

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Aplicación del análisis de aceite para incrementar la
disponibilidad mecánica de los cargadores de
bajo perfil R1300G de la Empresa COMICIV,
Kolpa 2018**

Roger Jhon Carmona Coaquira

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme otorgado una gran familia, quienes siempre creyeron en mí, dando el ejemplo de humildad, sacrificio y deseo de superación; aprendiendo a valorar todo lo que esta vida nos da. A todos ellos agradezco por estar siempre conmigo y seguir teniendo el apoyo incondicional que hasta la fecha me brindan.

DEDICATORIA

A Dios por darnos la sabiduría y perseverancia para seguir adelante.

A mi padre que desde el cielo me protege, cuida y me da la fortaleza para continuar.

A mi madre por seguir apoyándome en todas las decisiones que tomo.

A mi esposa que me apoya con su comprensión y cariño.

A mis hijos por entender el esfuerzo que se hace para poder concluir con mis objetivos.

A la Universidad, por la formación integral como ingeniero y a los docentes por instruirme y enseñarme a ser un buen estudiante.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general plantear el uso del análisis de aceite para incrementar la disponibilidad mecánica de los cargadores de bajo perfil R1300G de la empresa contratista Comiciv en la compañía minera Kolpa.

Se aplicó una metodología de investigación aplicada cuyo nivel es experimental y diseño preexperimental con preprueba y posprueba, teniendo como grupo de análisis cuatro cargadores de bajo perfil R1300G, con tiempo de operación en promedio tres y cuatro años de antigüedad.

Las condiciones de trabajo de estos equipos son muy críticos; primero, a las condiciones existentes en el interior de mina donde se hallan deficiencias en la calidad de aire, temperaturas elevadas y humedad; segundo, por las condiciones exteriores existentes, entre ellas, la ubicación geográfica y altitud sobre el nivel del mar que incrementan los costos logísticos alterando el abastecimiento de los repuestos durante los mantenimientos.

Pese a ello, durante el tiempo de estudio se lograron incrementar los porcentajes de disponibilidad mecánica de los cuatro equipos entre 3% y 5% siendo un indicador de que con los cambios propuestos se pueden lograr los objetivos deseados.

Finalmente, este trabajo plantea el uso en conjunto del análisis de aceite con el mantenimiento preventivo, de modo que, mediante su aplicación, se pueda incrementar la disponibilidad mecánica y reducir los costos de mantenimiento para una adecuada gestión del área.

Palabras clave: costos de mantenimiento, diagnóstico, disponibilidad, planificación

ABSTRACT

The general objective of the present research work was to propose the use of oil analysis to increase the mechanical availability of the R1300G low-profile loaders of the Comiciv contractor company in the Kolpa mining company.

An applied research methodology was applied whose level is experimental and pre-experimental design with pre-test and post-test, having as analysis group four low-profile R1300G chargers, with an average operating time of three and four years old.

The working conditions of these teams are very critical; first, to the existing conditions inside the mine where there are deficiencies in air quality, high temperatures and humidity; second, due to the existing external conditions, among them, the geographical location and altitude above sea level, which increase logistics costs by altering the supply of spare parts during maintenance.

Despite this, during the study period, the mechanical availability percentages of the four equipment were increased between 3% and 5%, an indicator that the desired objectives can be achieved with the proposed changes.

Finally, this work proposes the use of oil analysis in conjunction with preventive maintenance, so that, through its application, mechanical availability can be increased, and maintenance costs reduced for proper area management.

Keywords: availability, diagnosis, maintenance costs, planning

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimiento	II
Dedicatoria	III
Resumen	IV
Abstract	V
Índice de contenidos	VI
Índice de figuras	IX
Índice de tablas	X
Introducción	XII
CAPÍTULO I	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1 Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1 Problema general	15
1.1.2 Problemas específicos	15
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo general	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 Justificación e importancia	16
1.4 Hipótesis y descripción de variables	17
1.4.1 Hipótesis general	17
1.4.2 Hipótesis específicas	17
1.4.3 Operacionalización de variables	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes del problema	18
2.1.1 Antecedentes a nivel internacional	18
2.1.2 Antecedentes a nivel nacional	19
2.2 Bases teóricas	20
2.2.1 Evolución del mantenimiento	20
2.2.2 Estrategias de mantenimiento	21
2.2.3. Plan de mantenimiento	22
2.2.4 Métodos para la prevención de fallas	23

2.2.5	Mantenimiento y la producción	24
2.2.6.	Costos de mantenimiento	25
2.2.7.	Indicadores de gestión de mantenimiento.....	26
2.2.8	La prueba t	29
2.2.9	Análisis de aceite.....	30
CAPÍTULO III	32
METODOLOGÍA	32
3.1	Método y alcance de la investigación	32
3.1.1	Tipo de Investigación.....	32
3.1.2	Nivel de investigación.....	33
3.2	Diseño de investigación	33
3.3	Población y muestra	34
3.3.1	Población.....	34
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	35
3.4.1	Técnicas de análisis de datos	35
3.4.2	Instrumentos de recolección de datos	35
CAPÍTULO IV	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1	Resultados del tratamiento y análisis de la información	36
4.1.1	Situación inicial del desempeño de los equipos	36
4.1.2.	Situación inicial de la gestión de costos de repuestos	39
4.1.3	Situación inicial de los procesos de mantenimiento de la contrata Comiciv.....	39
4.1.3.1	Mantenimiento preventivo.....	40
4.1.3.2	Mantenimiento correctivo.....	41
4.1.4.	Vida útil de los principales componentes de los equipos	42
4.1.5	Análisis de aceite de los componentes de los cargadores de bajo perfil.....	43
4.1.6	Información comparativa de fabricante.....	44
4.1.6.1	Tablas de desgaste	44
4.1.6.2	Viscosidad de aceites.....	46
4.1.7	Análisis de componentes principales de los cargadores de bajo perfil.....	47
4.1.7.1	Motor.....	47

4.1.7.2 Transmisión	49
4.1.7.3 Sistema hidráulico	51
4.1.7.4 Diferenciales	52
4.1.8. Situación posterior de los procesos de mantenimiento de la contrata Comiciv después de la aplicación del análisis de aceite	54
4.1.8.1 Capacitaciones de personal.....	54
4.1.8.2 Mantenimiento preventivo del motor	54
4.1.8.3 Mantenimiento preventivo de transmisión y diferenciales...	55
4.1.8.4 Mantenimiento preventivo del sistema hidráulico	55
4.1.9. Resultados obtenidos del desempeño de los equipos	58
4.1.10. Resultados obtenidos en la gestión de costos de repuestos.....	61
4.2 Prueba de hipótesis	61
4.2.1 Formulación de la hipótesis.....	62
4.3 Discusión de resultados.....	65
4.3.1 Comparación de resultados.....	66
Conclusiones.....	67
Lista de referencias	68
Anexos	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del mantenimiento a nivel mundial.....	21
Figura 2. Reparación basada en el tiempo.....	24
Figura 3. Cargador de bajo perfil Caterpillar R1300G.	34
Figura 4. Diagrama de causa – efecto: problemas en área de mantenimiento	37
Figura 5. Organigrama del área de mantenimiento de la contrata Comiciv.....	40
Figura 6. Flujo de procesos del mantenimiento preventivo	41
Figura 7. Tendencia de desgaste de las partículas metálicas de los motores de combustión interna	48
Figura 8. Tendencia de desgaste de las partículas metálicas de las transmisiones	50
Figura 9. Tendencia de desgaste de las partículas metálicas de los sistemas hidráulicos	51
Figura 10. Tendencia de desgaste de las partículas metálicas de los diferenciales	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Programación e indicadores iniciales de los equipos enero – marzo del año 2018.....	15
Tabla 2. Operacionalización de variables.....	17
Tabla 3. Aceites Caterpillar	30
Tabla 4. Características técnicas del equipo.....	34
Tabla 5. Equipos pesados.....	35
Tabla 6. Disponibilidad de cargadores de bajo perfil antes de aplicación de análisis de aceite	38
Tabla 7. Costos iniciales de repuestos utilizados para mantenimiento preventivos y correctivos en la unidad Kolpa.....	39
Tabla 8. Vida útil referencial de componentes de los cargadores de bajo perfil	42
Tabla 9. Niveles de alerta de contaminación de los aceites.....	44
Tabla 10. Rangos de desgaste de elementos mecánicos internos de motores	45
Tabla 11. Rangos de desgaste de elementos mecánicos internos de transmisiones	45
Tabla 12. Rangos de desgaste de los elementos mecánicos del sistema hidráulico	46
Tabla 13. Rangos de desgaste de elementos mecánicos internos de los diferenciales	46
Tabla 14. Rangos de viscosidades de los aceites usados en los componentes de los cargadores de bajo perfil.....	47
Tabla 15. Partículas metálicas resultantes de los análisis de aceites de los componentes.....	47
Tabla 16. Partículas metálicas resultantes del análisis de aceite de los motores de combustión interna	48
Tabla 17. Partículas metálicas resultantes del análisis de aceite de las transmisiones	49
Tabla 18. Partículas metálicas resultantes del análisis de aceite de los sistemas hidráulicos	51
Tabla 19. Partículas metálicas resultantes del análisis de aceite de los	

diferenciales	52
Tabla 20. Checklist utilizado en la inspección de equipos.....	56
Tabla 21. Resultados de disponibilidad mecánica después de la aplicación del análisis de aceite	59
Tabla 22. Comparación de las disponibilidades mecánicas antes y después de aplicación del análisis de aceite	60
Tabla 23. Costos resultantes después de aplicar el análisis de aceite.....	61
Tabla 24. Variación de costos ahorrados en el área de mantenimiento	61
Tabla 25. Resultados de los valores de t	63
Tabla 26. Tabla t – Student – una cola.....	64
Tabla 27. Tabla t – Student – dos colas	65

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas que desarrollan sus actividades basadas en la utilización de maquinaria pesada en labores subterráneas exigen que se respondan rápida y efectivamente a los requerimientos de reparaciones y mantenimientos. Para el cumplimiento de estos objetivos, estas empresas usan distintas estrategias con la finalidad de reducir los tiempos de inoperatividad, reducir costos y eficiencia de los procesos.

Los indicadores de gestión de mantenimiento deben monitorearse continuamente. Si estos no son adecuadamente utilizados, podrían generar confusión e interpretación errónea por parte de encargados del área con las posibles pérdidas por paradas imprevistas

Por lo anteriormente indicado, el presente estudio nace de la observación que se realizó durante la evaluación mensual de los indicadores del área de Mantenimiento de la contrata Comiciv que cuenta con cuatro cargadores de bajo perfil en la compañía minera Kolpa y tiene como objetivo incrementar la disponibilidad mecánica. La metodología que se aplicó fue la técnica del análisis de aceite que pertenece al mantenimiento predictivo.

La investigación se inicia con la identificación de los problemas hallados en el área de Mantenimiento relacionados a la gestión de los equipos. Luego, se realiza el estudio de la técnica de análisis de aceite y cómo su aplicación incide en la mejora del rendimiento de los equipos

Finalmente, se evaluó la implementación de la técnica, los resultados obtenidos durante el periodo de estudio y la viabilidad de su aplicación constante durante las operaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

Mantener operativos los equipos es cada vez más importante en las industrias debido a los costos inherentes que representan dentro de la estructura de las empresas. Es así como, en los últimos años se está prestando más atención al área del mantenimiento industrial porque es indispensable para mejorar los indicadores de gestión del área.

Son muchas las empresas que buscan un enfoque integral y planificado del mantenimiento de sus equipos para analizar, detectar y reducir las causas que originan las fallas en las máquinas industriales y a tener que esperar que surjan en los momentos menos esperados en el proceso productivo. Las herramientas utilizadas en la gestión de mantenimiento predictivo son muchas, pero es el análisis de aceite uno de los más usados que, verificando los desgastes de partículas a través de la evaluación física y química, proporciona información con respecto a las condiciones del lubricante (contaminación), desgaste del equipo y permite detectar fallas iniciales, los cuales sirven para establecer una serie de actividades de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica.

Es así como, el análisis de aceites resulta siendo la técnica del mantenimiento predictivo ideal para la aplicación en el uso de los equipos de maquinaria pesada, como es el caso de los cargadores de bajo perfil, pues es dependiente de sistemas fluidos, tales como los aceites hidráulicos, refrigerantes, combustibles y aire, los cuales llevan contaminantes a veces microscópicos dentro de su estructura y los transportan. La presencia de contaminación anormal, en un sistema, puede describirse como falla inicial. Esto significa que, aunque la máquina no está experimentando una pérdida en su desempeño o degradación de sus componentes, las condiciones que llevan a la falla y reducen la vida del componente están presentes. Por lo tanto, el análisis de lubricantes es la herramienta fundamental de una Estrategia Proactiva para el caso de flotas de equipos pesados.

Asimismo, un sistema de mantenimiento involucra la participación de todas las áreas y trabajadores, no solo del área de mantenimiento, cuyo objetivo debe ser la obtención de mejores índices de la disponibilidad mecánica de los equipos, a través de la motivación en actividades autónomas de pequeños grupos con la finalidad de maximizar la efectividad del equipo y envolver totalmente a los directivos y empleados.

Según el libro Programas de Mantenimiento Predictivo, (1) el mantenimiento predictivo consiste en el control de determinadas variables que informan sobre la condición de los equipos, permiten diagnosticar fallos y establecer el tiempo de vida remanente de las máquinas.

Dado que en las empresas mineras se desarrolla una gestión del mantenimiento basado en condición, es importante conocer cómo un adecuado análisis de aceites de los sistemas de los cargadores de bajo perfil, uno de sus equipos de bajo perfil más importantes para el área productiva, puede influir en el mantenimiento predictivo de esta maquinaria minera.

También está claro que la empresa siempre se queja de los altos costos que el mantenimiento de esta máquina implica, por lo que es indispensable encontrar las maneras de mejorarlo con un mantenimiento predictivo que resulte

más barato y eficiente que un mantenimiento correctivo. En este contexto, el propósito de esta investigación es conocer la influencia del análisis de aceites en la gestión del mantenimiento (en especial el predictivo), de la unidad minera Kolpa, para así, con los datos que se obtengan, usarlas en la optimización de los equipos, su planificación y por tanto la programación de la producción.

