supervisar el estado de los lubricantes y detectar posibles problemas antes de que se conviertan en fallas serias. Los beneficios incluyen la reducción de los costos de mantenimiento, la disminución del tiempo de inactividad no planificado y la mejora de la eficiencia

operativa. También detalla varias técnicas de análisis, como la espectroscopía de infrarrojo, la espectrometría de emisión atómica y la cromatografía de gases, que son esenciales para identificar contaminantes, productos de degradación y el desgaste de los componentes. La técnica de espectroscopía de infrarrojo describe cómo se utiliza para identificar contaminantes y productos de degradación en el aceite, analizando las vibraciones moleculares para determinar la presencia de aditivos y cambios químicos. La espectrometría de emisión atómica lo explica como una herramienta para detectar y cuantificar elementos metálicos en el aceite, lo cual es crucial para identificar el desgaste de los componentes del equipo. Por último, la cromatografía de gases se utiliza para separar y analizar compuestos volátiles en el aceite, ayudando a identificar contaminantes como el combustible no quemado y productos de degradación térmica.

2.2.5 Motor de combustión interna

Escudero et al. (2016) describe que un motor de combustión interna es una máquina capaz de producir energía mecánica la cual el trabajo es realizado por un fluido que actúa sobre elementos móviles que ocupan un volumen variable, siempre acotado por un valor máximo y otro mínimo.

2.2.6 MTBF (Mid time between failure)

Moubray (1997) describe que el MTBF es una métrica que indica cuán confiable es un sistema o componente. Es fundamental en la gestión del mantenimiento, ya que muestra el tiempo promedio que un sistema o componente operará antes de experimentar una falla.

La Ecuación 3 presenta el tiempo medio entre fallas.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número de fallos}} \quad (3)$$

2.2.7 MTTR (Mid time to repair)

Moubray (1997) describe el MTTR como una métrica para evaluar la facilidad de mantenimiento de un sistema. Esta medida indica el tiempo promedio que se necesita para reparar un sistema o componente y devolverlo a su estado operativo. Es fundamental para la gestión del mantenimiento, ya que permite identificar oportunidades para mejorar los procesos de reparación y reducir el tiempo de inactividad.

La Ecuación 4 presenta el tiempo medio de reparación

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento correctivo}}{\text{Número de fallas}} \quad (4)$$

2.2.8 Disponibilidad por averías

Uno de los indicadores más importantes que según Moubray (1997) es la probabilidad de que un sistema, equipo o componente no falle y esté operativo cuando se necesite. Esta probabilidad se expresa en porcentaje y considera tanto la probabilidad de fallo como la rapidez y eficiencia con la que se puede reparar y volver a poner en funcionamiento.

La Ecuación 5 presenta la disponibilidad por averías.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (5)$$

2.2.9 Concreto premezclado

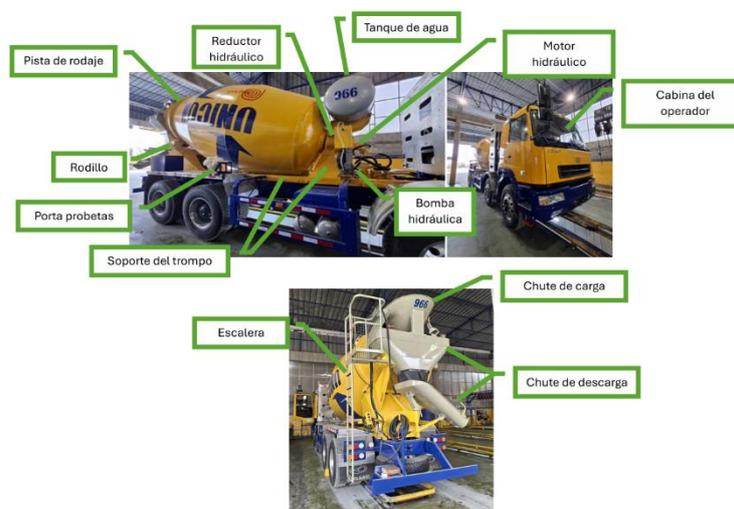
El concreto premezclado es una variante del concreto que se prepara en una planta de concreto y se transporta al sitio de construcción en camiones mixer. Este tipo de concreto se mezcla bajo condiciones controladas, lo que garantiza una mayor uniformidad y calidad en comparación con el concreto mezclado en obra. (Nawy, 2008)

2.2.10 Camión mixer

Se utiliza para transportar hormigón para todos los usos en pavimentos, estructuras y edificios. Es un equipo de transporte especializado en el sector de la construcción, equipado con un tambor rotatorio de alta capacidad. Este tambor, accionado por un sistema hidráulico, mezcla continuamente el hormigón durante el transporte, evitando la segregación de los materiales y garantizando la homogeneidad de la mezcla. Los camiones mixer suelen estar equipados con sistemas de control electrónico que permiten ajustar la velocidad de rotación del tambor y monitorizar la temperatura del hormigón. (Nawy, 2008)

Figura 6

Componentes del camión mixer.



Nota. Elaboración propia.

2.2.11 Bombo giratorio o trompo

El trompo del camión hormigonero, está montada en la parte trasera del vehículo. En este trompo se mezclan los componentes del hormigón. El trompo se apoya en el chasis mediante soportes y rodillos. Dentro del trompo, las paletas aseguran una mezcla uniforme del hormigón a lo largo de su longitud y permiten un vaciado rápido. La orientación del trompo puede ajustarse para facilitar la mezcla en el fondo durante el transporte o para recoger el hormigón durante el vaciado. (Secretaría de Política Sindical, 2022)

2.2.12 Chute de carga

Se trata de un componente con forma de embudo ubicado en la parte superior trasera del camión. Una tolva con las dimensiones adecuadas evitará que las partículas de hormigón se dispersen sobre personas y objetos cercanos durante la carga de la hormigonera. (Nawy, 2008)

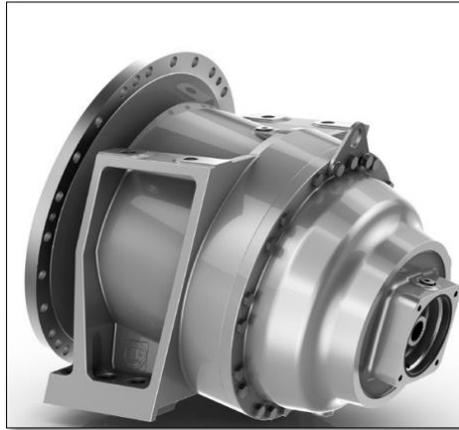
2.2.13 Reductor hidráulico

Este tipo de caja de engranajes utiliza un sistema planetario para transmitir la potencia del motor hidráulico al tambor del mixer, permitiendo una mezcla eficiente y uniforme del concreto. (Rygaard y Ole, 2012)

En la figura 7 se muestra el reductor hidráulico de un camión mixer.

Figura 7

Reductor hidráulico.



Nota. Tomada de la ficha técnica reductor hidráulico de la marca ZF (s.f.)

2.2.14 Bomba hidráulica

Estas bombas transforman la energía mecánica en energía hidráulica, tienen pistones instalados en paralelo, o axialmente, con el eje de la bomba. Se subcategorizan en dos tipos: el tipo de plato oscilante y el tipo de eje inclinado, según el mecanismo de movimiento del pistón. (Parker, 2006)

Figura 8

Bomba hidráulica plato oscilante.



Nota. Tomada de la ficha técnica bomba de pistón axial Bosch Rexroth AG (2016)

2.2.15 Motor hidráulico

Los motores hidráulicos convierten la energía hidráulica en fuerza mecánica rotativa. Su velocidad de rotación se puede ajustar de manera continua controlando el flujo de suministro, mientras que su par de salida depende de la diferencia entre las presiones de entrada y salida del motor. (Parker, 2006)

Figura 9

Motor hidráulico de engranajes.



Nota. Tomada de la ficha técnica motor tipo engranajes Bosch Rexroth AG (2016)

2.3 Definición de términos básicos

Disponibilidad: Es uno de los indicadores más importantes de la planta. Es el cociente de dividir el n° de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el n° de horas totales de un periodo

MTBF: Cuanto tiempo un activo o equipo opera hasta antes que suceda una falla o avería.

MTTR: Cuanto tiempo un activo o equipo demora en salir de la falla o avería, puede ser horas, días, hasta incluso semanas.

Mantenimiento predictivo: Un método de mantenimiento que emplea datos, técnicas predictivas e información recopilada para anticipar y prevenir posibles fallas o problemas en los equipos antes de que sucedan.

Análisis de fallas: Un método para analizar y entender las causas fundamentales de una falla en un sistema o activo, con el objetivo de prevenir que se repita

Mantenimiento centrado en la confiabilidad: Es un método estructurado para garantizar el funcionamiento eficiente de los sistemas. Este enfoque se centra en identificar y gestionar los riesgos de fallas, priorizando las funciones más importantes y aplicando estrategias de mantenimiento para prevenir fallas y mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Gestión de activos: El proceso de gestionar y mejorar la eficiencia, la compra, el mantenimiento y la disposición de los activos de una organización.