Tabla 1.
Programación e indicadores iniciales de los equipos enero – marzo del año 2018

N°	Modelo	Código Interno	Mes	Horas Prog	Horas de Operación	Horas Stand By	Horas Parada Mec	Nro Paradas	MTBF	MTR	DISPON	UTIL
1	R1300 G	CMV 1	Enero	620	478	67	75	2	239.0	37.5	88%	88%
2	R1300 G	CMV 2	Enero	620	483	58	79	1	483.0	79.0	87%	89%
3	R1300 G	CMV 3	Enero	620	476	72	72	3	158.7	24.0	88%	87%
4	R1300 G	CMV 4	Enero	620	481	56	83	3	160.3	27.7	87%	90%

N°	Modelo	Código Interno	Mes	Horas Prog	Horas de Operación	Horas Stand By	Horas Parada Mec	Nro Paradas	MTBF	MTR	DISPON	UTIL
1	R1300 G	CMV 1	Febrero	560	448	37	75	2	224.0	37.5	87%	92%
2	R1300 G	CMV 2	Febrero	560	445	36	79	1	445.0	79.0	86%	93%
3	R1300 G	CMV 3	Febrero	560	451	37	72	3	150.3	24.0	87%	92%
4	R1300 G	CMV 4	Febrero	560	450	27	83	3	150.0	27.7	85%	94%

N°	Modelo	Código Interno	Mes	Horas Prog	Horas de Operación	Horas Stand By	Horas Parada Mec	Nro Paradas	MTBF	MTR	DISPON	UTIL
1	R1300 G	CMV 1	Marzo	620	467	75	78	2	233.5	39.0	87%	86%
2	R1300 G	CMV 2	Marzo	620	478	59	83	1	478.0	83.0	87%	89%
3	R1300 G	CMV 3	Marzo	620	473	59	88	3	157.7	29.3	86%	89%
4	R1300 G	CMV 4	Marzo	620	472	66	82	3	157.3	27.3	87%	88%

1.1.1 Problema general

¿De qué manera el análisis de aceite optimizará las actividades de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de bajo perfil de la empresa contratista Comiciv - Kolpa?

1.1.2 Problemas específicos

- a. ¿De qué manera los análisis de aceites influirán en la duración de los componentes o sistemas que afectan directamente la disponibilidad mecánica de los equipos de bajo perfil de la empresa contratista Comiciv - Kolpa?
- b. ¿De qué manera los análisis de aceites influirán en la optimización de las actividades de mantenimiento preventivo de los equipos de bajo perfil de la empresa contratista Comiciv – Kolpa?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de bajo perfil optimizando las actividades de mantenimiento utilizando el análisis de aceite en los principales componentes (motor, transmisión, diferenciales y sistema hidráulico).

1.2.2 Objetivos específicos

- a. Determinar la influencia de los análisis de aceites en la duración de los componentes o sistemas que afectan directamente la disponibilidad mecánica de los equipos de bajo perfil de la empresa contratista Comiciv – Kolpa.
- b. Determinar la influencia de los análisis de aceites en la optimización de las actividades de mantenimiento preventivo de los equipos de bajo perfil de la empresa contratista Comiciv – Kolpa.

1.3 Justificación e importancia

Las actividades relacionadas a la minería necesitan ser cada vez más eficientes, debido principalmente, a la competitividad existente, cuyos factores claves son: productividad, costos, calidad y seguridad. Por ello, es necesario el uso de técnicas de mantenimiento que permitan detectar defectos y fallas de maquinarias en sus etapas iniciales a fin de evitar paradas imprevistas, recurrentes y costosas.

Es así que, el presente trabajo de investigación desarrollada con los cargadores de bajo perfil de la contrata Comiciv en la unidad minera Kolpa, utilizó el análisis de aceite como técnica predictiva que ayudó a mejorar y optimizar las programaciones de mantenimientos preventivos e inspecciones técnicas, las reparaciones y reemplazos de componentes en sus etapas de fallos iniciales, las acciones de seguridad, la reducción de costos operativos, logísticos y mantenimientos correctivos que trajeron como consecuencia un mejor índice de utilización y disponibilidad mecánica de los equipos, que son indicadores asociados a la adecuada gestión del área de mantenimiento.

1.4 Hipótesis y descripción de variables

1.4.1 Hipótesis general

La optimización de las actividades de mantenimiento preventivo a través del análisis de aceite incrementa la disponibilidad mecánica de los equipos de bajo perfil de la empresa contratista Comiciv – Kolpa.

1.4.2 Hipótesis específicas

- a. Los análisis de aceites influyen en la duración de los componentes o sistemas que afectan directamente la disponibilidad mecánica de los equipos de bajo perfil de la empresa contratista Comiciv – Kolpa.
- b. Los análisis de aceites influyen en la optimización de las actividades de mantenimiento preventivo de los equipos de bajo perfil de la empresa contratista Comiciv – Kolpa.

1.4.3 Operacionalización de variables

Tabla 2.
Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
Independiente: Análisis de aceite	Detección de elementos de desgaste	Partículas por millón: Cu, Fe, Cr, Ni, Ti, V, Cd, Ag, Pb, Sn, Al, Si, Na, K, Mo, B, Ba, Ca, Mg, Mn, p y Zn
	Análisis de condición de aceite	Porcentaje de hollín, oxidación, nitración y azufre
	Pruebas físicas	Porcentaje de agua, combustible y glicol
	Conteo de partículas	Tamaño en micras de partículas metálicas como no metálicas utilizando el código ISO 4406
	Viscosidad	Índice de viscosidad a 40 °C y 100 °C
Dependiente: Disponibilidad mecánica	Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	$MTBF = \frac{\text{Número de horas operativas}}{\text{Número de paradas correctivas}}$
	Tiempo promedio de reparación (MTTR)	$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de rep. correctivas}}{\text{Número de paradas correctivas}}$

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes a nivel internacional

- a) En la tesis “*Propuesta de mejora para el mantenimiento del equipo pesado de la constructora Coandes S. A. basado en un análisis de aceite usado en los motores de combustión interna Diésel*”, (2) se concluye que el análisis de aceite usado es una herramienta versátil que puede ser aplicada para conocer las causas de las fallas de casi todo tipo de motores que usen lubricantes derivados de petróleo, siempre y cuando se tenga el suficiente conocimiento técnico para la interpretación de los resultados del mismo y se plantee una metodología adecuada para el proceso que el análisis involucra. Una errónea interpretación de resultados puede conducir a la adopción de medidas equivocadas de mantenimiento agravando la situación de los motores y poniendo en riesgo la operación de la planta. (2)
- b) En la tesis “*Determinación de la rutina de mantenimiento predictivo como resultado del análisis de muestras de aceite usado para un motor de combustión interna marca John Deere modelo 6081*”, (3) se concluye que con el análisis de aceite usado es posible prevenir mantenimientos correctivos anticipándose a la falla, por la interpretación que se le dé a cada análisis, creando una rutina de mantenimiento predictivo para poder predecir la falla. (3)

c) Según el libro “*Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*”, (4) se define al mantenimiento como el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible buscando la más alta disponibilidad y con el máximo rendimiento. Es así como dos de los objetivos principales de la gestión de mantenimiento es mantener los equipos en operación y reducir el número de fallas con costo global mínimo, de tal forma que se logren disminuir los tiempos muertos, mejorar la calidad del servicio, incrementar la productividad y, por lo tanto, el incremento de las utilidades. (4)

Un sistema es un conjunto de componentes que trabajan de manera combinada hacia un objetivo común. El mantenimiento puede ser considerado como un sistema con un conjunto de actividades que se realizan en paralelo con los sistemas de producción.

En la producción, generalmente, se ocupan de convertir entradas o insumo, como materias primas, mano de obra y procesos, en productos que satisfacen las necesidades de los clientes. La principal salida de producción son los productos terminados; una salida secundaria es la falla de un equipo. Esta salida secundaria genera una demanda de mantenimiento, la cual es tomada por el sistema de mantenimiento como una entrada y le agrega conocimiento experto, mano de obra y refacciones, produciendo un equipo en buenas condiciones que ofrece una capacidad de producción. (4)

2.1.2 Antecedentes a nivel nacional

a) En la tesis “*Evaluación de la confiabilidad con el fin de extender la vida útil del lubricante en los motores de mixer durante su periodo de funcionamiento*”, (5) se concluye que es seguro el uso de los aceites lubricantes 15W-40 de especificación API CJ-4 en los motores de *mixers* de los dos grupos analizados, en los períodos de cambio establecidos diferentes de las recomendaciones de los fabricantes, siempre que se lleven a cabo los análisis de los aceites lubricantes de los motores. (5)

b) En el artículo científico “*Mantenimiento preventivo y predictivo para aumentar*

disponibilidad y confiabilidad en motores de camiones Cat797f-Haa de la minera Chinalco”, (6) se concluye que al implementar el cambio de aceite mineral a sintético con intervalos de cambio de 250 y 750 horas respectivamente los indicadores del mantenimiento, como la disponibilidad, aumenta del 96.93% al 98% y la confiabilidad aumentan de 86.20% al 92.93% mientras que la mantenibilidad disminuye de 92% al 88.76%. (6)

- c) En la tesis “*Análisis de desgastes mecánicos por tribología para reducir costos de mantenimiento del motor de tractor sobre orugas D6T-Caterpillar*”, (7) se concluye que la frecuencia de fricción y desgaste en el motor diésel C9.3 ACERT – CAT, se presenta en los pares cinemáticos inferior y superior, principalmente en pares revoluto y prismático (inferior) además que la fricción por algún efecto físico o químico origina fundamentalmente cuatro tipos de desgastes: adhesión, abrasión, corrosión y fatiga. (7)
- d) En la tesis “*Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390FL de Stracon GYM – Cajamarca*”, (8) se concluye que el muestreo de los aceites es un proceso importante dentro del plan de mantenimiento predictivo basado en los análisis de aceite, ya que se parte desde una buena muestra (tomada según los pasos establecidos) para poder determinar valores reales y el trabajo a realizar en el equipo. (8)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Evolución del mantenimiento

Históricamente, el mantenimiento ha evolucionado a través de tres generaciones, mencionadas a continuación:

- a. Primera generación:** cubre la época de la II Guerra Mundial, en esos días la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los períodos de paradas no importaban mucho. La maquinaria era sencilla y en la mayoría de los casos diseñada para un propósito determinado, esto hacía que fueran fiables y fáciles de reparar. Como resultado, no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados, ni un personal significativamente calificado.

b. Segunda generación: durante la II Guerra Mundial ocurrieron cambios drásticos, ya que se aumentó la necesidad de productos de toda clase; mientras que la mano de obra industrial bajó de forma considerable. Esto llevó a la necesidad de aumentar la mecanización. Entre 1950 y 1960 se habían construido máquinas de todo tipo y cada vez más complejas, lo cual sugirió que las fallas de las maquinarias se podían y debían prevenir, resultando el nacimiento del mantenimiento preventivo, basado en la revisión completa del equipo a intervalos fijos. Además, los costos del mantenimiento comenzaron a elevarse en relación a los costos del funcionamiento, llevando a la necesidad de implantar sistemas de control y planificación del mismo.

c. Tercera generación: desde mediados de los años 70, el proceso de cambio en la industria ha alcanzado altas velocidades. Equipos con mayor disponibilidad y confiabilidad. Incremento en la seguridad sin daño al ambiente, mejor calidad de producto, entre otros.

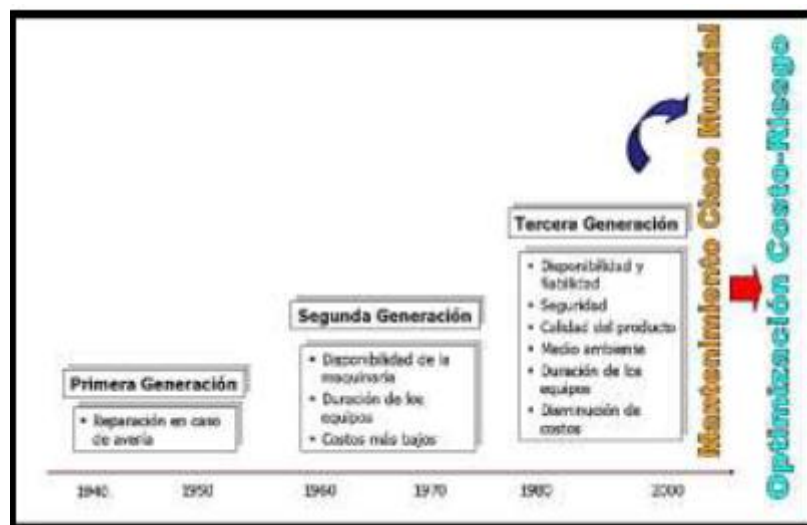


Figura 1. Evolución del mantenimiento a nivel mundial

2.2.2 Estrategias de mantenimiento

Según el “Manual Gestión de Mantenimiento a la medida”, (9) el mantenimiento se basa en el desarrollo de conceptos, criterios y técnicas requeridas para el mantenimiento, proporcionando una guía de políticas o criterios para toma de decisiones en la administración y aplicación de programas de mantenimiento. (9)

Principalmente el mantenimiento puede ser aplicado de 3 formas:

- a. Mantenimiento correctivo:** se aplica luego de que un equipo presente una falla, esto no implica que la intervención esté debidamente planificada.
- b. Mantenimiento preventivo:** es el tipo de mantenimiento centrado en el tiempo de operación de los equipos, a menudo son intervenciones programadas con el propósito de prever posibles averías o desperfectos en su estado inicial y corregirlas para mantener el equipo en completa operación, en los niveles y eficiencia óptimos.
- c. Mantenimiento predictivo:** centrado en la condición, está basado en la determinación del estado del equipo en operación. El concepto se basa en que los equipos den algún tipo de aviso antes que se produzca una falla.

Este tipo de mantenimiento trata de percibir el síntoma para después tomar las acciones correspondientes.

Existen numerosas fuentes que refieren otras alternativas de mantenimiento, pero son estas, principalmente, las que forman las raíces de los diferentes tipos de mantenimiento en otras áreas más específicas.

2.2.3. Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento es una lista donde se asignan las tareas de mantenimiento a períodos de tiempo específicos. Cuando se ejecuta debe realizarse con mucha coordinación a fin de balancear la carga de trabajo y cumplir con los requerimientos de producción. Es esencial un control para observar cualquier desviación con respecto al plan de mantenimiento.

El ingeniero de mantenimiento preventivo debe tener en cuenta que establecer un plan de mantenimiento toma tiempo y que no debe esperar resultados inmediatos, sin embargo, al cabo de pocos meses se verá gradualmente el progreso.

Según se indica en el libro “Organización y Gestión Integral de Mantenimiento”, los objetivos de un plan de mantenimiento son (4):

- Minimizar las acciones correctivas. Intervenir con el mantenimiento antes de que se produzca la avería, pudiendo planificar las tareas y recursos necesarios.
- Reducir los gastos por mantenimiento y reparaciones.
- Aumentar la disponibilidad de la maquinaria, aumentando así su capacidad productiva y obteniendo mayor rentabilidad.
- Alargar la vida útil de los equipos, para que puedan seguir funcionando, perfectamente, el mayor tiempo posible, sin necesidad de ser sustituidos por otros nuevos.
- Aumentar la productividad de la maquinaria y el operador, evitando así los tiempos muertos.
- Evitar la pérdida de materia prima que quede inutilizable por malos procesos en la cadena de fabricación.
- Reducir los riesgos de accidentalidad laboral por rotura de componentes. (4)

2.2.4 Métodos para la prevención de fallas

La pregunta más crítica en el mantenimiento preventivo es: ¿qué tareas deben realizarse para impedir una falla? Obviamente, si se entiende el mecanismo de la falla real del equipo, se puede decidir qué tareas son lógicas para impedir la falla y cuáles no son pertinentes.

Si el mecanismo dominante de falla se basa en el tiempo o se debe al desgaste, es decir, si la probabilidad de la falla aumenta gradualmente con el tiempo, la edad o el uso, entonces **las tareas de mantenimiento tienen que basarse en el tiempo.**

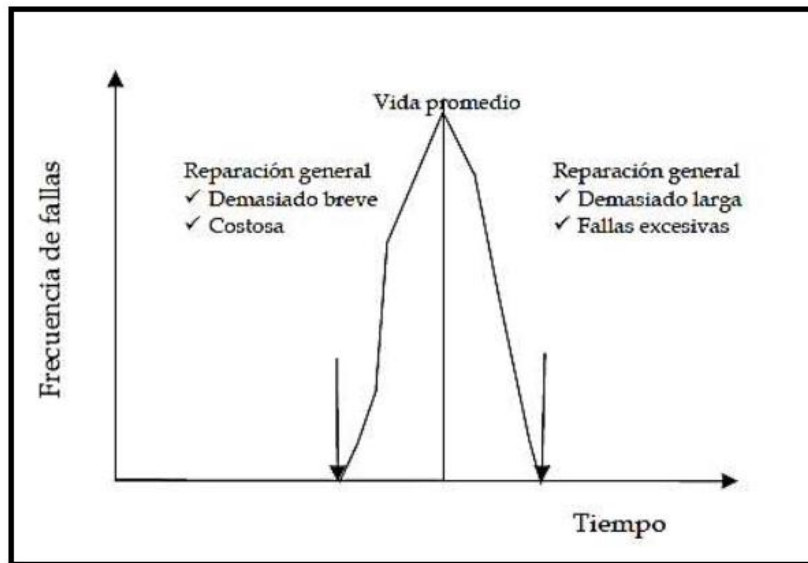


Figura 2. Reparación basada en el tiempo

Las tareas basadas en el tiempo se justifican si un restablecimiento o un reemplazo periódico de componentes restablece el equipo al estado en que pueda realizar las funciones para las que fue creado.

El mantenimiento basado en el tiempo (por ejemplo, reparaciones generales) es técnicamente factible si la pieza tiene una vida promedio identificable. La mayoría de las piezas sobreviven dicha edad y la acción restablece la condición de la pieza a su función deseada.

2.2.5 Mantenimiento y la producción

- El mantenimiento tiene un enlace directo con la calidad de los productos.
- El equipo con un buen mantenimiento produce menos desperdicios que el equipo con un mantenimiento deficiente.
- El mantenimiento preventivo, basado en las condiciones, emplea una estrategia de mantenimiento de ciclo cerrado en la que se obtiene información del equipo y se utiliza para tomar decisiones para el mantenimiento planeado. La decisión de mantenimiento generalmente se basa en el empleo de un umbral, el cual, una vez alcanzado, significa que se debe realizar mantenimiento. Tal estrategia asegurará una alta calidad del producto, especialmente si el umbral se elige de tal manera que el equipo no se deteriore hasta un grado en el que se generen productos defectuosos o casi defectuosos.

- La salida del mantenimiento es un equipo en condiciones de dar servicio. Un equipo con un buen mantenimiento aumenta la capacidad de producción y representa una entrada a producción. Por lo tanto, el mantenimiento afecta la producción al aumentar dicha capacidad y controlar la calidad y la cantidad de salida.

A partir de 1994, el mantenimiento pasó a ser reconocido por las normas ISO 9001, como un requisito de control del proceso. La norma incluye un requisito de "proporcionar al equipo el mantenimiento adecuado para garantizar la capacidad continua del proceso". Por lo tanto, para cumplir estas disposiciones, las empresas que deseen obtener o mantener la certificación, deberán elaborar los manuales de procedimientos del sistema de mantenimiento.

2.2.6. Costos de mantenimiento

Desde el punto de vista de la administración del mantenimiento, uno de los factores más importantes es el costo.

El mantenimiento involucra diferentes costos tales como:

- a. Costos directos:** están relacionados con el rendimiento de la empresa y son menores si la conservación de los equipos es mejor, influyen la cantidad de tiempo que se emplea el equipo y la atención que requiere; estos costos son fijados por la cantidad de revisiones, inspecciones y en general las actividades y controles que se realizan a los equipos, comprendiendo:
 - Costos de mano de obra directa
 - Costos de materiales y repuestos
 - Costos asociados directamente a la ejecución de trabajos: consumo de energía, alquiler de equipos, etc.
 - Costos de utilización de herramientas y equipos
- b. Costos indirectos:** son aquellos que no pueden atribuirse de una manera directa a una operación o trabajo específico. En mantenimiento, es el costo

que no se puede relacionar a un trabajo específico. Por lo general, suelen ser: supervisión, almacén, instalaciones, servicios de taller, accesorios diversos, administración y otros más.

c. Costos de tiempos perdidos: son aquellos, aunque no están relacionados directamente con mantenimiento, pero si están originados de alguna forma por este; tales como:

- Paros de producción
- Baja efectividad
- Desperdicios de material
- Mala calidad
- Entregas en tiempos no prefijados (demoras)
- Perdidas en ventas, etc.

Para ello, se debe contar con la colaboración del área de mantenimiento y producción, ya que se debe recibir información de tiempos perdidos o paro de máquinas, necesidad de materiales, repuestos y mano de obra estipulados en las ordenes de trabajo, así como la producción perdida.

d. Costos generales: son los costos en que incurre la empresa para sostener las áreas de apoyo de funciones no propiamente productivas.

Para que los gastos generales de mantenimiento tengan utilidad como instrumento de análisis, deberán clasificarse con cuidado, a efecto de separar el costo fijo de la variable, en algunos casos se asignan como directos o indirectos.

2.2.7. Indicadores de gestión de mantenimiento

Los indicadores de gestión son parámetros numéricos que facilitan la información sobre un factor crítico identificado en los diferentes procesos de mantenimiento y manufactura que intervienen en la organización.

Con los indicadores de mantenimiento se puede:

- Identificar los factores claves del mantenimiento y su afectación a la producción.
- Dar los elementos necesarios que permiten realizar una evaluación profunda de la actividad en cuestión.
- Establecer unos valores plan o consigna que determinen los objetivos a lograr.
- Controlar los objetivos propuestos comparando los valores reales con los valores planificados o consigna.
- Facilitar la toma de decisiones y acciones oportunas ante las desviaciones que se presentan.

Entre el principal indicador de mantenimiento a considerar está el de la disponibilidad.

a. La disponibilidad mecánica (D)

Es el principal parámetro asociado al mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción. Se define como la probabilidad de que una máquina esté preparada para la producción en un período de tiempo determinado, es decir, que no esté detenida por averías o ajustes.

$$D = \frac{T_o}{T_o + T_p}$$

Donde:

T_o = horas de operación

T_p = horas de parada mecánica

Los periodos de tiempo nunca incluyen paradas planificadas, ya sea por mantenimientos planificados, o por paradas de producción, dado que estas no son debidas al fallo de la máquina.

Aunque la anterior es la definición natural de disponibilidad, se suele definir, de forma más práctica, a través de los tiempos medios entre fallas y de reparación.

Entonces, la disponibilidad depende de:

- La frecuencia de las fallas
- El tiempo que transcurra en reanudar el servicio

Por lo tanto:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde:

MTBF = tiempo promedio entre fallas

MTTR = tiempo promedio de reparación

b. Tiempo promedio entre fallas (MTBF)

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}}$$

Empleado en sistemas en los que el tiempo de reparación es significativo con respecto al tiempo de operación (sistemas reparables).

c. Tiempo promedio de reparación (MTTR)

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{N^{\circ} \text{ de reparaciones correctivas}}$$

Es el tiempo promedio que toma en regresar a condiciones disponibles físicas y operacionales después de una falla funcional.

Listo para ser utilizado nuevamente, involucrando tiempos de reparación y posibles retrasos.

2.2.8 La prueba t

Es una prueba estadística para evaluar si dos grupos difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias. Símbolo t.

a. Hipótesis por probar

Diferencia entre dos grupos. la hipótesis de investigación propone que los grupos difieren significativamente.

b. Variables

La comparación se realiza sobre una variable. Si hay diferentes variables se efectuarán varias pruebas “t” una por cada variable. También se puede aplicar cuando se tiene un grupo al cual se le aplica el estímulo experimental y el otro grupo el de control.

c. Nivel de medición

Intervalo o de razón

Interpretación

El valor de “t” se obtiene mediante la fórmula:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}}$$

\bar{X}_1 Media del Primer Grupo
 S_1^2 Varianza del Primer Grupo
 N_1 Tamaño del Primer Grupo

Para determinar los grados de libertad se suman los tamaños de los grupos menos 2, con los grados de libertad y, el nivel de significancia se determina en tablas el valor de “t”.

**Si: t calculado \geq t tabular
Se acepta la hipótesis de investigación**

2.2.9 Análisis de aceite

Según información obtenida del manual “Laboratorio de Análisis de Fluidos”, (10) se obtiene la descripción de términos que serán necesarios en el análisis de los resultados de aceites, como:

a. Aceite: proporciona una película que reduce el contacto de metal contra metal, el desgaste y por ende la fricción.

b. Viscosidad: es la resistencia del aceite a fluir, que tiene las siguientes características: a mayor viscosidad, mayor resistencia a fluir; a menor viscosidad, menor resistencia a fluir. Es muy importante que la viscosidad del aceite sea la correcta tanto a temperaturas altas como bajas

c. API (Instituto Americano del Petróleo): las clasificaciones para la fabricación de aceites son establecidas por el API para cada compartimento, siendo estas: motores de diésel o gasolina, transmisiones, maquinarias agrícolas, equipos militares, etc.

- Motores Diésel (CI-4, CH-4, CG-4, CF-4)
- Motores gasolineros (SL, SJ, SI, SH, SG)
- Transmisión (TO-4)

d. SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices): categorizan los aceites de acuerdo a su viscosidad, con un sistema de numeración.

- SAE 15W40, SAE 10W, SAE 30, SAE 50
- La letra W está relacionada a *winter* (invierno)

Tabla 3.
Aceites Caterpillar

COMPARTIMIENTO	ESPECIFICACION API	GRADO VISC. SAE	VISCOSIDAD (100°C)
HIDRAULICO	TO-4	10W	6.0 cSt
MOTOR	CI-4	15W40	14.1 cSt
TRANSMISION	TO-4	30	11.6 cSt
M. FINALES / DIFERENC.	TO-4	50	18.5 cSt
ENGRANAJES	GL-5	80W90	14.6 cSt

- e. Detección de elementos de desgaste:** se detectan 22 elementos internos metálicos que pueden derivar de desgastes, contaminantes y aditivos: Cu, Fe, Cr, Ni, Ti, V, Cd, Ag, Pb, Sn, Al, Si, Na, K, Mo, B, Ba, P, Zn, Ca, Mn y Mg.
- f. Análisis de condición de aceite:** se determina mediante un espectrofotómetro infrarrojo que identifica y cuantifica componentes orgánicos al comparar muestras tanto de aceite nuevo como usado. Se aplica a los aceites de todos los compartimentos y mide la cantidad de hollín, oxidación, nitración y azufre, también puede detectar contaminación con agua, combustible o glicol.
- g. Pruebas físicas:** se utiliza para confirmar la presencia de agua (prueba del chisporroteo), glicol (añadiendo un reactivo químico) o combustible (prueba del destello) en el aceite.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

Según el libro titulado "*Metodología de Investigación*", (11) se afirma que la investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno. La claridad en el enfoque y estructura metodológica es condición obligada para asegurar la validez de la investigación. (11)

Para el presente trabajo se usó el método inductivo porque se procesaron y analizaron los datos obtenidos de órdenes de trabajo, *checklists* y *backlogs*, comenzando por los datos para llegar a una teoría que refleje el trabajo realizado de lo particular a lo general. (11)

3.1.1 Tipo de Investigación

Según el libro titulado "*Metodología de Investigación Científica*", (12) la investigación aplicada se diferencia por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, indica que investigamos para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad. (12)

Es por ello que en el presente trabajo se realizó una investigación aplicada debido a que se utilizaron conocimientos y teorías de ingeniería con la finalidad

de solucionar los problemas de la empresa. Se procesaron y analizaron los datos obtenidos de órdenes de trabajo, *checklists* y *backlogs*.

3.1.2 Nivel de investigación

La investigación que se desarrolló es de nivel correlacional, que se define, según el libro “Metodología de la Investigación”, los estudios correlacionales pretenden analizar la relación entre dos variables. (11)

El trabajo es de nivel correlacional, porque su finalidad fue evaluar el incremento de la disponibilidad mecánica mediante la utilización de análisis de aceite a fin de determinar los niveles de desgaste y degradación de los aceites de los cargadores de bajo perfil CAT R1300G de la empresa contratista Comiciv – Kolpa.

3.2 Diseño de investigación

Según la monografía “7 pasos para una tesis exitosa”, el término **diseño** se refiere a planes y estrategias para realizar investigaciones, los cuales derivan del método científico y son específicos según la disciplina que los emplee. (13)

El trabajo de investigación es de diseño preexperimental; específicamente al diseño con preprueba y posprueba con un solo grupo. Al respecto se describe en el libro “Metodología de la Investigación” que, a un grupo se le aplica una prueba previa al estímulo o tratamiento experimental y finalmente se le aplica una prueba posterior al estímulo. Este diseño ofrece una ventaja sobre el anterior: existe un punto de referencia inicial para ver qué nivel tenía el grupo en la(s) variable(s) dependiente(s) antes del estímulo. (11)

El presente trabajo de investigación es preexperimental porque se aplicó el análisis de aceite en preprueba y posprueba con la finalidad de mejorar la disponibilidad mecánica de los cargadores de bajo perfil CAT R1300G de la empresa contratista Comiciv – Kolpa.

Donde:

X: Variable independiente

O1: Observaciones antes

O2: Observaciones después

3.3 Población y muestra

Las unidades de observación del presente trabajo de investigación son los cargadores de bajo perfil modelo R1300G de marca Caterpillar de la empresa contratista Comiciv con operación en la compañía minera Kolpa, ubicada en el departamento y provincia de Huancavelica.



Figura 3. Cargador de bajo perfil Caterpillar R1300G. Tomada de especálogo Caterpillar R1300g

Tabla 4.

Características técnicas del equipo

Descripción	Dimensiones
Modelo de motor	CAT 3306B
Potencia neta	123 kW
Capacidad de carga	6800 kg
Peso bruto	29702 kg

Tomada de Especálogo Caterpillar R1300G

3.3.1 Población

Según el libro “*Metodología de la Investigación*”, se define la población como el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones. (11)

La investigación se realiza en la empresa contratista Comiciv – Kolpa y la población de estudio está conformada por cuatro cargadores de bajo perfil de marca Caterpillar ya que son la cantidad de equipos con las que cuenta la contrata minera, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.
Equipos pesados

N.º	Tipo	Marca	Modelo	Capacidad	Serie
1	Cargador de bajo perfil	Caterpillar	R1300 G	4.1 yd ³	CMV 1
2	Cargador de bajo perfil	Caterpillar	R1300 G	4.1 yd ³	CMV 2
3	Cargador de bajo perfil	Caterpillar	R1300 G	4.1 yd ³	CMV 3
4	Cargador de bajo perfil	Caterpillar	R1300 G	4.1 yd ³	CMV 4

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas de análisis de datos

Las técnicas de investigación para la recolección de datos son los siguientes:

- La observación para tomar nota, descripción y análisis de los datos durante la operación de los equipos en sus lugares de trabajo previamente asignados.
- Recolección de información emitida por los operadores de los equipos y el personal técnico de mantenimiento.