Mantenimiento correctivo: Acciones para reparar equipos o sistemas una vez que ha ocurrido una falla o avería.

Mantenimiento preventivo: Tareas de mantenimiento organizadas y programadas con el objetivo de prevenir fallas y extender la vida útil de los equipos.

Indicadores clave de desempeño (KPIs): Métricas clave que se utilizan para medir la eficiencia y efectividad de los procesos de mantenimiento dentro de una organización. Estos indicadores ayudan a identificar áreas que necesitan mejoras, optimizar el uso de recursos y asegurar que los equipos y maquinarias funcionen de manera continua y segura.

Análisis de criticidad: No todos los equipos en una planta industrial tienen la misma relevancia. Algunos equipos son más cruciales que otros. Dado que los recursos de una empresa para el mantenimiento son limitados, es necesario asignar la mayoría de estos recursos a los equipos más importantes, dejando una menor parte para aquellos que tienen menos impacto en los resultados de la empresa.

Horas hombre (HH): Medida en horas que indica la cantidad total de trabajo que una persona puede realizar en una hora.

Modos de falla: Eventos particulares que provocan una falla funcional en un sistema o equipo, siendo las causas principales que impiden que un componente funcione correctamente.

Falla funcional: Incapacidad de un sistema o equipo para desempeñar su función prevista, es decir, cuando no cumple con lo que se espera de él.

Planificación de mantenimiento: Planificar implica determinar cuándo y quién llevará a cabo cada una de las tareas y rutas que forman parte del plan. Pueden ser: planificación de ruta diarias, semanales, mensuales y anuales.

TBN: El TBN (Número Básico Total) mide la capacidad de un aceite para neutralizar ácidos. Se expresa en miligramos de hidróxido de potasio (mg KOH) por gramo de aceite. Esta característica es esencial, ya que durante la combustión se generan ácidos que pueden provocar corrosión y desgaste en los componentes del motor.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL

3.1 Determinación y análisis del problema

La empresa concretera viene cambiando y aumentando su flota de camiones diésel a GNV, esto debido a la reducción de huella de carbono (carbono neutralidad) ya que un camión diésel emite más contaminante (NOx) en 80% que uno a GNV según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

La situación problemática en los camiones mixer a diésel es la disponibilidad de la flota la cual es tema de mi investigación, esto al no cumplimiento del plan de mantenimiento y/o mal manejo del usuario.

Por otro lado, se busca alargar el intervalo de mantenimiento con el cambio de aceite en los motores, actualmente el cambio es cada 150 horas independientemente del plan a ejecutar.

Para ello en el presente informe se está calculando la disponibilidad actual que tienen los camiones diésel antiguos y los modos de fallas más recurrentes como también un análisis de aceite para poder alargar las horas de cambio de aceite. Me basaré en dos principales análisis: análisis de criticidad y análisis de confiabilidad.

3.2 Modelo de solución propuesto

Identificar los modos de fallas más comunes en los camiones mixer a diésel y GNV que no se tiene; calcular la disponibilidad actual de la flota para poder implementar estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, reduciendo así los tiempos de inactividad no planificados. Esto conlleva a optimizar recursos, una mejor planificación y asignación de recursos, tanto humanos como materiales. Una flota bien mantenida y con alta disponibilidad asegura que los servicios se realicen a tiempo, mejorando la satisfacción del cliente. Un mantenimiento adecuado basado en el análisis de fallas puede extender la vida útil de los camiones, reduciendo la necesidad de reemplazos frecuentes.

Desarrollar un análisis de criticidad de los componentes de los camiones mixer para permitir identificar y priorizar las tareas de mantenimiento enfocándose en los componentes más propensos a fallar, dicho análisis ayuda a reducir tiempos de inactividad no planificados al anticipar y prevenir fallas críticas, optimizando así la eficiencia operativa y prolongando la vida útil de los camiones. Además, permite un uso más eficiente de los recursos, tanto humanos como materiales, y contribuye a la seguridad al prevenir accidentes causados por fallos mecánicos. También facilita la toma de decisiones informadas basadas en datos concretos, mejorando la planificación y gestión de la flota. En última instancia, una flota más confiable y bien mantenida asegura un servicio puntual y de calidad, lo que incrementa la satisfacción del cliente y fortalece la reputación de la empresa en el mercado.

Desarrollar un análisis de aceite en los motores de los camiones mixer permite evaluar la calidad y condición del aceite, lo que es crucial para prolongar los intervalos de mantenimiento y optimizar el rendimiento del motor. Este análisis detecta contaminantes, desgaste de componentes y degradación del aceite, proporcionando datos valiosos para ajustar los programas de mantenimiento de manera más precisa. Al identificar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas graves, se pueden reducir los tiempos de inactividad no planificados y los costos de reparación. Además, un mantenimiento basado en el análisis de aceite contribuye a la eficiencia operativa y a la prolongación de la vida útil del motor, asegurando que los camiones operen de manera confiable y segura. En última instancia, esta práctica mejora la disponibilidad de la flota.

3.3 Resultados

De acuerdo con la recopilación de base de datos de la empresa concretera de enero a octubre, reporte de paradas, incidencias, se procede a calcular el MTBF y MTTR en horas de dichos meses para poder hallar la disponibilidad acumulada actual de la flota. Dándonos este último como resultado el 86.76%, lo cual está por debajo del rango permisible dado por la empresa concretera. Rango permisible por la empresa por sus datos históricos es de 92% a más.

En la Tabla 1 se presentan los indicadores de mantenimiento calculados con la recopilación de datos de enero a octubre.

Tabla 1

Indicadores de mantenimiento

Mes	Días no laborables	Horas trabajables/día	Horas teóricas	Tiempo en fallo (horas)	Nº fallos	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Enero	5	14	16016	2082.88	700	19.90	2.98	86.99%
Febrero	4	14	16100	1740.63	721	19.92	2.41	89.19%
Marzo	6	14	17150	2055.33	1036	14.57	1.98	88.02%
Abril	4	14	17108	2651.32	1018	14.20	2.60	84.50%
Mayo	5	14	18200	2941.30	1074	14.21	2.74	83.84%
Junio	6	14	15792	2277.22	1111	12.16	2.05	85.58%
Julio	6	14	17150	2505.57	1148	12.76	2.18	85.39%
Agosto	6	14	17500	2138.73	1162	13.22	1.84	87.78%
Setiembre	4	14	18200	2249.57	1156	13.80	1.95	87.64%
Octubre	5	14	18200	2051.07	1065	15.16	1.93	88.73%
Datos acumulados	51	14	171416	22693.62	10191	14.59	2.23	86.76%

Nota. Datos calculados de la recopilación de datos de enero a octubre de la empresa concretera.

Para poder tomar una decisión de que componentes evaluar se calcula las horas de parada y ordenar de mayor a menor para centrarnos en el sistema de lubricación y propulsión ya que son objeto de la presente investigación.

En la tabla 2 se detalla los componentes del camión mixer y se ordena de mayor a menor las horas de parada para proceder a realizar su análisis de modo y efectos de falla.

Tabla 2

Detalle de los componentes del camión mixer

Componente	Horas de parada	Número de fallas
SISTEMA_LUBRICACIÓN	4999.4	6055
SISTEMA_PROPULSIÓN	4334.8	749
SISTEMA_HIDRÁULICO	3787.4	402
SISTEMA_ELÉCTRICO	2875.6	1196
TROMPO GIRATORIO	1856.3	311
CORONASyEJES	1460.1	227
CHASIS	1140.8	407
LLANTAS	671.1	439
DIRECCION	588.3	92
REDUCTOR HIDRÁULICO	297.7	208
BOMBA HIDRÁULICA	215.8	12
SIST_TRANSMISION	132.3	16
SIST_FRENOS	126.5	39
SEGURIDAD	104.9	9
MOTOR HIDRÁULICO	89.1	21
ELEMENTOS_DESGASTE	5.0	3
SISTEMA_NEUMÁTICO	5.0	3
ESTRUCTURA_DE_PLUMA	2.0	1
SISTEMA_SUSPENSIÓN	1.5	1
Total	22693.6	10191

Nota. Elaboración propia

Se evalúa el sistema de propulsión y sistema de lubricación los cuales son los componentes con mayores horas de parada que representan el 41% del tiempo de horas de parada acumulado, se procede a detallar los modos de falla.

En la tabla 3 se detalla los modos de falla del sistema de propulsión.