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que servirán para la recolección de datos serán los siguientes:

- *Checklist* de preoperación
- Reportes de operación diaria
- Reportes de intervención mecánica de personal mecánico
- Registro de horómetros
- Historial de los equipos
- Manuales de operación y mantenimiento
- Historial de órdenes de trabajo

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1 Situación inicial del desempeño de los equipos

Los cargadores de bajo perfil de la contrata de servicios Comiciv realizan trabajos de carga, acarreo y descarga en las labores subterráneas de la compañía minera Kolpa en Huancavelica, siendo estos los principales equipos para esta función, razón por la cual se requiere que cumplan el trabajo adecuado cumpliendo con los indicadores de mantenimiento, en especial lo referido a la disponibilidad mecánica.

Los principales problemas que se presentan en el aspecto técnico-mecánico se indican en la siguiente figura:

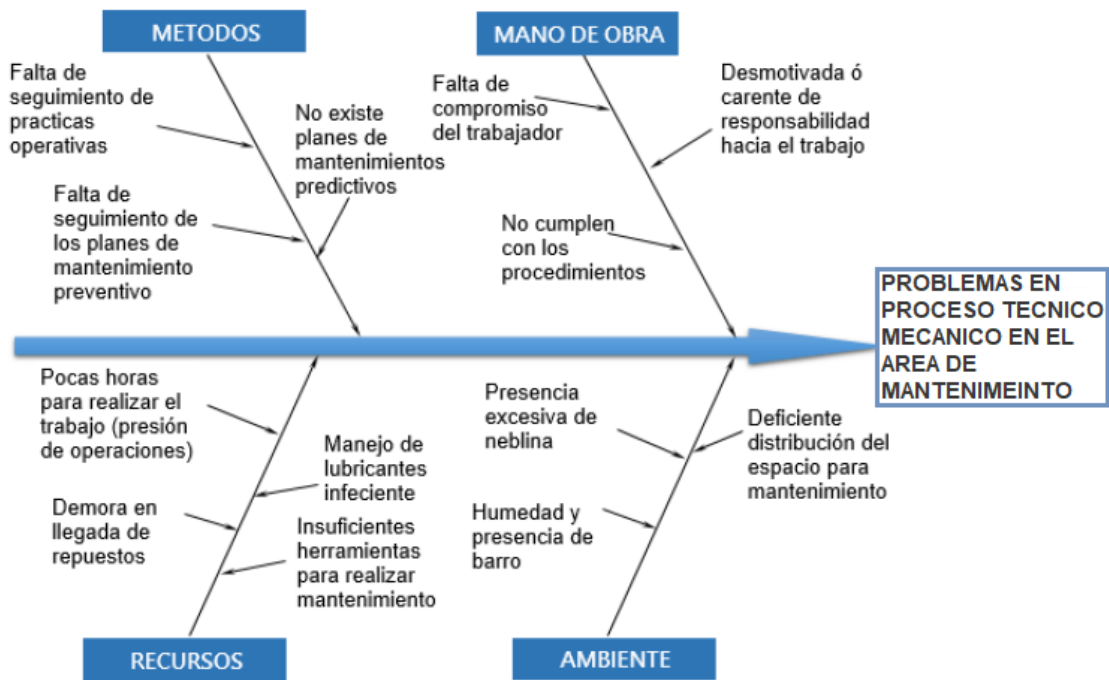


Figura 4. Diagrama de causa – efecto: problemas en área de mantenimiento

Considerando estos aspectos que inciden en el área de mantenimiento y antes de implementar el análisis de aceite, se tuvieron las siguientes disponibilidades detalladas en las siguientes tablas de los meses de enero, febrero y marzo del presente año:

Tabla 6.

Disponibilidad de cargadores de bajo perfil antes de aplicación de análisis de aceite

N.º	Modelo	Código interno	Mes	Horas prog.	Horas de operación	Horas stand by	Horas parada mec.	N.º paradas	MTBF	MTTR	Dispon.	Útil
1	R1300 G	CMV 1	enero	620	478	67	75	2	239.0	37.5	88%	88%
2	R1300 G	CMV 2	enero	620	483	58	79	1	483.0	79.0	87%	89%
3	R1300 G	CMV 3	enero	620	476	72	72	3	158.7	24.0	88%	87%
4	R1300 G	CMV 4	enero	620	481	56	83	3	160.3	27.7	87%	90%

N.º	Modelo	Código interno	Mes	Horas prog.	Horas de operación	Horas stand by	Horas parada mec.	N.º paradas	MTBF	MTTR	Dispon.	Útil
1	R1300 G	CMV 1	febrero	560	448	37	75	2	224.0	37.5	87%	92%
2	R1300 G	CMV 2	febrero	560	445	36	79	1	445.0	79.0	86%	93%
3	R1300 G	CMV 3	febrero	560	451	37	72	3	150.3	24.0	87%	92%
4	R1300 G	CMV 4	febrero	560	450	27	83	3	150.0	27.7	85%	94%

N.º	Modelo	Código interno	Mes	Horas prog.	Horas de operación	Horas stand by	Horas parada mec.	N.º paradas	MTBF	MTTR	Dispon.	Útil
1	R1300 G	CMV 1	marzo	620	467	75	78	2	233.5	39.0	87%	86%
2	R1300 G	CMV 2	marzo	620	478	59	83	1	478.0	83.0	87%	89%
3	R1300 G	CMV 3	marzo	620	473	59	88	3	157.7	29.3	86%	89%
4	R1300 G	CMV 4	marzo	620	472	66	82	3	157.3	27.3	87%	88%

4.1.2. Situación inicial de la gestión de costos de repuestos

Para el análisis de la situación inicial de los repuestos utilizados en los mantenimientos preventivos y correctivos, se muestran los costos realizados en los primeros meses del año de estudio.

Tabla 7.
Costos iniciales de repuestos utilizados para mantenimiento preventivos y correctivos en la unidad Kolpa

Ítem	Año	Unidad	Mes	Costo \$	Observaciones
1	2018	Kolpa	enero	14083.48	Repuestos utilizados en mantenimiento correctivo para mantenimiento preventivo.
2	2018	Kolpa	febrero	12965.07	Repuestos utilizados en mantenimiento correctivo para mantenimiento preventivo.
3	2018	Kolpa	marzo	13402.24	Repuestos utilizados en mantenimiento correctivo para mantenimiento preventivo.

Como puede apreciarse, de acuerdo a los datos obtenidos de la base de datos histórica utilizada por el área de logística, el costo promedio en repuestos en los tres primeros meses del año de estudio fue de \$ 13483.6. se ve también, líneas más abajo de este trabajo de investigación, cuál es el efecto que se obtuvo luego de aplicar el análisis de aceite en los procesos de mantenimiento.

4.1.3 Situación inicial de los procesos de mantenimiento de la contrata Comiciv

Para el análisis de la situación inicial del presente trabajo se consideraron cuatro cargadores de bajo perfil R1300G de marca Caterpillar, cuyas horas de operación varía entre 2500 y 4500 horas.

Durante la aplicación del estudio, se pudo observar que no se aplica el análisis de aceite en los principales sistemas de los equipos, lo cual repercute de manera directa en la gestión de mantenimiento del área, como se verá líneas abajo.

Asimismo, se cuenta con personal de supervisión y técnico-mecánico conformado por un Jefe de Mantenimiento cuya función es la gestión y planificación de recursos, dos técnicos mecánicos, un electricista y un soldador. En el área logística se cuenta con un almacenero que se encarga de la gestión

de repuestos e insumos necesarios para las actividades. El sistema de trabajo por sistema es de 14 días laborales y 7 de descanso. Es de resaltar, que el personal indicado también comparte labores de mantenimiento de otros vehículos de la contrata como una camioneta y un camión de transporte de personal del área de operaciones.

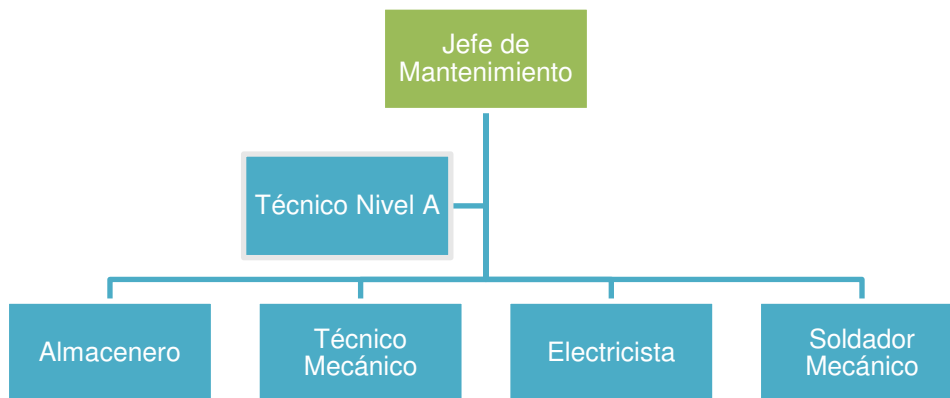


Figura 5. Organigrama del área de mantenimiento de la contrata Comiciv

4.1.3.1 Mantenimiento preventivo

Los trabajos de mantenimiento preventivo se realizan de manera básica sin considerar los criterios básicos del avance tecnológico del mantenimiento. En el caso del preventivo se remite solo al engrase de los puntos de fricción de cilindros hidráulicos, articulaciones y cucharón, inspección básica de los componentes superficiales, además del reemplazo de aceites y filtros de componentes mayores como motores, transmisiones, diferenciales y sistema hidráulico en intervalos de horas en teoría planeadas, pero que realmente dependen de la disponibilidad que ofrece el área de operaciones.

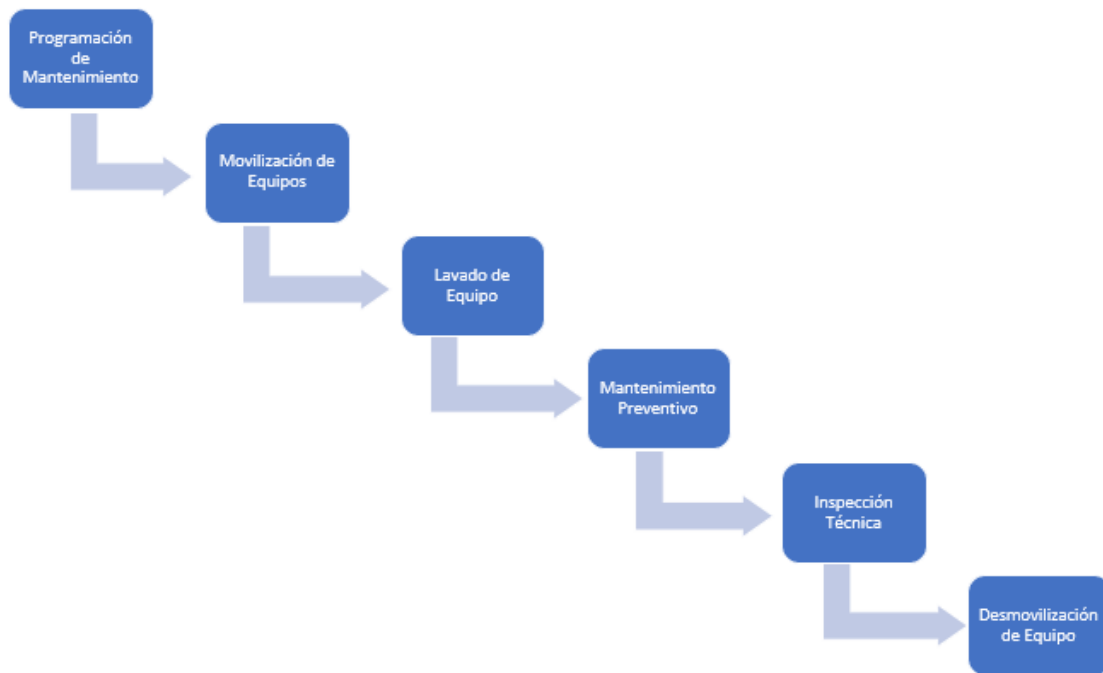


Figura 6. Flujo de procesos del mantenimiento preventivo

4.1.3.2 Mantenimiento correctivo

En el caso del mantenimiento correctivo se limita al diagnóstico de fallas y reparaciones básicas entre las cuales se pueden detallar: calibraciones de válvulas de motor, reparaciones de alternadores y arrancadores, reemplazo de sellos de cilindros hidráulicos, reparación y reemplazo de cardanes, reparación y reemplazo de válvulas hidráulicas, reparaciones de bombas hidráulicas, entre otros, cuando se presentan las fallas. En caso de que estas sean de mayor consideración, se recurre al soporte técnico brindado por el proveedor del fabricante, en este caso Ferreyros S. A.

De lo detallado, se pudieron observar los principales problemas en los procesos de la gestión de mantenimiento:

- El registro de reparaciones y cambio de componentes es deficiente.
- No existe un criterio unificado en el uso de cartillas de inspección.
- El registro de engrases es deficiente, hallándose datos inexactos con relación a los equipos.
- No existe relación de asistencia a capacitaciones internas de personal técnico y operativo.
- No se cuenta con un procedimiento de prioridades en caso de reparación de componentes.

- No se cuenta con la información actualizada sobre capacitaciones del personal técnico.
- No se cuenta con el registro de componentes en *stand by* para el caso de paradas de emergencias.
- Los manuales de operación y mantenimiento y de partes se encuentran obsoletos y en malas condiciones.
- No se cuenta con los manuales de reparación de componentes mayores y menores.
- No se tiene relación directa con el proveedor de repuestos lo que dificulta los tiempos de atención de estos.
- No se tiene actualizada la relación de repuestos en almacén.

4.1.4. Vida útil de los principales componentes de los equipos

Los cargadores de bajo perfil tienen componentes principales que inciden directamente en la vida útil del equipo y por ende en su disponibilidad mecánica. A continuación, en la siguiente tabla, se muestra cuál es el tiempo promedio que cada uno de ellos, en condiciones óptimas de mantenimiento, deberían durar:

Tabla 8.
Vida útil referencial de componentes de los cargadores de bajo perfil

EQUIPO	Modelo	Descripción	Sistema	Sub Sistema	Numero de Parte	Horas Proyectadas	Costo de Reparación
CORVI-2	R1300G	Bomba Hidraulica	Hidraulico	Bomba	162-9207	8,000.00	3,400.00
CORVI-2	R1300G	Cilindro de Direccion D	Hidraulico	Cilindro	9EL-9086	5,000.00	1,316.89
CORVI-2	R1300G	Cilindro de Levante D	Hidraulico	Cilindro	9EL-4734	5,000.00	1,960.06
CORVI-2	R1300G	Cilindro de Levante I	Hidraulico	Cilindro	9EL-4734	5,000.00	1,960.06
CORVI-2	R1300G	Cilindro de Volteo	Hidraulico	Cilindro	9EL-4671	5,000.00	2,036.06
CORVI-2	R1300G	Enfriador de aceite Hidraulico	Hidraulico	Enfriamiento	4W-5363	6,000.00	110.00
CORVI-2	R1300G	Valvula de Carga	Hidraulico	Valvula	256-0247	12,000.00	1,200.00
CORVI-2	R1300G	Aftercooler	Motor	Enfriamiento		6,000.00	80.00
CORVI-2	R1300G	Bomba Aceite de Motor	Motor	Motor Basico	6I-1346	15,000.00	1,500.00
CORVI-2	R1300G	Bomba de Agua	Motor	Enfriamiento	172-7760	6,000.00	350.00
CORVI-2	R1300G	BOMBA DE INYECCION	Motor	Combustible	4P-9841	6,000.00	2,420.00
CORVI-2	R1300G	Enfriador de aceite de motor	Motor	Enfriamiento	7N-0110	6,000.00	110.00
CORVI-2	R1300G	Enfriador de aceite de Transmision	Tren de Fuerza	Enfriamiento	9EP-8502	6,000.00	110.00
CORVI-2	R1300G	Injector	Motor	Combustible		6,000.00	1,028.00
CORVI-2	R1300G	Motor	Motor	Motor Basico	147-1305	25,000.00	18,000.00
CORVI-2	R1300G	MOTOR (REPARACION PARCIAL)	Motor	Motor Basico		12,000.00	5,000.00
CORVI-2	R1300G	Radiador	Motor	Enfriamiento	9EP-7600	6,000.00	330.00
CORVI-2	R1300G	TurboCompresor	Motor	Admision Aire y Escape	145-1697	6,000.00	770.00
CORVI-2	R1300G	Transmision	Tren de Fuerza	Transmision	9EQ-2419	12,000.00	16,959.32
CORVI-2	R1300G	Tren Delantero	Tren de Fuerza	Eje	9EP-6145	12,000.00	17,984.07
CORVI-2	R1300G	Tren Posterior	Tren de Fuerza	Eje	9EQ-2999	12,000.00	17,598.97

Los horómetros de operación de los equipos actualmente varían entre 2500 horas a 4500 horas. El cuadro muestra las horas que deben durar cada uno de los componentes, que a su vez tiene incidencia directa en los componentes mayores. Estas ratios, fueron determinados en función a la propia data histórica de fallas.


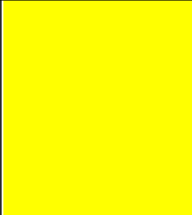
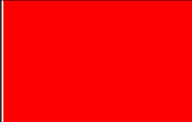
De acuerdo a las horas de operación de los equipos anteriormente indicados, los componentes se encuentran en el inicio y mitad de sus vidas útiles. Es así que, componentes como bombas hidráulicas, inyector, bombas de inyección, turbocompresor, válvulas hidráulicas, engranajes deben tener un cuidado muy específico, apoyados en el análisis de aceite de los sistemas de transmisión, diferenciales, hidráulico y motor.

4.1.5 Análisis de aceite de los componentes de los cargadores de bajo perfil

El análisis de aceite es una técnica que pertenece al mantenimiento predictivo cuya finalidad es analizar el estado del aceite (oxidación, contaminación, etc.) de los componentes principales de los cargadores de bajo perfil, utilizando para ello, además de equipos e instrumentos sofisticados y calibrados, el personal idóneo con la experiencia y conocimiento para la operación e interpretación de resultados.

De acuerdo a los resultados de las condiciones de los aceites, se tienen tres niveles de alerta, y son:

Tabla 9.
Niveles de alerta de contaminación de los aceites

CONDICION	COLOR	DESCRIPCION
NORMAL		El aceite se encuentra dentro de los parámetros normales
SEGUIMIENTO		El aceite se encuentra sobre los valores normales, teniendo que realizar un seguimiento más constante para detectar la falla antes de que pasar a un estado más grave.
ALERTA		El aceite se encuentra en un estado de alerta donde se tiene que tomar acciones de inmediatas antes de que el equipo falle.

Tomada de SOS Service – Ferreyros S. A.

De acuerdo a estos niveles podremos indicar las tendencias de los desgastes de las partes internas de los principales componentes de los cargadores de bajo perfil: transmisión, diferenciales, hidráulico y motor.

4.1.6 Información comparativa de fabricante

4.1.6.1 Tablas de desgaste

De acuerdo a la información obtenida del fabricante, se tienen tablas de desgaste de los principales componentes de los cargadores de bajo perfil que permitirán realizar el análisis y diagnóstico de las condiciones actuales de cada uno de ellos para tomar las acciones correctivas a fin de optimizar los procesos de mantenimiento. Estos valores están diferenciados por tres condiciones, los cuales son: *No Action Required*, indica que el desgaste se encuentra dentro de rangos aceptables, *monitor* que muestra que se deben realizar acciones de seguimiento y *Action Required* que indica que se deben tomar acciones correctivas inmediatas.

En esta primera tabla se presentan los rangos de desgaste de los componentes internos de los motores de los cargadores de bajo perfil Caterpillar R1300G, cuyos valores permitirán realizar el diagnóstico del comportamiento y tendencia de estos.

Tabla 10.

Rangos de desgaste de elementos mecánicos internos de motores

Created	02 Apr 2007					
Manufacturer	CATERPILLAR					
Family	Load, Haul, Dump					
Model	R1300G					
Product ID Prefix						
Compartment	ENGINE					
Valid Equipment	16					
Valid Samples	116					
Valid Fluid Hours	250					
Element	No Action Required		Monitor		Action Required	
Copper	0	to 5	6	to 7	Over	7
Iron	0	to 68	69	to 84	Over	84
Chromium	0	to 3	4	to 5	Over	5
Aluminum	0	to 4	5	to 6	Over	6
Lead	0	to 4	5	to 6	Over	6
Silicon	0	to 11	12	to 14	Over	14
Tin	0	to 3	4	to 5	Over	5

Tomada de SOS Service – Caterpillar

En esta segunda tabla se tienen los rangos de desgaste de los componentes internos de las transmisiones de los cargadores de bajo perfil Caterpillar R1300G, cuyos valores permitirán realizar el diagnóstico del comportamiento y tendencia de estos.

Tabla 11.

Rangos de desgaste de elementos mecánicos internos de transmisiones

Created	02 Apr 2007					
Manufacturer	CATERPILLAR					
Family	Load, Haul, Dump					
Model	R1300G					
Product ID Prefix						
Compartment	TRANSMISSION POWER SHIFT					
Valid Equipment	6					
Valid Samples	35					
Valid Fluid Hours	1000					
Element	No Action Required		Monitor		Action Required	
Copper	0	to 15	16	to 19	Over	19
Iron	0	to 30	31	to 36	Over	36
Chromium	0	to 2	3	to 4	Over	4
Aluminum	0	to 5	6	to 7	Over	7
Lead	0	to 4	5	to 6	Over	6
Silicon	0	to 10	11	to 14	Over	14
Tin	0	to 3	4	to 5	Over	5

Tomada de SOS Service – Caterpillar

En esta tercera tabla se presentan los rangos de desgaste de los componentes internos de los sistemas hidráulicos de los cargadores de bajo perfil Caterpillar R1300G, cuyos valores permitirán realizar el diagnóstico del comportamiento y tendencia de estos.

Tabla 12.**Rangos de desgaste de los elementos mecánicos del sistema hidráulico**

Created	02 Apr 2007		
Manufacturer	CATERPILLAR		
Family	Load, Haul, Dump		
Model	R1300G		
Product ID Prefix			
Compartment	HYDRAULIC SYSTEM		
Valid Equipment	9		
Valid Samples	47		
Valid Fluid Hours	2000		
Element	No Action Required	Monitor	Action Required
Copper	0 to 3	4 to 5	Over 5
Iron	0 to 14	15 to 18	Over 18
Chromium	0 to 2	3 to 4	Over 4
Aluminum	0 to 2	3 to 4	Over 4
Lead	0 to 2	3 to 4	Over 4
Silicon	0 to 13	14 to 16	Over 16
Tin	0 to 2	3 to 4	Over 4

Tomada de SOS Service – Caterpillar

En esta cuarta tabla están los rangos de desgaste de los componentes internos de los diferenciales (delantero y posterior) de los cargadores de bajo perfil Caterpillar R1300G, cuyos valores permitirán realizar el diagnóstico del comportamiento y tendencia de estos.

Tabla 13.**Rangos de desgaste de elementos mecánicos internos de los diferenciales**

Created	02 Apr 2007		
Manufacturer	CATERPILLAR		
Family	Load, Haul, Dump		
Model	R1300G		
Product ID Prefix			
Compartment	DIFFERENTIAL		
Valid Equipment	7		
Valid Samples	36		
Valid Fluid Hours	1000		
Element	No Action Required	Monitor	Action Required
Copper	0 to 16	17 to 21	Over 21
Iron	0 to 233	234 to 323	Over 323
Chromium	0 to 2	3 to 4	Over 4
Aluminum	0 to 8	9 to 11	Over 11
Lead	0 to 2	3 to 4	Over 4
Silicon	0 to 18	19 to 24	Over 24
Tin	0 to 6	7 to 8	Over 8

Tomada de SOS Service – Caterpillar**4.1.6.2 Viscosidad de aceites**

Para determinar las viscosidades de los aceites utilizados en cada uno de los componentes mayores, se utiliza la siguiente tabla que tiene la información referida al tipo de aceite, para qué componente se utiliza y la viscosidad cinemática medida a 100 °C en centistokes (cSt).

Tabla 14.

Rangos de viscosidades de los aceites usados en los componentes de los cargadores de bajo perfil

N.º	Tipo de aceite	Componente	Viscosidad a 100 °C (cSt)
1	SAE 15W 40	Motor	14.4
2	SAE 30	Transmisión	11.2
3	SAE 50	Diferenciales	18
4	SAE 10W	Sist. hidráulico	6.3

4.1.7 Análisis de componentes principales de los cargadores de bajo perfil

Para el análisis de los desgastes que sufren cada uno de las partes internas de los componentes principales de los equipos a los cuales se realizará el análisis de aceite, se tiene en cuenta cuáles son los elementos a evaluar desde partículas metálicas hasta el análisis de contaminantes, la oxidación presente, viscosidad del aceite, que se va degradando con el uso, partículas ferrosas y presencia de agua. Para ello, se elaboró la siguiente tabla de elementos analizados:

Tabla 15.

Partículas metálicas resultantes de los análisis de aceites de los componentes

Componente	Elementos analizados
Motor	(Fe, Cu, Al, Cr), contaminantes, oxidación, soot, sulfatación, viscosidad, agua
Transmisión	(Fe, Cu, Al, Cr, Si), contaminantes, viscosidad, partículas ferrosas PQ, agua
Diferenciales	(Fe, Cu, Al, Cr, Si), contaminantes, viscosidad, partículas ferrosas PQ, agua
Sistema hidráulico	(Fe, Cu, Al, Cr, Si), contaminantes, viscosidad, partículas ferrosas PQ, agua

4.1.7.1 Motor

Los motores de los cargadores de bajo perfil son máquinas térmicas que generan la potencia necesaria para que los equipos puedan realizar las funciones determinadas. Actualmente, están en un rango de operación de entre 2500 y 4500 horas cuyos resultados de los análisis de aceite arrojaron los siguientes datos:

Tabla 16.

Partículas metálicas resultantes del análisis de aceite de los motores de combustión interna

N.º	Equipo	Elementos				Condición del aceite					
		Cu	Fe	Al	Cr	Oxidación	Soot	Sulfatación	PQ	Viscosidad cSt 100°C	Agua
1	CMV 1	7	29	3	1	16	138	35	52	12.4	No
2	CMV 2	2	10	1	0	7	37	18	43	13.1	No
3	CMV 3	3	15	2	1	10	54	23	37	12.7	No
4	CMV 4	4	13	1	1	12	67	15	46	12.3	No

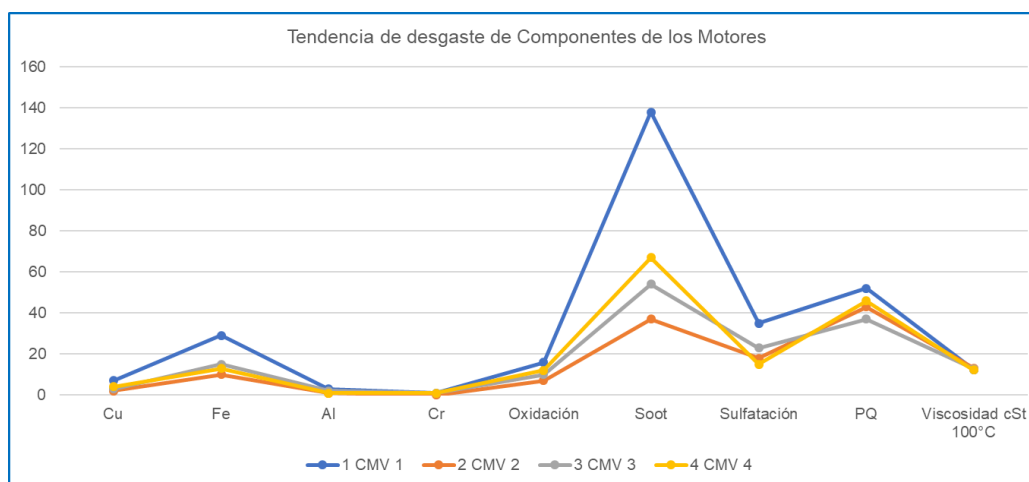


Figura 7. Tendencia de desgaste de las partículas metálicas de los motores de combustión interna

De acuerdo a los resultados obtenidos y comparándolos con los rangos de las Tablas 8 y 12 podemos indicar lo siguiente:

- En cuanto a la presencia de cobre no se requiere mayor intervención puesto que los desgastes se encuentran dentro de lo normal y monitoreo, lo cual indicaría desgastes anormales que se pudieron prevenir y evitar algunas fallas que se presentaron.
- Hierro, aluminio y cromo, los valores son permisibles puesto que son menores al rango máximo que indica la tabla del fabricante.
- En cuanto a la presencia de oxidación cuyo origen son las altas temperaturas y gases de combustión excesivos, soot que se debe a la presencia de silicio en el motor, sobrecarga, temperaturas frías, combustible de calidad y sulfatación, cuyo origen son combustibles de alto contenido de azufre, humedad y altas temperaturas de combustión, indicarían que los motores están trabajando en condiciones anormales, sin el debido cuidado en la parte operativa y de mantenimiento, sin respetar los procesos de inspecciones

cotidianas y los mantenimientos preventivos programados afectando, por ende, la viscosidad de los aceites y el incremento de partículas ferrosas. No se detecta presencia de agua dentro de los aceites de motor.

- Con relación a la viscosidad, se puede observar que el valor promedio 12.6 cSt se encuentran por debajo del valor esperado que indica un aceite nuevo 14.4 cSt, lo que indicaría degradación del aceite de motor debido a contaminantes remanentes generados por una inadecuada limpieza al momento del reemplazo del aceite o debido, también, al ingreso de contaminantes externos que luego de este análisis se deben determinar.

4.1.7.2 Transmisión

Al igual que los motores, las transmisiones cumplen un rol importante para el desplazamiento y la transmisión de potencia a los diferenciales de los cargadores de bajo perfil. A esto se debe la importancia de predecir sus fallas a fin de que su duración y rendimiento sea el máximo.