Tabla 3

Modos de falla del sistema de propulsión

Modos de falla	Horas de parada
BOMBA TRASLACION	1115.3
TAPA BALANCINES	1058.8
BOMBA DE ACEITE	937.9
RADIADOR	386.8
INYECTORES	197.2
BOMBA DE INYECCIÓN	190.3
BOMBA DE AGUA	86.3
VENTILADOR	62.3
SOPORTES DE RADIADOR	46.8
INTERCOOLER	46.1
MULTIPLE DE ESCAPE	43.5
SOPORTES DE MOTOR	23.0
TERMOSTATO	21.7
BOMBA DE INYECCION	18.3
CATALIZADOR	16.0
MANGUERA DE ADMISION	15.7
FILTRO AIRE	15.3
FAJA VENTILADOR	12.7
FILTRO COMBUSTIBLE	6.5
TUBO ESCAPE	5.7
MANGUERA DE INYECTOR	5.3
LUBRICACION GENERAL	4.5
ARRANCADOR	11.2
SENSOR	3.0
MULTIPLE DE ADMISION	2.8
TEMPLADOR DE FAJA	1.8
TOTAL	4334.8

Nota. Elaboración propia

En la tabla 4 se detalla los modos de falla del sistema de lubricación.

Tabla 4:

Modos de falla del sistema de lubricación

Modos de falla	Horas de parada
ENFRIADOR DE ACEITE	1426.9
LUBRICACION GENERAL	1321.5
MANGUERA DE ACEITE	1049.2
BOMBA DE ENGRASE	848.1
DEPÓSITO DE ACEITE	266.0
FILTRO DE ACEITE	40.5
VÁLVULA DE CONTROL	27.3
BOMBA DE ACEITE	20.0
TOTAL	4999.5

Nota. Elaboración propia

Con la identificación de los modos de falla con mayor cantidad de horas de parada tanto del sistema de lubricación como del sistema de propulsión, se procede a realizar su análisis de modos de falla y efecto. Posterior a ello se hacen las medidas correctivas para reducir las horas de parada de estos dos sistemas. Se hace el nuevo cálculo de la disponibilidad.

En la figura 10 se detalla el cuadro de modo de falla y efecto para por identificar las fallas potenciales del sistema de propulsión.

Figura 10

Gráfica de modos de falla y efecto del motor

Sistema: Propulsión				
Subsistema: Motor				
Función	Falla funcional	Modos de falla		Efectos de falla
Proporcionar la potencia necesaria para mover el camión, accionar el tambor mezclador y operar los sistemas auxiliares.	Incapaz de proporcionar la potencia necesaria	1	Baja presión de la bomba de aceite	Pérdida de potencia y baja revoluciones del motor (menor a 1200 RPM). 8 horas de inactividad. Se reemplaza bomba de aceite
		2	Bomba de agua no trabaja	No recircula el refrigerante. 8 horas de inactividad. Se reemplaza bomba de agua.
		3	Inyector no trabaja	Mayor consumo de combustible y pérdida de potencia. 8 horas de inactividad. Se reemplaza inyectores
		4	Bomba de inyección averiada	Mayor consumo de combustible y aceite. 4 horas de inactividad. Se reemplaza sellos internos.
		5	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento de motor. 6 horas inactividad. Se reemplaza conjunto de radiador.
		6	Fuga de aceite por tapa de balancines	Fuga de aceite. 11 horas de inactividad. Se reemplaza junta de aceite y perno roto.
		7	Bomba de traslación averiada	Pérdida de presión. 23 horas de inactividad. Se espera a que llegue de importación y se reemplaza.

Nota. Elaboración propia

En la figura 11 se detalla el cuadro de modo de falla y efecto para por identificar las fallas potenciales del sistema de lubricación.

Figura 11

Gráfica de modos de falla y efecto del enfriador de aceite

Sistema: Lubricación				
Subsistema: Enfriador de aceite				
Función	Falla funcional	Modos de falla		Efectos de falla
Enfriar el aceite mientras circula a través del motor y la transmisión, asegurando que los componentes internos se mantengan a una temperatura óptima y evitando el sobrecalentamiento.	Acumulación de residuos que bloquean el flujo de aceite.	1	Enfriador	No enfría el motor y sistema de dirección. 10 horas de inactividad. Se reemplaza enfriador.
		2	Manguera de aceite	Manguera rota. 5 horas de inactividad. Se reemplaza manguera
		3	Filtro de aceite	No purga bien el sistema. 2 horas inactividad. Se reemplaza filtro.

Nota. Elaboración propia

Haciendo las medidas correctivas y analizando los modos de falla de ambos sistemas. El tiempo de parada del sistema de propulsión se reduce en 80%, mientras que el sistema de lubricación se reduce en un 70%.

En tabla 5 se detalla los nuevos valores de hora de parada del sistema de lubricación y propulsión.

Tabla 5:

Componentes del camión mixer con nuevas horas de parada

Componente	Horas de parada
SISTEMA_LUBRICACIÓN	1499.8
SISTEMA_PROPULSIÓN	867.0
SISTEMA_HIDRÁULICO	3787.4
SISTEMA_ELÉCTRICO	2875.6
TROMPO GIRATORIO	1856.3
CORONASyEJES	1460.1
CHASIS	1140.8
LLANTAS	671.1
DIRECCION	588.3
REDUCTOR HIDRÁULICO	297.7
BOMBA HIDRÁULICA	215.8
SIST_TRANSMISION	132.3
SIST_FRENOS	126.5
SEGURIDAD	104.9
MOTOR HIDRÁULICO	89.1
ELEMENTOS_DESGASTE	5.0
SISTEMA_NEUMÁTICO	5.0
ESTRUCTURA_DE_PLUMA	2.0
SISTEMA_SUSPENSIÓN	1.5
Total	15726.1

Nota. Elaboración propia

Con el nuevo tiempo de horas de paradas de 15726.1 se procede a calcular la nueva disponibilidad la cual resulta un valor de 90.83%

Se desarrolla el análisis de criticidad del camión mixer, obteniendo que los componentes críticos son: motor a combustión interna, motor hidráulico, reductor hidráulico, bombo giratorio, tapa de balancines e inyectores. Y los medianamente críticos son: bomba hidráulica, bomba de traslación y el radiador.

En la figura 12 se detalla la criticidad total por riesgo de cada componente complejo que se obtuvo del análisis de modo de falla.

Figura 12

Criticidad total por riesgo de componente

ITEM	MAQUINA - EQUIPO	FRECUENCIA	INFLUENCIA SOBRE				CC	
			PRODUCCION		MANTTO	SEGURIDAD		
		FF	IO	FO	CM	SHA		
1	Motor a combustian interna	4	10	4	1	3	44	C
2	Bomba hidráulica	4	5	2	1	3	14	MC
3	Motor hidráulico	4	5	4	1	3	24	C
4	Reductor hidráulico	4	5	4	1	3	24	C
5	Bombo giratorio	4	10	4	1	6	47	C
6	Bomba de traslación	4	5	2	1	3	14	MC
7	Tapa balancines	4	7	4	1	3	32	C
8	Radiador	4	3	2	1	3	10	MC
9	Inyectores	4	7	2	1	6	21	C

Nota. Elaboración propia

El aceite que utiliza los motores de los camiones mixer de la empresa concretera es el MOBIL DELVAC MX 15W40. En la tabla 6 se detalla las propiedades del aceite MOBIL DELVAC MX 15W40.

Tabla 6

Propiedades del aceite MOBIL DELVAC MX 15W40

Propiedad	Valor
Grado	SAE 15W-40
Cenizas, sulfatadas, % masa, ASTM D874	1.3
Densidad a 15,6 °C g/ml, ASTM D4052	0.88
Punto de inflamación, °C, ASTM D92	228
Viscosidad cinemática @ 100 °C, mm ² /s, ASTM D445	14.4
Viscosidad cinemática @ 40 °C, mm ² /s, ASTM D445	106
Punto de fluidez, °C, ASTM D97	-30
Número de base total, mgKOH/g, ASTM D2896 1	11.3
Índice de viscosidad, ASTM D2270	140

Nota. Datos de la ficha técnica Mobil Delvac MX 15W-40 proporcionada por Mobil (s.f.). Disponible en: <https://www.mobil.com/es-py/commercial-vehicle-lube/pds/as-xx-mobil-delvac-mx-15w40>

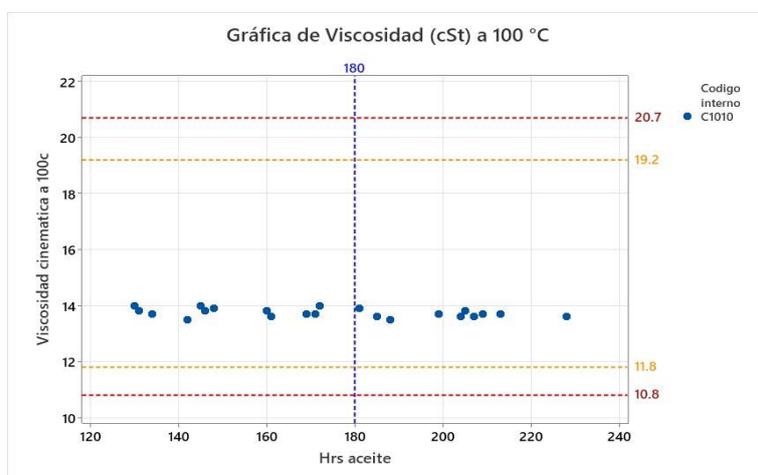
Según las normas internacionales, como las establecidas por la ASTM (American Society for Testing and Materials) e ISO (International Organization for Standardization), el rango permisible de cambio en la viscosidad en el motor es de $\pm 20\%$.