Tabla 17.

Partículas metálicas resultantes del análisis de aceite de las transmisiones

N.º	Equipo	Elementos					Condición del aceite			
		Cu	Fe	Al	Si	Cr	Volumen de partícula	PQ	Viscosidad cSt 100 °C	Agua
1	CMV 1	7	6	0	4	0	20	23	11.1	No
2	CMV 2	38	8	1	3	0	1	48	10.7	No
3	CMV 3	6	3	0	1	0	11	25	10.9	No
4	CMV 4	4	4	0	1	0	5	19	10.5	No

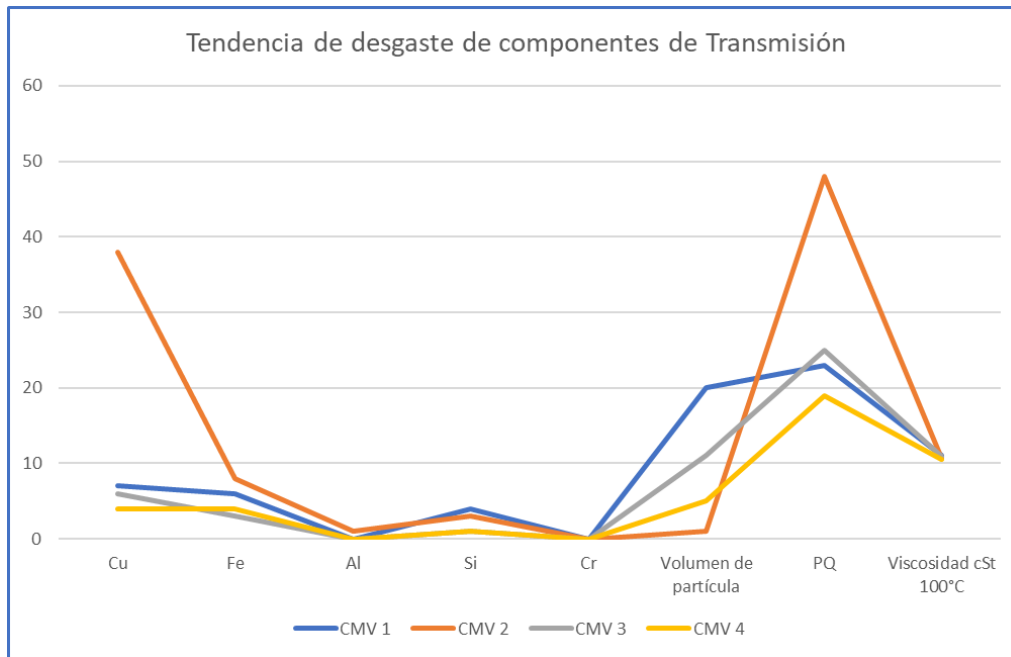


Figura 8. Tendencia de desgaste de las partículas metálicas de las transmisiones

De acuerdo a los resultados obtenidos y comparándolos con los rangos de las Tablas 9 y 12 se indica lo siguiente:

- Presencia de cobre, a excepción del cargador de bajo perfil con serie CMV 2, cuyos niveles son elevados y requieren intervención mecánica, los demás equipos tienen valores dentro del rango normal.
- Los niveles de Fe, Al, Si y Cu se encuentran dentro de los límites permisibles, por lo cual, no se realiza ninguna intervención mecánica. Además de ello, se colige que no existe gran desgaste interno de los componentes de la transmisión.
- Con relación a la presencia de partículas ferrosas y remitiéndose a los resultados obtenidos en las tablas, se ve que el pico tiene relación con la presencia de hierro en el equipo de serie CMV 2, lo cual refuerza la opinión de una intervención mecánica para determinar el estado interno de los componentes de la transmisión.
- La viscosidad promedio resultante 10.8 cSt en el análisis de aceite indica que, si bien es menor al nivel estándar de un aceite nuevo 11.2 cSt, esta variación se debería a la presencia de aceite remanente durante el cambio o un error en el muestreo.

4.1.7.3 Sistema hidráulico

El sistema hidráulico de los cargadores de bajo perfil es bastante sensible a la contaminación interna y externa. La complejidad, relación existente y el costo de sus componentes hace que el cuidado de este sistema sea prioritario. Es por ello la necesidad de que el análisis de aceite sea constante.

Tabla 18.

Partículas metálicas resultantes del análisis de aceite de los sistemas hidráulicos

N.º	Equipo	Elementos					Condición del aceite			
		Cu	Fe	Al	Si	Cr	Volumen de partícula	PQ	Viscosidad cSt 100 °C	Agua
1	CMV 1	1	11	7	12	0	2	48	8.4	No
2	CMV 2	4	7	1	6	0	1	38	7.2	No
3	CMV 3	1	8	5	4	0	1	35	6.7	No
4	CMV 4	3	11	11	16	0	2	33	8	No

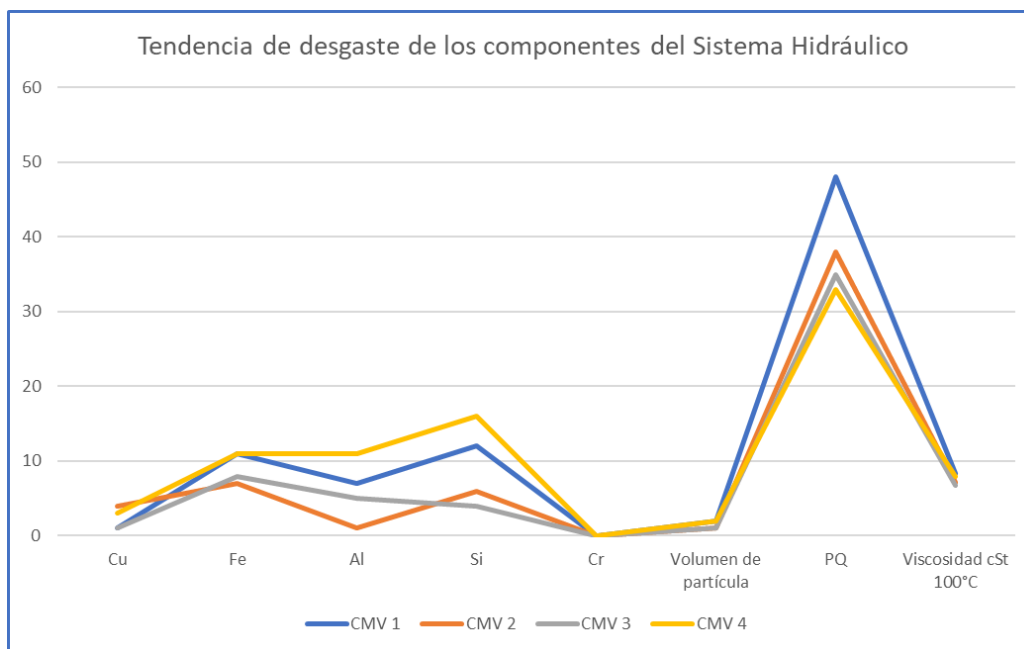


Figura 9. Tendencia de desgaste de las partículas metálicas de los sistemas hidráulicos

De acuerdo a los resultados obtenidos y comparándolos con los rangos de las Tablas 10 y 12 se indica lo siguiente:

- Se puede apreciar que el Cu, Fe, Al, Si y Cr tienen valores que comprenden el monitoreo para evitar mayores desgastes. Estos valores hacen presumir que existe desgaste interno debido a sobrecargas en la operación, pequeños

rastros de contaminación interna y externa que afectan a las partes mecánicas y que se trasladan por el aceite hidráulico. También se colige que habría cierta falla en los procesos de mantenimiento.

- Con relación a las partículas ferrosas PQ se ve que este valor tiene relación con los desgastes mencionados líneas arriba, por lo que sería pertinente la inspección visual a componente abierto de seguir esta tendencia, además de continuar con los análisis de muestras posteriores para descartar fallas críticas.
- La viscosidad promedio del aceite hidráulico 7.57 cSt se mantiene por encima del rango establecido de un aceite nuevo 6.3 cSt, lo que indicaría presencia de contaminantes internos cuya generación se debe determinar con el seguimiento respectivo ya que pueden ser desgastes de bombas hidráulicas o válvulas y también realizar nuevo muestreo a fin de evitar mayor degradación del aceite para evitar fallas catastróficas.

4.1.7.4 Diferenciales

Los diferenciales (delantero y posterior) cumplen la función de transmitir la potencia a las ruedas desde el motor y transmisión para los trabajos de carga, acarreo y descarga de los cargadores de bajo perfil. Principalmente compuesto por engranajes, los cuales están sometidos a cargas que pueden generar desgastes y fracturas, estos componentes requieren cuidado especial para evitar fallas mayores.

Tabla 19.

Partículas metálicas resultantes del análisis de aceite de los diferenciales

N.º	Equipo	Elementos					Condición del aceite			
		Cu	Fe	Al	Si	Cr	Volumen de partícula	PQ	Viscosidad cSt 100 °C	Agua
1	CMV 1	2	23	1	7	0	7	33	17	No
2	CMV 2	62	46	7	8	1	24	72	17	No
3	CMV 3	3	11	1	8	0	18	51	17.4	No
4	CMV 4	4	55	3	9	0	9	79	17	No

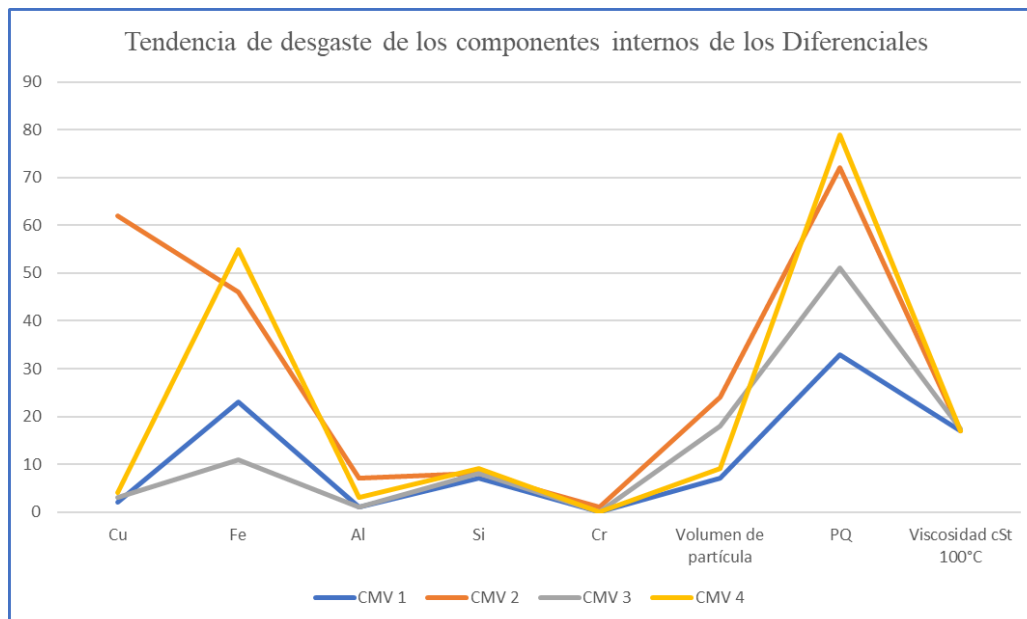


Figura 10. Tendencia de desgaste de las partículas metálicas de los diferenciales

De acuerdo a los resultados obtenidos y comparándolos con los rangos de las Tablas 11 y 12 se indica lo siguiente:

- De acuerdo a los datos obtenidos, se aprecia que los niveles de Cu en el equipo LJB01236 se encuentra muy elevados, lo que indicaría algún tipo de desgaste de los componentes internos del diferencial. El resto de equipo tiene niveles aceptables.
- Los niveles de Fe, Al, Si y Cr se encuentran dentro de los niveles permisibles lo que daría indicios de operación adecuada y desgastes proporcionales a las horas de operación.
- Con relación a las partículas ferrosas PQ se ve que este valor tiene relación con los desgastes mencionados líneas arriba, por lo que sería pertinente la inspección visual a componente abierto de seguir esta tendencia, además de continuar con los análisis de muestras posteriores para descartar fallas críticas.
- Los niveles de viscosidad promedio 17.1 cSt de los aceites se encuentra por debajo de los rangos establecidos de un aceite nuevo 18 cSt. Debido a que los componentes internos de los diferenciales se encuentran sometidos a grandes cargas, esta variación se debería al ingreso de contaminantes externos por el uso de recipientes con aceites remanentes de otros tipos.

4.1.8. Situación posterior de los procesos de mantenimiento de la contrata Comiciv después de la aplicación del análisis de aceite

Para iniciar con el uso del análisis de aceite como parte de la gestión de mantenimiento de la empresa contratista Comiciv – Kolpa se presentó un plan de trabajo que comprende el análisis de aceite de los sistemas principales (motor, transmisión, diferenciales y sistema hidráulico) de los cuatro cargadores de bajo perfil con la finalidad de demostrar a la gerencia el uso práctico y necesario de este método de mantenimiento predictivo y los beneficios que se obtendrán en la mejora de la disponibilidad mecánica y el desempeño de las demás áreas de la contrata.

4.1.8.1 Capacitaciones de personal

- Se realizaron capacitaciones a personal técnico y operadores sobre la importancia del mantenimiento rutinario de sus equipos mediante el uso adecuado de los *checklist* y la forma adecuada en tiempo y descripción del problema del reporte de fallas que se presentan en los equipos.
- Las fallas se reportarán directamente al Jefe de Mantenimiento quien designará al personal técnico para la asistencia del equipo.

4.1.8.2 Mantenimiento preventivo del motor

- Se realizará el mantenimiento preventivo del motor cada 250 horas con una tolerancia de +/- 25 horas, que comprende el reemplazo de filtros de aceite de motor, filtros de combustible y aceite de motor. Adicional a ello, se realizará el *checklist* de inspección técnica de los componentes de externos del motor para un mejor control conforme al formato que se presenta líneas abajo.
- Se realizará el muestreo de aceite de motor en el mantenimiento de 250 horas de acuerdo al procedimiento establecido por el fabricante y proveedor.
- Se usarán de manera irrestricta los manuales de operación y mantenimiento otorgados por el proveedor para la determinación de fallas potenciales, identificación de partes, desarmado, ajustes y armado de los componentes.

4.1.8.3 Mantenimiento preventivo de transmisión y diferenciales

- Se realizará el mantenimiento preventivo de la transmisión y diferenciales cada 500 horas de operación con una tolerancia de +/- 25 horas. Los trabajos que comprenden son: reemplazo de filtros y aceites. Adicional a ello, se realizará el *checklist* conforme al formato de inspección técnica que se comparte líneas abajo.
- Se realizará el muestreo de aceite de motor en el mantenimiento de 250 horas de acuerdo al procedimiento establecido por el fabricante y proveedor.
- Se realizará el *backlog* de repuestos con la finalidad de tener en *stock* de almacén solo aquellos que se reemplazarán en el próximo mantenimiento, así se evita el deterioro e incremento de costos pasivos.
- Adquirir un juego de manómetros y pirómetros digitales para verificar en cada mantenimiento preventivo las presiones y temperaturas del sistema.
- Se usarán de manera irrestricta los manuales de operación y mantenimiento otorgados por el proveedor para la determinación de fallas potenciales, identificación de partes, desarmado, ajustes y armado de los componentes.

4.1.8.4 Mantenimiento preventivo del sistema hidráulico

- Se realizará el mantenimiento preventivo del sistema hidráulico de la siguiente manera: se reemplazarán los filtros hidráulicos cada 500 horas de operación y el aceite hidráulico cada 2000 horas de operación, ambos con una tolerancia de +/- 25 horas. Se tomará como referencia el formato de inspección que se comparte líneas abajo.
- Se realizará el muestreo de aceite de motor en el mantenimiento de 250 horas de acuerdo al procedimiento establecido por el fabricante y proveedor.
- Se realizará el *backlog* de repuestos con la finalidad de tener en *stock* de almacén solo aquellos que se reemplazarán en el próximo mantenimiento, así se evita el deterioro e incremento de costos pasivos.
- Adquirir un juego de manómetros y pirómetros digitales para verificar en cada mantenimiento preventivo las presiones y temperaturas del sistema.
- Se verificarán las fugas de aceite por líneas hidráulicas, cilindros hidráulicos, bombas y válvulas hidráulicas, empaques, etc.

- Se verificarán los ciclos de trabajo para determinar la función óptima de los componentes internos del sistema
- Se usarán de manera irrestricta los manuales de operación y mantenimiento otorgados por el proveedor para la determinación de fallas potenciales, identificación de partes, desarmado, ajustes y armado de los componentes.

Tabla 20.
Checklist utilizado en la inspección de equipos

	Motor	OK	RE	MA	FA	Observaciones
1	Funcionamiento de motor					
2	Guardas y cubiertas protectoras					
3	Respiradero de cárter					
4	Tapa de llenado de aceite de motor					
5	Varilla de medición de nivel de aceite					
6	Soportes de motor					
	Sistema de admisión y escape	OK	RE	MA	FA	Observaciones
7	Filtro de aire primario					
8	Filtro de aire secundario					
9	Prefiltro de aire					
10	Turbo alimentador					
11	Indicador de restricción de aire					
12	Tuberías de múltiple de admisión					
13	Mangueras y sellos de múltiple de admisión					
14	Tuberías de múltiple de escape					
15	Abrazaderas de ajuste de líneas de admisión					
16	Soportes de tuberías de escape					
17	Silenciador					
18	Soportes de silenciador					
19	Fugas de gases de escape					
	Sistema de combustible	OK	RE	MA	FA	Observaciones
20	Bomba de inyección o bomba HEUI					
21	Gobernador					
22	Inyectores					
23	Cañerías y conexiones					
24	Soporte de cañerías y conexiones					
25	Bomba de cebado o transferencia					
26	Filtros					
27	Fugas de petróleo					
28	Tapa de tanque de combustible					
29	Válvula de drenaje					
	Sistema de lubricación	OK	RE	MA	FA	Observaciones
30	Filtros					
31	Fugas de aceite					

32	Estado de mangueras y cañerías					
	Sistema de refrigeración	OK	RE	MA	FA	Observaciones
33	Radiador					
34	Ventilador					
35	Faja de ventilador					
36	Bomba de agua					
37	Enfriador de aceite de motor					
38	Enfriador de aceite hidráulico					
39	Tapa de radiador					
40	Estado de mangueras de radiador y enfriador					
41	Fugas de refrigerante					
42	Guardas de radiador					
43	Soportes de radiador					
	Sistema eléctrico electrónico	OK	RE	MA	FA	Observaciones
44	Alternador					
45	Baterías					
46	Bornes de batería					
47	Cables de batería					
48	Cableado del circuito en general					
49	Faros y luces en general					
50	Harnnes					
51	Alarma de retroceso					
52	Arrancador					
53	Switch de corte de energía					
	Diferenciales y transmisión	OK	RE	MA	FA	Observaciones
54	Nivel de aceites					
55	Tapones de inspección de aceite y drenaje					
56	Fugas de aceite					
57	Golpes y otros					
	Sistema hidráulico	OK	RE	MA	FA	Observaciones
58	Cilindros hidráulicos					
59	Fugas externas de cilindros hidráulicos					
60	Estado de mangueras					
61	Estado de acoples					
62	Estado de cañerías					
63	Fugas de aceite					
64	Bomba hidráulica					
65	Tanque hidráulico					

OK	Bueno
RE	Regular
MA	Malo
FA	Falta

Tomada de Ferreyros S. A.

4.1.9. Resultados obtenidos del desempeño de los equipos

Después de aplicarse las mejoras en las diversas áreas que componen la unidad de la contrata minera y principalmente el uso del análisis de aceite como método predictivo de fallas, se obtuvieron los siguientes resultados en el desempeño de los equipos en los meses de estudio de abril, mayo y junio:

Tabla 21.

Resultados de disponibilidad mecánica después de la aplicación del análisis de aceite

N.º	Modelo	Código interno	Mes	Horas prog.	Horas de operación	Horas stand by	Horas parada mec.	N.º paradas	MTBF	MTTR	Dispon.	Útil
1	R1300 G	CMV 1	abril	600	510	35	55	2	255.0	27.5	91%	94%
2	R1300 G	CMV 2	abril	600	510	27	63	2	255.0	31.5	90%	95%
3	R1300 G	CMV 3	abril	600	510	33	57	2	255.0	28.5	91%	94%
4	R1300 G	CMV 4	abril	600	510	39	51	2	255.0	25.5	92%	93%

N.º	Modelo	Código interno	Mes	Horas prog.	Horas de operación	Horas stand by	Horas parada mec.	N.º paradas	MTBF	MTTR	Dispon.	Útil
1	R1300 G	CMV 1	mayo	620	510	56	54	2	255.0	27.0	91%	90%
2	R1300 G	CMV 2	mayo	620	510	48	62	2	255.0	31.0	90%	91%
3	R1300 G	CMV 3	mayo	620	510	58	52	2	255.0	26.0	92%	90%
4	R1300 G	CMV 4	mayo	620	510	50	60	2	255.0	30.0	90%	91%

N.º	Modelo	Código interno	Mes	Horas prog.	Horas de operación	Horas stand by	Horas parada mec.	N.º paradas	MTBF	MTTR	Dispon.	Útil
1	R1300 G	CMV 1	junio	600	510	27	63	2	255.0	31.5	90%	95%
2	R1300 G	CMV 2	junio	600	510	34	56	1	510.0	56.0	91%	94%
3	R1300 G	CMV 3	junio	600	510	26	64	3	170.0	21.3	89%	95%
4	R1300 G	CMV 4	junio	600	510	34	56	3	170.0	18.7	91%	94%

Como puede observarse en la Tabla 19 se obtuvieron mejoras en la disponibilidad mecánica, el cual devino de la mejora del incremento de las horas de operación, que se fijó como meta diaria de 17 horas, también se planteó la disminución de las horas de parada mecánica menores a 70 horas mensuales y el número de paradas programadas a toda circunstancia como máximo 2 por mes.

Para mejor detalle, se observa el resultado comparativo antes y después de la aplicación de análisis de aceite complementado con las estrategias de mejora de los procesos como consecuencia de una mejor predicción de fallas:

Tabla 22.
Comparación de las disponibilidades mecánicas antes y después de aplicación del análisis de aceite

N.º	Modelo	Código interno	Disponibilidad antes de análisis de aceite			Promedio (μ)	Varianza (σ^2)	Desviación estándar (σ)
			Enero	Febrero	Marzo			
1	R1300 G	CMV 1	88%	87%	87%	87.3%	0.000022	0.0047
2	R1300 G	CMV 2	87%	86%	87%	86.7%	0.000022	0.0047
3	R1300 G	CMV 3	88%	87%	86%	87.0%	0.000067	0.0082
4	R1300 G	CMV 4	87%	85%	87%	86.3%	0.000089	0.0094

N.º	Modelo	Código interno	Disponibilidad después de análisis de aceite			Promedio (μ)	Varianza (σ^2)	Desviación estándar (σ)
			Abril	Mayo	Junio			
1	R1300 G	CMV 1	91%	91%	90%	90.7%	2.22222E-05	0.0047
2	R1300 G	CMV 2	90%	90%	91%	90.3%	2.22222E-05	0.0047
3	R1300 G	CMV 3	91%	92%	89%	90.7%	0.000155556	0.0125
4	R1300 G	CMV 4	92%	90%	91%	91.0%	6.66667E-05	0.0082

Con estos resultados se calcula la media de las disponibilidades mecánicas.

4.1.10. Resultados obtenidos en la gestión de costos de repuestos

Después de aplicar el análisis de aceite como un proceso complementario de los mantenimientos preventivos y correctivos que se realizaron en los cargadores de bajo perfil de la contrata se tuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla:

Tabla 23.
Costos resultantes después de aplicar el análisis de aceite

Ítem	Año	Unidad	Mes	Costos \$	Observaciones
1	2018	Kolpa	abril	9350.14	Repuestos utilizados en mantenimiento correctivo para mantenimiento preventivo.
2	2018	Kolpa	mayo	12622.51	Repuestos utilizados en mantenimiento correctivo para mantenimiento preventivo.
3	2018	Kolpa	junio	10280.17	Repuestos utilizados en mantenimiento correctivo para mantenimiento preventivo.

Asimismo, se hizo la comparación de los resultados antes de la aplicación de la variable independiente (análisis de aceite) y después de aplicada esta, siendo los resultados los obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 24.
Variación de costos ahorrados en el área de mantenimiento

Ítem	Año	Antes de aplicación de análisis de aceite		Después de aplicación de análisis de aceite		Variación	
		Mes	Costos \$	Mes	Costos \$	Variación \$	Variación %
1	2018	enero	14083.48	Abril	9350.14	4733.34	-34%
2	2018	febrero	12965.07	Mayo	12622.51	342.56	-3%
3	2018	marzo	13402.24	Junio	10280.17	3122.07	-23%

4.2 Prueba de hipótesis

Para el desarrollo del presente informe de tesis, se consideró la pregunta de investigación: ¿de qué manera el análisis de aceite optimizará las actividades de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de bajo perfil R1300G de la empresa contratista Comiciv - Kolpa? Luego de ello, se planteó la hipótesis: la aplicación del análisis de aceite incrementará la disponibilidad mecánica de los equipos de bajo perfil R1300G de la empresa

contratista Comiciv - Kolpa; por lo tanto, el objetivo de la hipótesis estadística consistió en realizar las comparaciones de la disponibilidad mecánica antes y después del uso de la técnica del mantenimiento predictivo del análisis de aceite.

4.2.1 Formulación de la hipótesis

La hipótesis estadística formulada fue:

Ho: la disponibilidad mecánica **no** incrementó con la aplicación del análisis de aceite en los cargadores de bajo perfil R1300G de la empresa Comiciv, Kolpa.

Hi: la disponibilidad mecánica **sí** incrementó con la aplicación del análisis de aceite en los cargadores de bajo perfil R1300G de la empresa Comiciv, Kolpa.

Para el cálculo del estadístico t, se utilizó la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}}$$

Utilizando los valores de las medias y varianzas de la Tabla 19 (antes y después del uso de análisis de aceite) con una muestra N_1 y N_2 de 3, se obtienen los valores mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 25.
Resultados de los valores de t

N.º	Modelo	Código interno	$\mu_1 - \mu_2$	$\sigma^2/N (1)$	$\sigma^2/N (2)$	$\frac{\sigma^2}{N (1)} + \frac{\sigma^2}{N (2)}$	RAIZ	t	t tabular (INV T)	t tabular (INV T 2C)
1	R1300 G	CMV 1	0.03	7.40741E-06	7.40741E-06	1.48148E-05	0.0038	8.66	2.78	2.78
2	R1300 G	CMV 2	0.04	7.40741E-06	7.40741E-06	1.48148E-05	0.0038	9.53	2.78	2.78
3	R1300 G	CMV 3	0.04	5.18519E-05	2.22222E-05	7.40741E-05	0.0086	4.26	2.78	2.78
4	R1300 G	CMV 4	0.05	2.22222E-05	2.96296E-05	5.18519E-05	0.0072	6.48	2.78	2.78

Establecer el valor de significancia.

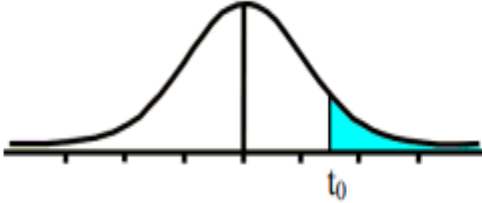
Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$ (tabla = 1.96)

Para determinar el estadístico T de tabla se requiere los grados de libertad gl cuya fórmula es:

$$gl = N_1 + N_2 - 2 = 3 + 3 - 2 = 4$$

Tabla 26.
Tabla t – Student – una cola

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073

Tomada de Introducción a la Estadística para Negocios (14)

Tabla 27.
 Tabla t – Student – dos colas




Tabla de valores críticos de la distribución t de Student

Niveles de Significancia DOS COLA

	0.500	0.250	0.200	0.100	0.050	0.025	0.020	0.010	0.005
1	1.00	2.41	3.08	6.31	12.71	25.45	31.82	63.66	127.32
2	0.82	1.60	1.89	2.92	4.30	6.21	6.96	9.92	14.09
3	0.76	1.42	1.64	2.35	3.18	4.18	4.54	5.84	7.45
4	0.74	1.34	1.53	2.13	2.78	3.50	3.75	4.60	5.60
5	0.73	1.30	1.48	2.02	2.57	3.16	3.36	4.03	4.77
6	0.72	1.27	1.44	1.94	2.45	2.97	3.14	3.71	4.32
7	0.71	1.25	1.41	1.89	2.36	2.84	3.00	3.50	4.03
8	0.71	1.24	1.40	1.86	2.31	2.75	2.90	3.36	3.83
9	0.70	1.23	1.38	1.83	2.26	2.69	2.82	3.25	3.69
10	0.70	1.22	1.37	1.81	2.23	2.63	2.76	3.17	3.58
11	0.70	1.21	1.36	1.80	2.20	2.59	2.72	3.11	3.50
12	0.70	1.21	1.36	1.78	2.18	2.56	2.68	3.05	3.43
13	0.69	1.20	1.35	1.77	2.16	2.53	2.65	3.01	3.37
14	0.69	1.20	1.35	1.76	2.14	2.51	2.62	2.98	3.33
15	0.69	1.20	1.34	1.75	2.13	2.49	2.60	2.95	3.29
16	0.69	1.19	1.34	1.75	2.12	2.47	2.58	2.92	3.25
17	0.69	1.19	1.33	1.74	2.11	2.46	2.57	2.90	3.22
18	0.69	1.19	1.33	1.73	2.10	2.45	2.55	2.88	3.20
19	0.69	1.19	1.33	1.73	2.09	2.43	2.54	2.86	3.17
20	0.69	1.18	1.33	1.72	2.09	2.42	2.53	2.85	3.15
21	0.69	1.18	1.32	1.72	2.08	2.41	2.52	2.83	3.14
22	0.69	1.18	1.32	1.72	2.07	2.41	2.51	2.82	3.12
23	0.69	1.18	1.32	1.71	2.07	2.40	2.50	2.81	3.10

Tomada de *Introducción a la Estadística para Negocios (14)*

4.3 Discusión de resultados

- También se pudo comprobar, Tabla 22, que existió una variación negativa de los costos, los cuales se traducen en ahorros que se generaron en los gastos operativos de la contrata, coadyuvando a la idea inicial de que el análisis de aceite repercute positivamente en la gestión del área de mantenimiento.
- Como puede apreciarse en la Tabla 23, y considerando la regla que indica que t calculado debe ser mayor que t tabulado ($t_{\text{calculado}} > t_{\text{tabulado}}$), se obtiene que esta relación se cumple en todos los equipos que conforman el parque de máquinas de la contrata, confirmando la hipótesis de investigación.
- También, de acuerdo a los resultados obtenidos e indicados en el capítulo anterior con respecto los cargadores de bajo perfil de la empresa contratista Comiciv – Kolpa, se tiene que los procesos relacionados a las actividades de mantenimiento no estaban debidamente detallados en actividades específicas y por responsables para obtener los indicadores que se requerían para sustentar la buena gestión del área de mantenimiento. Es por ello, que a partir de este problema surge la necesidad de implementar un proceso estructurado

de análisis de aceite como método predictivo para aumentar la disponibilidad mecánica y disminuir los costos de mantenimiento.