Se tomó como muestra un camión mixer con codificación interna CAMFIR1010, se procedió a realizar su análisis de aceite de cada parámetro vs sus horas de aceite dándonos los siguientes valores:

La viscosidad cinemática a 100°C se encuentra dentro de los valores permisibles (11.8 cSt a 19.2cSt dentro del rango mínimo permisible y 10.8 a 20.7 dentro del rango máximo permisible) dados por la ficha técnica del lubricante (MOBIL DELVAC 15W40) y el ponderado de acuerdo con la base de datos de la empresa concretera. La figura 13 muestra el comportamiento de la viscosidad cinemática a 100°C del aceite de motor a lo largo de las horas de trabajo.

Figura 13

Gráfica de viscosidad a 100°C vs horas del aceite del motor



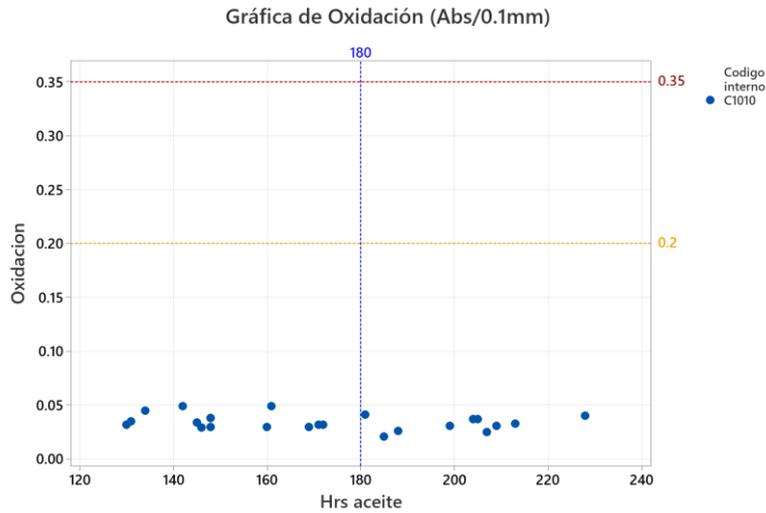
Nota. Elaboración propia

La oxidación del aceite se encuentra por debajo de los valores permisibles (menor a 0.2 Abs/0.1mm en el límite inferior permisible y menor a 0.35 en el límite superior permisible) dados por los históricos de muestras de aceite de la empresa concretera.

La figura 14 muestra que la oxidación del aceite está por debajo de los valores permisibles según los históricos de muestras de la unidad.

Figura 14

Gráfica de oxidación vs Horas de aceite del motor

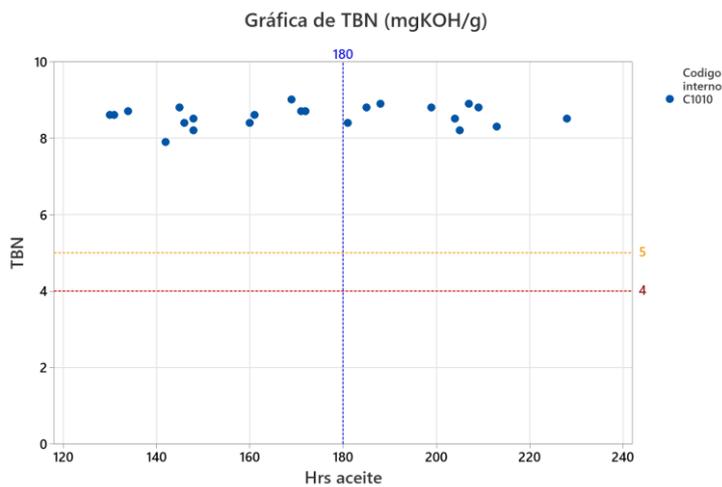


Nota. Elaboración propia

El TBN supera los valores permisibles (mayor a 5 mgKOH/g en límite superior permisible y mayor a 4 mgKOH/g en límite inferior permisible) dados por los históricos de muestras de aceite de la empresa concretera y la ficha técnica del aceite. La figura 15 muestra el comportamiento del TBN de la unidad mencionada.

Figura 15

Gráfica de TBN vs Horas de aceite del motor



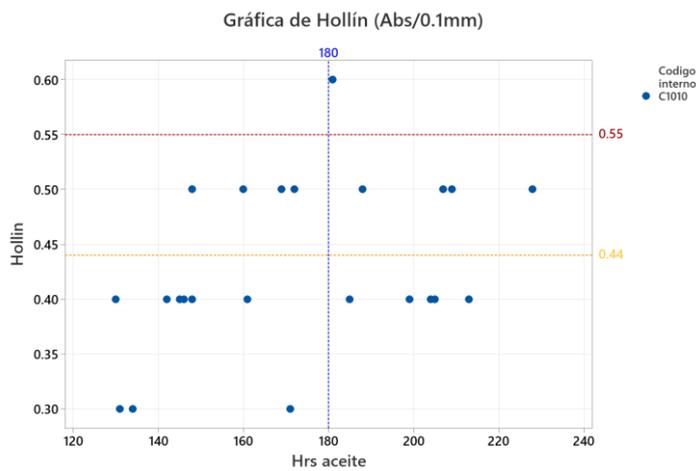
Nota. Elaboración propia

El hollín está por debajo de los valores permisibles (menor a 0.55 Abs/0.1mm en el límite superior permisible y menor a 0.44 Abs/0.1mm en el límite inferior permisible) dados por los históricos de muestras de aceite de la empresa concretera. Solo hay un caso que se sacó el aceite a las 183 horas que está por encima de los límites, para ello se saca una contramuestra a las 188 horas, se hace la medida correctiva y cae por debajo de valores permisibles.

La figura 16 muestra el comportamiento del hollín de la unidad mencionada.

Figura 16

Gráfica de Hollín vs Horas de aceite del motor



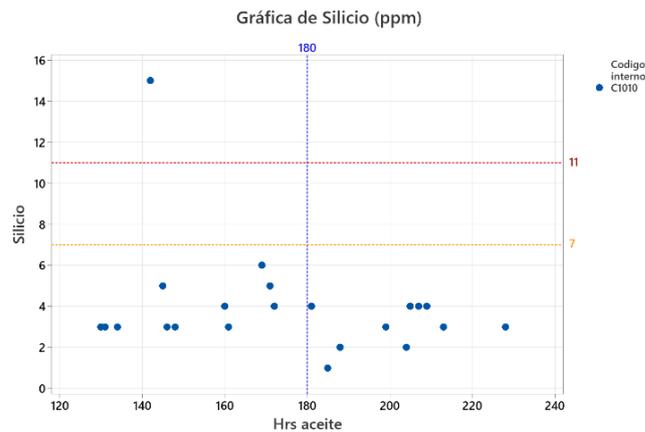
Nota. Elaboración propia

El silicio está por debajo de los valores permisibles (menor a 11 ppm en el límite superior permisible y menor a 7 ppm en el límite inferior permisible) dados por los históricos de muestras de aceite de la empresa concretera. Solo hay un caso que se sacó el aceite a las 141 horas que está por encima de los límites, para ello se saca una contramuestra a las 145 horas, se hace la medida correctiva y cae por debajo de los valores permisibles.

La figura 17 muestra el comportamiento del silicio de la unidad mencionada.

Figura 17

Gráfica de Silicio vs Horas de aceite del motor



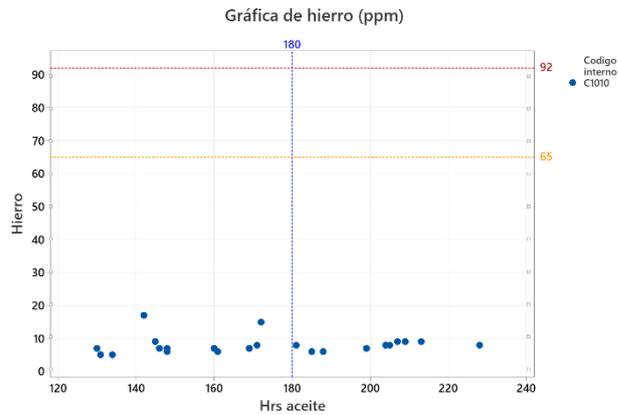
Nota. Elaboración propia

El hierro está por debajo de los valores permisibles (menor a 92 ppm en el límite superior permisible y menor a 65 ppm en el límite inferior permisible) dados por los históricos de muestras de aceite de la empresa concretera.

La figura 18 muestra el comportamiento del hierro de la unidad mencionada.

Figura 18

Gráfica de Hierro vs Horas de aceite del motor

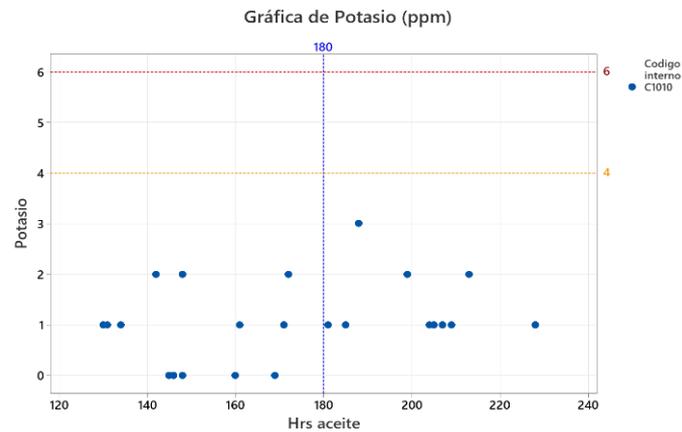


Nota. Elaboración propia

El potasio está por debajo de los valores permisibles (menor a 6 ppm en el límite superior permisible y menor a 4 ppm en el límite inferior permisible) dados por los históricos de muestras de aceite de la empresa concretera. La figura 19 muestra el comportamiento del potasio de la unidad mencionada.

Figura 19

Gráfica de Potasio vs Horas de aceite del motor

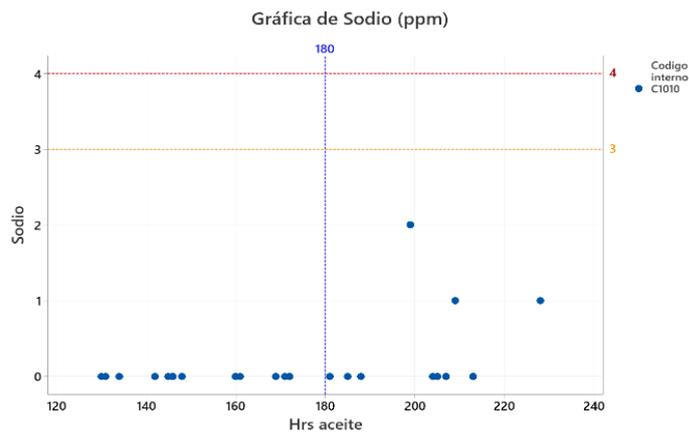


Nota. Elaboración propia

El sodio está por debajo de los valores permisibles (menor a 4 ppm en el límite superior permisible y menor a 3 ppm en el límite inferior permisible) dados por los históricos de muestras de aceite de la empresa concretera. La figura 20 muestra el comportamiento del sodio de la unidad mencionada.

Figura 20

Gráfica de Sodio vs Horas de aceite del motor

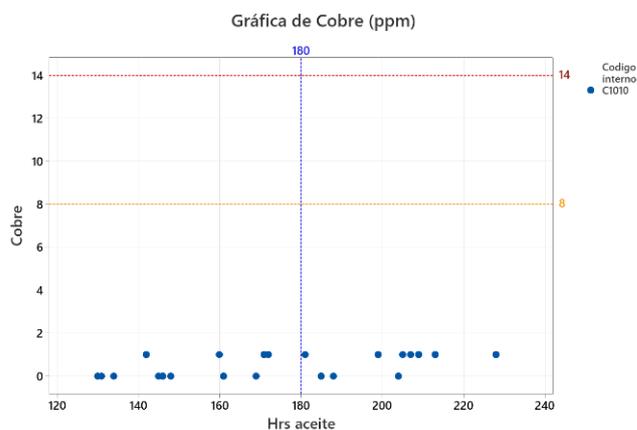


Nota. Elaboración propia

El cobre está por debajo de los valores permisibles (menor a 14 ppm en el límite superior permisible y menor a 8 ppm en el límite inferior permisible) dados por los históricos de muestras de aceite de la empresa concretera. La figura 21 muestra el comportamiento del cobre de la unidad mencionada.

Figura 21

Gráfica de Cobre vs Horas de aceite del motor

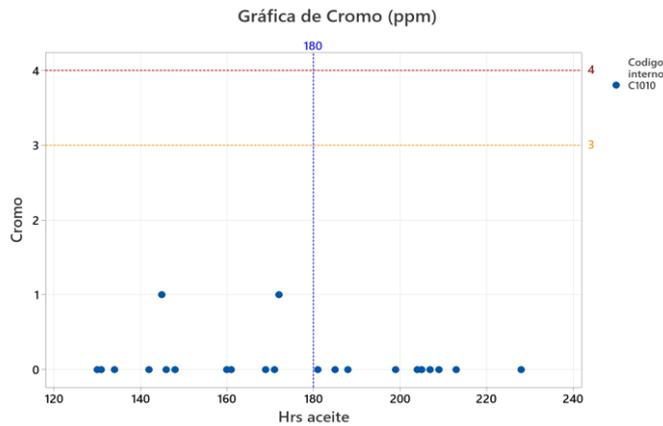


Nota. Elaboración propia

El cromo está por debajo de los valores permisibles (menor a 4 ppm en el límite superior permisible y menor a 3 ppm en el límite inferior permisible) dados por los históricos de muestras de aceite de la empresa concretera. La figura 22 muestra el comportamiento del cromo de la unidad mencionada.

Figura 22

Gráfica de Cromo vs Horas de aceite del motor

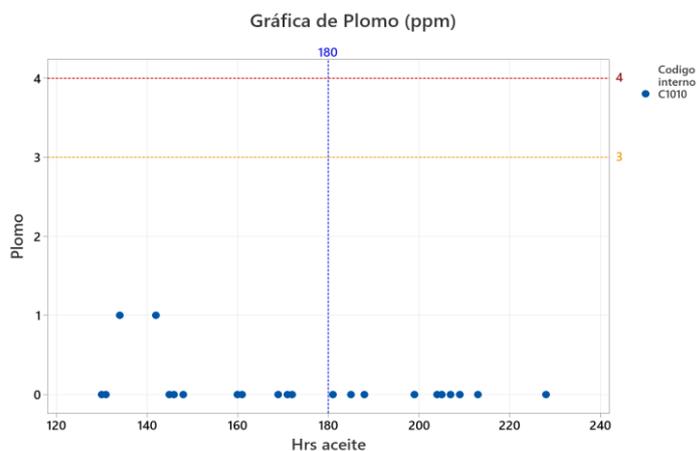


Nota. Elaboración propia

El plomo está por debajo de los valores permisibles (menor a 4 ppm en el límite superior permisible y menor a 3 ppm en el límite inferior permisible) dados por los históricos de muestras de aceite de la empresa concretera. La figura 23 muestra el comportamiento del plomo de la unidad mencionada.

Figura 23

Gráfica de Plomo vs Horas de aceite del motor



Nota. Elaboración propia

CONCLUSIONES

1. A partir del análisis de los parámetros MTBF y MTTR, se determinó que la disponibilidad del sistema es del 86.76%. Los resultados obtenidos evidencian que el sistema de propulsión y el sistema de lubricación son los componentes más críticos, acumulando un total de 4334.8 y 4999.4 horas de parada, respectivamente, entre enero y octubre. Se concluye que luego de implementar el análisis de confiabilidad a estos sistemas la disponibilidad aumentó en 4.07% dándonos como resultado final 90.83%.
2. El análisis de criticidad revela que el sistema de propulsión y lubricación representan el 41% de tiempo en fallo de enero a octubre. Se concluye que estos componentes críticos requieren de una atención prioritaria para mejorar la disponibilidad y la confiabilidad del sistema.
3. Tras seis meses de análisis exhaustivo del aceite de los motores de los camiones mixer y evaluando el comportamiento de los parámetros clave, se concluye que es posible extender el intervalo de cambio de aceite de 150 a 200 horas sin comprometer la integridad del motor y el rendimiento del equipo. Esta conclusión se basa en los datos recopilados y analizados durante este periodo, lo que nos permite afirmar con confianza que esta modificación en el intervalo de cambio es viable y segura.

RECOMENDACIONES

1. Es crucial utilizar indicadores de mantenimiento como MTBF y MTTR para medir y mejorar el rendimiento. Por otro lado, asegurar el correcto llenado de datos para evitar errores. Estos indicadores ayudan a optimizar recursos, prevenir fallos y tomar decisiones informadas, mejorando la eficiencia y rentabilidad del equipo.
2. Implementar el Mantenimiento Productivo Total (TPM) es esencial para asegurar la participación activa de todos los empleados, desde el gerente de mantenimiento hasta los técnicos. Esto permitirá una trazabilidad completa y precisa del llenado de información, asegurando que todos comprendan la importancia y el propósito de los datos que se están registrando. Al involucrar a todo el personal en el proceso de mantenimiento de los camiones mixer, se fomenta una cultura de responsabilidad y mejora continua, lo que resulta en una mayor eficiencia operativa y una mejor toma de decisiones basada en datos confiables.
3. Se recomienda mantener el análisis de aceite como una práctica fundamental en el programa de mantenimiento preventivo. Esta herramienta nos permite anticipar fallas, optimizar los recursos y garantizar la máxima disponibilidad de los equipos, lo que se traduce en una mayor eficiencia y productividad. También un correcto llenado el frasco de análisis de aceite para poder llevar un correcto control.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade Quiroz, R. H., & Ramos Ramos, M. Á. (2020). *Propuesta de la metodología RCM en la gestión de mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad de la Línea de Chancado Primario en una empresa minera*. Universidad Peruana de Ciencia Aplicadas, Perú.
- Azañero, S., & Cubillas, J. (2023). *ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE LA PROPUESTA DE INGENIERÍA DE SOLUCIÓN DEFINITIVA PARA LA*. Plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de las pasarelas de embarque del aeropuerto internacional Jorge Chávez.
- Binimelis, G. (2022). *Desarrollo de un modelo de mantenimiento para una flota de camiones transportadores de hormigón*. Universidad Técnica Federico Santa María, Santiago, Chile.
- Bosch Rexroth AG. (2016). *Axial Piston Variable Pump A10VGT Series 11*.
- Bruce, R. (2012). *Handbook of Lubrication and Tribology*. CRC Press.
- Caparachin Condori, W. E. (2019). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad mediante Kpi's de mantenimiento, aplicado a la chancadora de quijada Comesa 24"x36" de la planta concentradora polimetálica cia. minera Lincuna S.A*. Universidad Nacional del Santa, Perú.
- Escarcena, C., & Carrillo, R. (2019). *Implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para equipo de sostenimiento BOLTER 88*. Universidad Nacional del Callao.
- Escudero, S., González, J., Rivas, J., & Alejandro, S. (2016). *Motores*. MacMillan.
- Figueroa Dianderas, S. P. (2020). *Aplicación del mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para la elaboración de un plan de mantenimiento de un molino de bolas Thyssenkrupp de 12 MW en una mina de cobre en el sur del Perú*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Díaz de Santos.

- Indigoyen Aguilar, A. C. (2020). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad de la chancadora SANDVIK CH870- Compañía minera Milpo S.A.A.* Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.
- Mattos, Á., & Marín, J. (17 de Abril de 2020). Reliability Analysis of Bored-pile Wall Stability considering parameter uncertainties. pág. 17.
- Moubray, J. (1997). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad.*
- Nawy, E. (2008). *Concrete construction engineering handbook.* CRC Press.
- Padilla, J. (2021). *Propuesta de un plan de mantenimiento basado en los tipos de mantenimiento de la norma EN 13306, en el nuevo Centro de Gestión de la Empresa Pública EMMAIPC EP.* Universidad del Azuay, Ecuador.
- Parker, S. (2006). *Basic hydraulics and components.* Tokyo: Yuken Kogyo.
- Reza, A., Reza, A., Javad, M., & Reza, M. (2024). Human reliability analysis in maintenance and repair operations of mining trucks: A Bayesian network approach. *Heliyon*, 14.
- Rincon Ortega, A. Z. (2016). *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el horno rotatorio Allis Chalmers en la planta de cemento Cúcuta, Cemex Colombia S.A.* Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia.
- Rygaard, M., & Ole, T. (2012). *Hydraulics components and systems.*
- Salazar Franco, C. U. (2018). *Implementación del RCM para mejorar la disponibilidad de la bomba GEHO TZPM 400 en unidad operativa Selene.* Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.
- Secretaría de Política Sindical. (2022). *Cuaderno Preventivo: El camión hormigonera.* Cataluña: UGT.
- The Woodhouse Partnership Limited. (s.f.). *The Woodhouse Partnership Limited.* Obtenido de <https://www.twpl.com/es/>
- Torres Salas, T. V., Gómez Arciniegas, J. D., & Muñoz Hernández, L. C. (2018). *Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para tableros de transferencia del CPD de Codensa.* Universidad ECCI, Bogotá D.C., Colombia.

Yarin Achachagua, A. J. (2021). *Análisis de confiabilidad orientado a optimizar la gestión del mantenimiento en la línea de producción de geomembranas en la empresa industrial de plásticos Eco System S.A.C.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

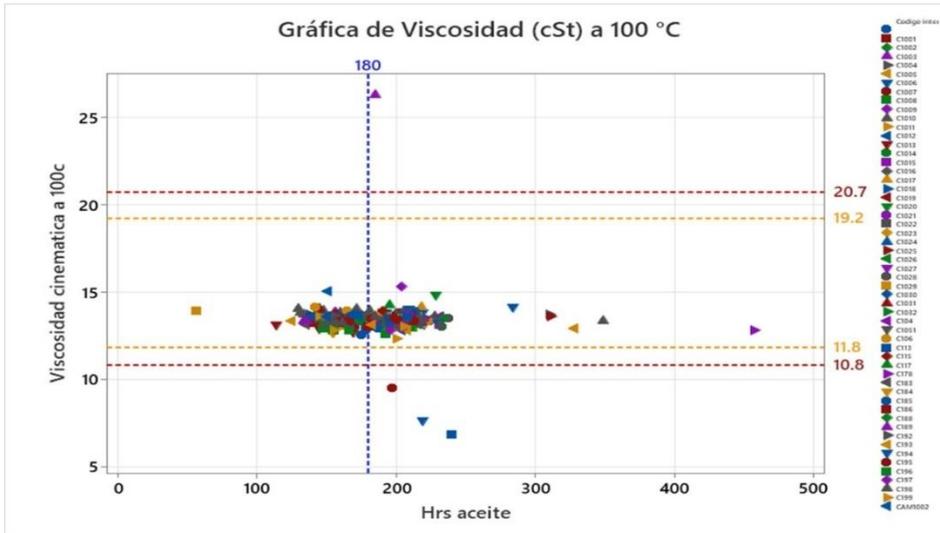
ZF. (s.f.). *ZF Friedrichshafen AG*. Obtenido de <https://www.zf.com/>

ANEXOS

Gráficas de los parámetros de aceite de motor de 54 camiones mixer para evaluar el comportamiento del aceite MOBIL DELVAC MX 15W40 durante sus horas de trabajo.

Figura 24

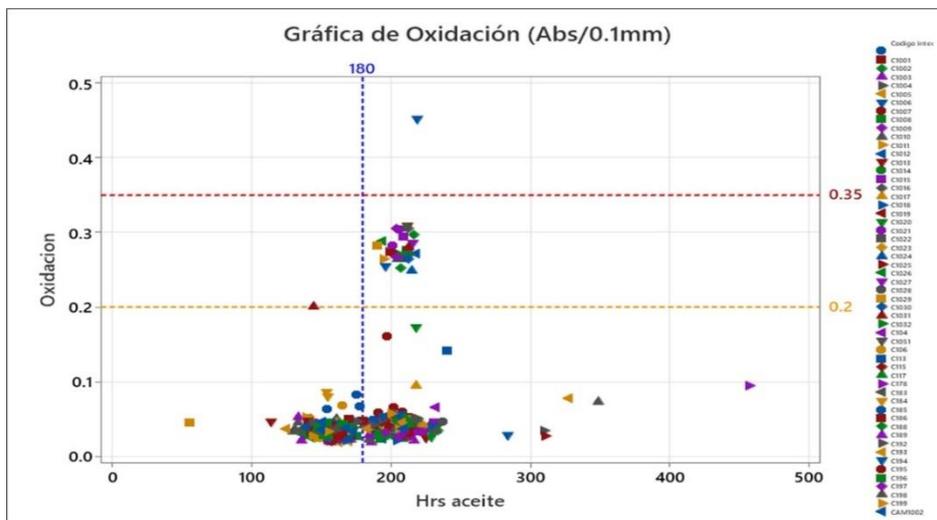
Gráfica de viscosidad a 100°C vs Horas de aceite del motor



Nota. Elaboración propia

Figura 25

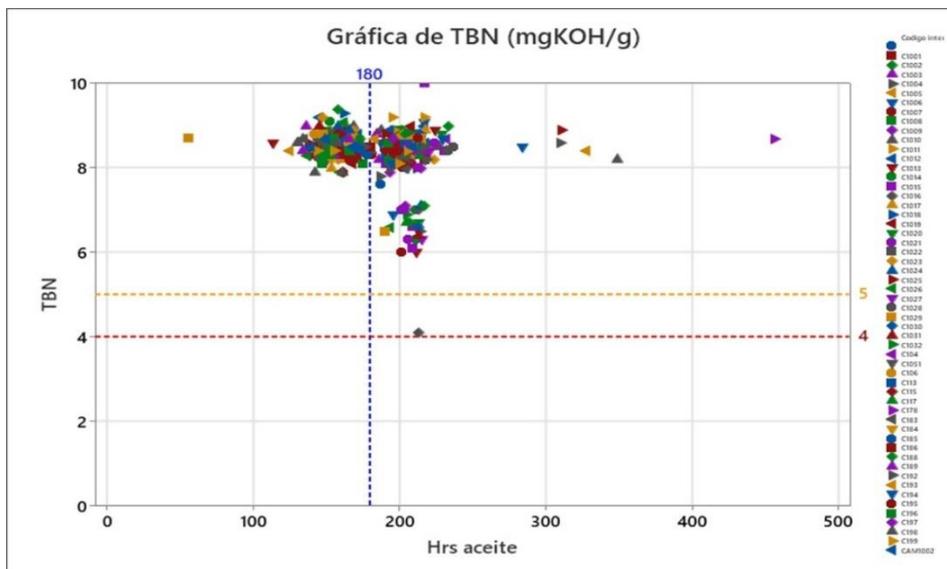
Gráfica de oxidación vs Horas de aceite del motor



Nota. Elaboración propia

Figura 26

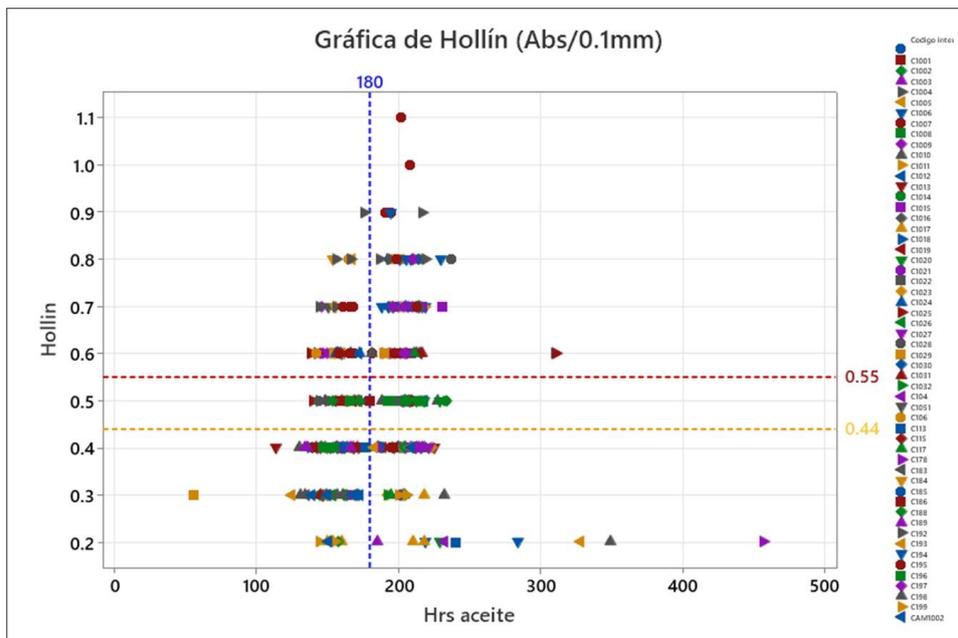
Gráfica de TBN vs Horas de aceite del motor



Nota. Elaboración propia

Figura 27

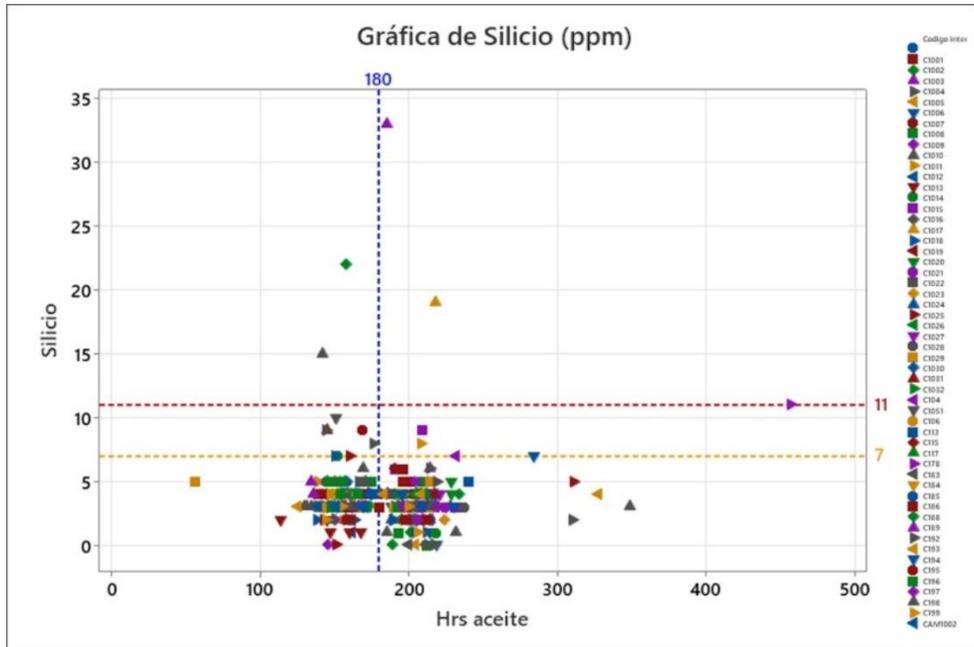
Gráfica de Hollín vs Horas de aceite del motor



Nota. Elaboración propia

Figura 28

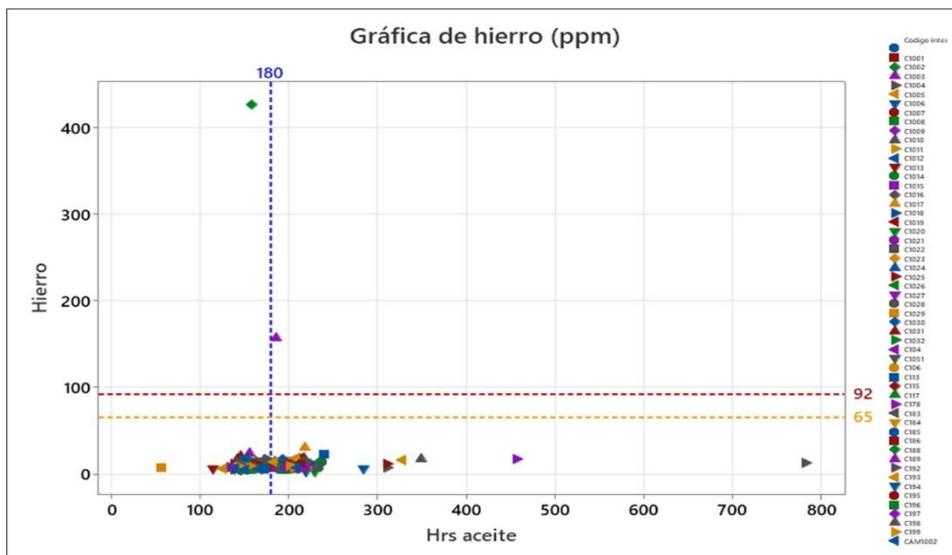
Gráfica de Silicio vs Horas de aceite del motor



Nota. Elaboración propia

Figura 29

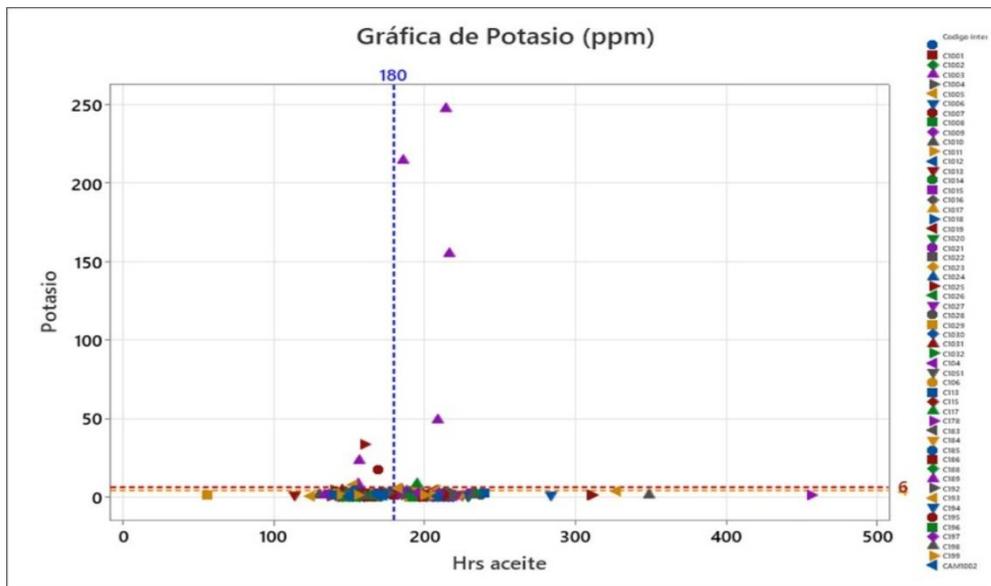
Gráfica de Hierro vs Horas de aceite del motor



Nota. Elaboración propia

Figura 30

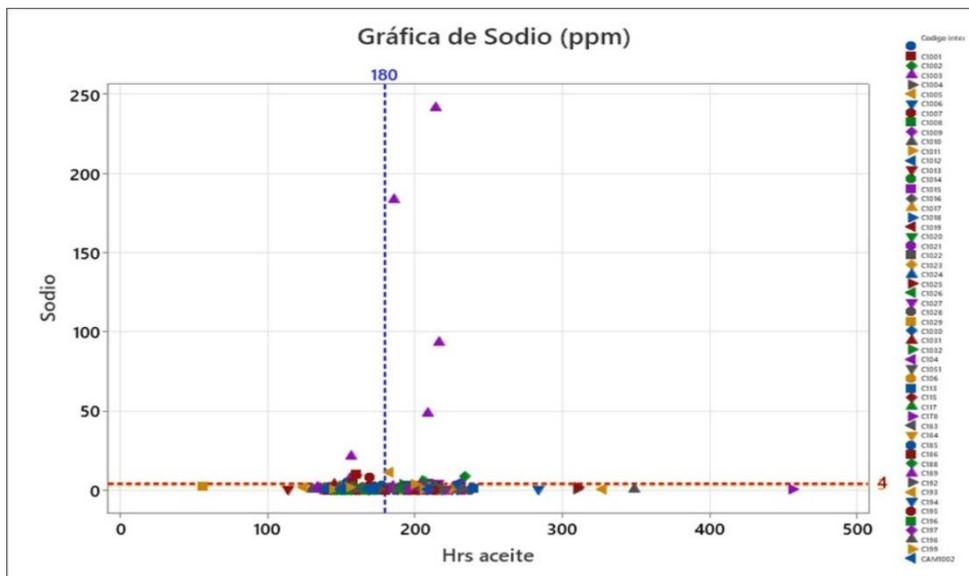
Gráfica de Potasio vs Horas de aceite del motor



Nota. Elaboración propia

Figura 31

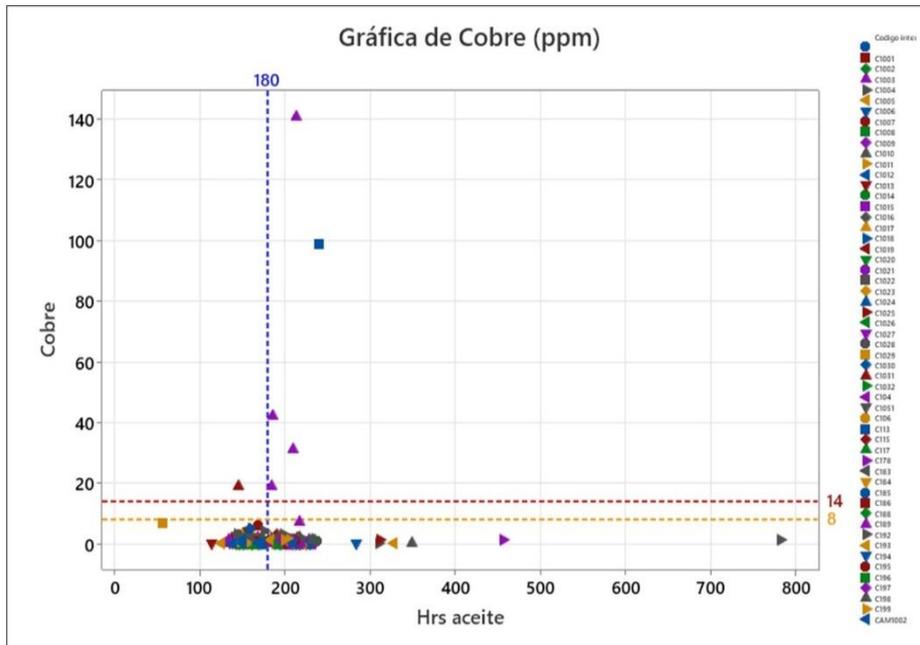
Gráfica de Potasio vs Horas de aceite del motor



Nota. Elaboración propia

Figura 32

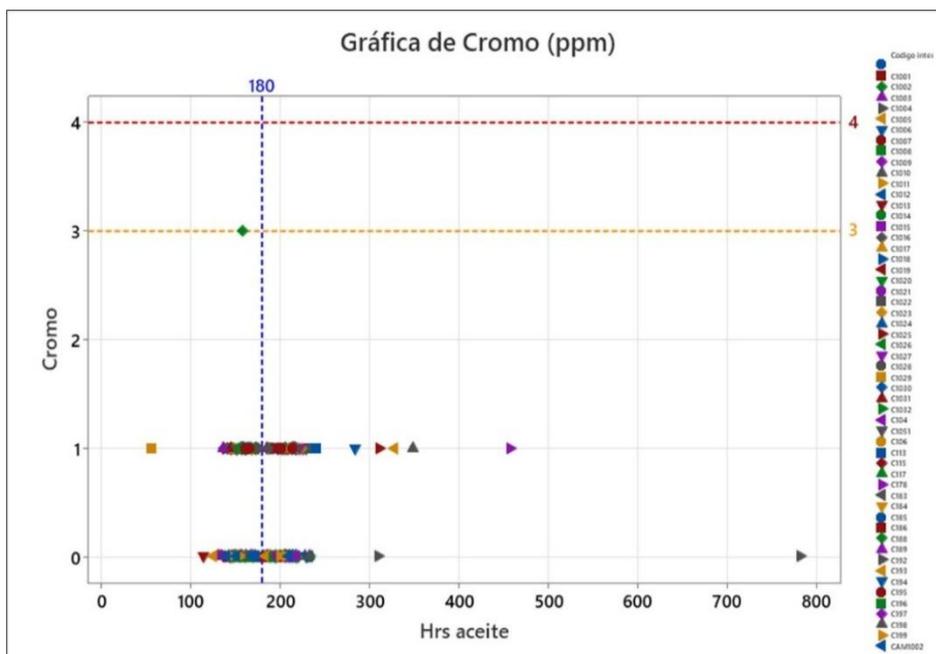
Gráfica de Cobre vs Horas de aceite del motor



Nota. Elaboración propia

Figura 33

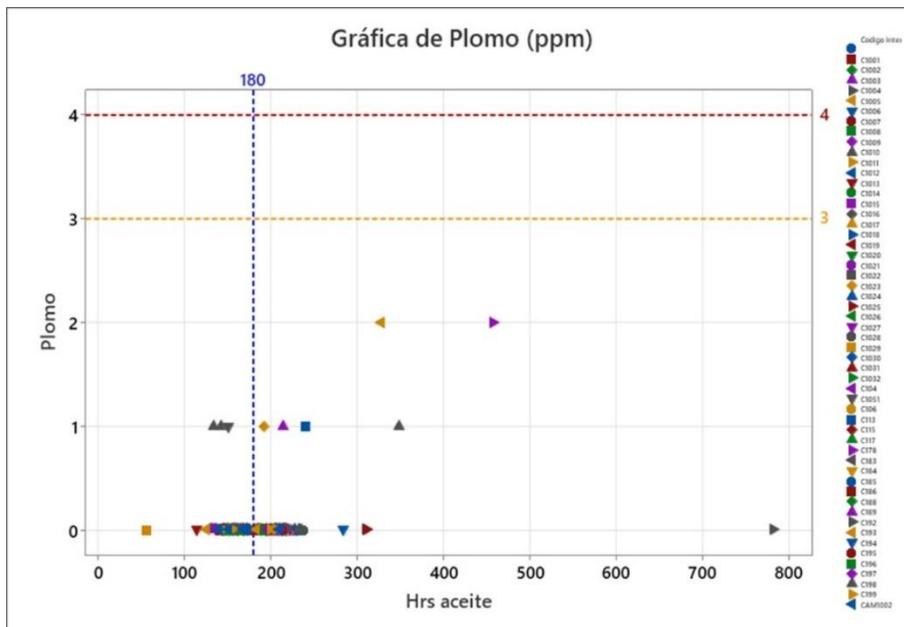
Gráfica de Cromo vs Horas de aceite del motor



Nota. Elaboración propia

Figura 34

Gráfica de Plomo vs Horas de aceite del motor



Nota. Elaboración propia