4.3.1 Comparación de resultados

Se tiene después de la aplicación del análisis de aceite en la gestión de los equipos que, la disponibilidad mecánica antes de aplicarla en promedio era del 87% y que luego de aplicarla, complementada con otras actividades de mantenimiento, la disponibilidad mecánica subió a 91% en solo 3 meses de aplicación.

Haciendo un análisis individual de los equipos, se obtiene que:

- El equipo CMV 1 incrementó su disponibilidad en 3.4% con relación al trimestre comprendido entre enero y marzo.
- El equipo CMV 2 incrementó su disponibilidad en 3.6% con relación al trimestre comprendido entre enero y marzo.
- El equipo CMV 3 incrementó su disponibilidad en 3.7% con relación al trimestre comprendido entre enero y marzo.
- El equipo CMV 1 incrementó su disponibilidad en 4.7% con relación al trimestre comprendido entre enero y marzo.

CONCLUSIONES

1. Se logró incrementar la disponibilidad mecánica en promedio 3.85%, luego de modificar algunas actividades de mantenimiento.
2. El análisis de aceite de los componentes mayores de los cargadores de bajo perfil influye positivamente en la operatividad de los cargadores de bajo perfil, manifestándose en el incremento de la disponibilidad mecánica.
3. Como consecuencia de la implementación del análisis de aceite en los procesos de mantenimiento, se incrementó la duración de los componentes mayores de los cargadores de bajo perfil, incrementándose los tiempos entre reparaciones.
4. La implementación del análisis de aceite permitió optimizar las actividades del mantenimiento preventivo, las actividades logísticas y de seguridad al planificarse con antelación las solicitudes de repuestos y uso de formatos.
5. La implementación del análisis de aceite permitió reducir gastos operativos en el área de mantenimiento, básicamente los relacionados a la adquisición de repuestos utilizados en los mantenimientos preventivos y correctivos de los equipos de bajo perfil.
6. Las capacitaciones y charlas diarias en reunión grupal de inicio de guardia permitieron identificar las necesidades y deficiencias del personal técnico y operativo que resultó como valor fundamental para la aplicación de las mejoras en las actividades de mantenimiento.
7. Entre las actividades que se mejoraron resaltan las inspecciones técnicas, las cuales deben realizarse con el uso de cartillas y formatos.
8. La aplicación del análisis de aceite y la continuidad del uso de esta técnica predictiva debe ser difundida, potenciada y aplicada en las demás unidades de la contrata Comiciv, quien requerirá el apoyo de la plana gerencial y debería ser incluida en los planes de mantenimiento, convirtiéndose en una política de la empresa.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **CARNERO MOYA, M.** *Programas de Mantenimiento Predictivo*. España : Academia Española, 2012. ISBN 978-3-8484-5217-0.
2. **ARÉVALO ÁVALOS, D.** *Propuesta de mejora para el mantenimiento del equipo pesado de la constructora Coandes S. A. basado en un análisis de aceite usado en los motores de combustión interna Diésel*. Tesis de grado. [En línea] 2015. [Citado el: 20 de marzo de 2019.] [file:///C:/Users/HP/Downloads/UPS-CT005191%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/UPS-CT005191%20(1).pdf).
3. **MONROY BERNAL, W.** *Determinación de la rutina de mantenimiento predictivo como resultado del análisis de muestras de aceite usado para un motor de combustión interna marca John Deere modelo 6081*. [En línea] 2013. [Citado el: 26 de marzo de 2019.] http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0771_M.pdf.
4. **GARCÍA GARRIDO, S.** *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid. España : Díaz de Santos, S. A., 2010. ISBN 978-84-7978-577-2.
5. **APAZA COATA, R.** *Evaluación de la confiabilidad con el fin de extender la vida útil del lubricante en los motores de mixer durante su periodo de funcionamiento*. Tesis de grado . [En línea] 2017. [Citado el: 10 de marzo de 2019.]
6. **CÓRDOVA CENTURIO, C., DE LA ROSA BOCANEGRA, F. y VÁSQUEZ ASTONITAS, J.** *Mantenimiento preventivo y predictivo para aumentar disponibilidad y confiabilidad en motores de camiones Cat797f-Haa de la minera Chinalco*. *Revista de Investigación*. Lima. [En línea] 2015, 12-15. [Citado el: 2 de febrero de 2019.] <https://doi.org/10.18050/td.v13i1>.
7. **MAURICIO FLORES, D.** *Análisis de desgastes mecánicos por tribología para reducir costos de mantenimiento del motor de tractor sobre orugas D6T-Caterpillar*. [En línea] Huancayo, 2017. [Citado el: 31 de marzo de 2019.] <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1646>.
8. **GALARZA MENDOZA, J.** *Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390FL de Stracon GYM – Cajamarca*. [En línea] Huancayo, 2017. [Citado el: 30 de marzo de 2019.]

[http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3668/Galarza%20Men
doza.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3668/Galarza%20Men
doza.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

9. **PRANDO, R.** *Manual de Gestión de Mantenimiento a la Medida*. Guatemala : Piedra Santa, 1996. ISBN 84-8377-399-6.
10. **S.A., FERREYROS.** *Laboratorio de Análisis de Fluidos*. Lima : Fondo editorial institucional, 2011.
11. **BAPTISTA LUCIO, Pilar, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y HERNÁNDEZ SAMPIERI, R.** *Metodología de la Investigación*. 5ta ed. México : 5ta ed. Mc Graw Hill / Interamericana Editores S.A., 2010. ISBN 978-607-15-0291-9.
12. **CARRASCO DÍAZ, S.** *Metodología de la Investigación Científica*. Lima : San Marcos, 2005. ISBN 9972-34-242-5.
13. **VARA HORNA, A.** *7 pasos para una tesis exitosa*. [En línea] [Citado el: 1 de enero de 2019.]
<https://www.administracion.usmp.edu.pe/investigacion/files/7-PASOS-PARA-UNA-TESIS-EXITOSA-Desde-la-idea-inicial-hasta-la-sustentaci%C3%B3n.pdf>.
14. **WEIERS, R.** *Introducción a la Estadística para Negocios*. México : 5ta ed. Cengage Learning, 2005. ISBN 978-970-686-437-6.

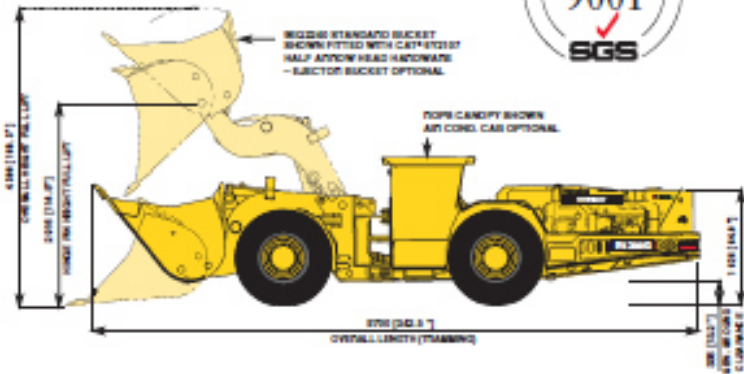
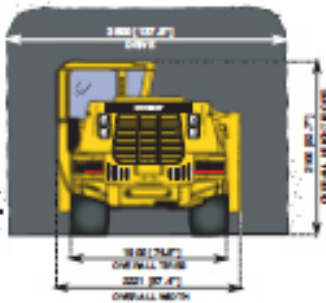
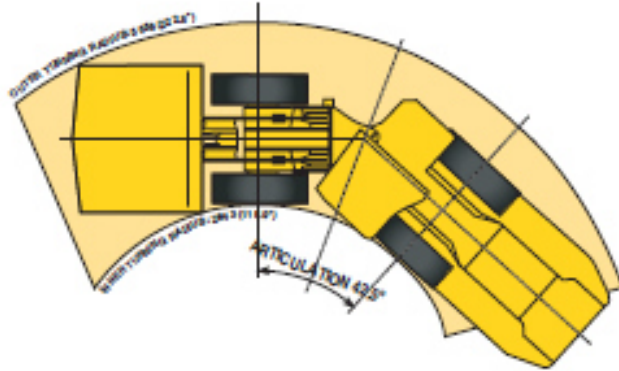
ANEXOS

ANEXO 1

Cargador de Bajo Perfil R1300G

Underground Mining Loader

Engine Power (Gross)	123 kW	(165 hp)
Engine Model	Cat® 3306 DITA (swtr)	
Speeds Forward	km/h	(mph)
1st	4.9	(3.1)
2nd	8.8	(5.5)
3rd	15.3	(9.5)
4th	26.1	(16.2)
Speeds Reverse		
1st	4.5	(2.8)
2nd	8.0	(5.0)
3rd	14.0	(8.7)
4th	23.8	(14.8)
Tire Size	17.5 x 25 20 PLY L5 STMS	
Hydraulic Cycle Time	(secs)	
Raise	5.0	
Dump	2.0	
Lower (Empty, Float Position)	2.3	
Total	9.3	
Dimensions		
Rated Payload	6800 kg	(14,991 lb)
Bucket Capacity	3.1 m ³	(4.1 yd ³)
Bucket Width	2200 mm	(86.6")
Width (Overall)	2221 mm	(87.4")
Height (Overall)	2100 mm	(82.7")
Length (Tramming)	8700 mm	(342.5")
Turning Radius	5658 mm	(222.8")
Weight (Empty)	20950 kg	(46,187 lb)
Weight (Loaded)	27750 kg	(61,178 lb)
Axle Oscillation	± 10°	
Articulation Angle	± 42.5°	
Ground Clearance	335 mm	(13.2")



ANEXO 2

Cómo tomar una buena muestra de aceite

Usando el método de extracción por vacío

Este método para tomar muestras requiere una Bomba de Vacío IU5718 (o una similar). Utilice este método para los sistemas bajo presión que no están equipados con válvulas para tomar muestras.

Recalcamos la importancia de utilizar un nuevo trozo de tubo después de tomar muestras de aceite del motor, debido a la posibilidad de que el hollín y los aditivos del aceite queden depositados en el tubo y contaminen otras muestras.

Paso A

Apague el motor, mida el tubo nuevo y córtelo del largo de la varilla indicadora de nivel. Si el compartimiento de donde está tomando la muestra no tiene una varilla, corte el tubo de modo que llegue hasta la mitad de la profundidad del aceite.



Paso B

Inserte el tubo por la cabeza de la bomba de vacío y apriete la tuerca de retención. El tubo debe sobresalir aproximadamente 4 cm (1 pulgada) de la base de la cabeza de la bomba de vacío.



Paso C

Conecte una nueva botella de muestreo a la bomba de vacío e inserte el extremo del tubo en el aceite — no permita que el tubo toque el fondo del compartimiento.



Paso D

Accione la manija de la bomba para crear un vacío. Mantenga la bomba en posición vertical — si la voltea se puede contaminar con el aceite. Si le entra aceite a la bomba, desármela y límpiela antes de tomar la muestra. Llene tres cuartas partes de la botella para muestras. No la llene completamente.

**Paso E**

Saque el tubo del compartimiento. Saque la botella de la bomba de vacío y asegure la tapa a la botella. Luego ponga la botella con la etiqueta debidamente llenada en el tubo de envío.



ANEXO 3

Datos necesarios que debe tener una muestra de aceite

		Av. Industrial 675 Apartado 150 - Lima				Telf: 33871070 Anexos: 4039 - 3398 - 3392 - 3393 Fax: 3386944 laboratorio@ferreyros.com.pe		ANÁLISIS PERIÓDICO DE ACEITE		
Puno-Chiliza-Cajamarca-Trujillo-Chimote-Huancayo-Arequipe-Cusco-Huancaja Iquitos-Pucallpa-Tarapoto-Bagua-Huancabamba-Plata-Maldonado-Saipo										
TOME LA MUESTRA CON EL ACEITE CALIENTE	_____ CUENTE			_____ FECHA (dd/mm/aa)		_____ MARCA/API/SAE DEL ACEITE		MUESTRA TOMADA DE:		
	_____ LUGAR DE TRABAJO			_____ HOROMETRO/MILOMETRAJE		_____ HORAS/km DEL ACEITE		<input type="checkbox"/> SIST. HIDRAULICO <input type="checkbox"/> TORNAMESA <input type="checkbox"/> DIRECCION <input type="checkbox"/> TANDEM DERECHO <input type="checkbox"/> MOTOR <input type="checkbox"/> TANDEM IZDOO <input type="checkbox"/> TRANSMISION <input type="checkbox"/> COMPRESOR <input type="checkbox"/> EJE/DIF. DELANTERO <input type="checkbox"/> ROLA		
	_____ MODELO	_____ SERIE	_____ NUM. MAQ.	_____ MARCA DE LA MAQUINA		_____ ACEITE AGREGADO		<input type="checkbox"/> EJE/DIF. POSTERIOR <input type="checkbox"/> CIRCULO DE GIRO <input type="checkbox"/> M.F.D.D. <input type="checkbox"/> CAB. DE ROTACION <input type="checkbox"/> M.F.D.I. <input type="checkbox"/> CAJA MARINA <input type="checkbox"/> M.F.P.O. <input type="checkbox"/> TANGUE DE COMBUSTIBLE <input type="checkbox"/> M.F.P.I. <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/> M.F. DERECHO <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/> M.F. IZODO		
	Después de tomar la muestra:			_____ ORDEN DE TRABAJO		_____ CAPAC. DEL COMPART.				
	Cambió Aceite?		Cambió Filtros?		_____ HOROM./KILOM. DEL COMPARTIMENTO:		_____ NOTA			
Si <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		Si <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>								

ANEXO 4

Tabla de códigos ISO 4406 – Rango para conteo de partículas (por ml)

CODIGO ISO	Mínimo (Incluido)	Máximo (Excluido)
1	0,01	0,02
2	0,02	0,04
3	0,04	0,08
4	0,08	0,16
5	0,16	0,32
6	0,32	0,64
7	0,64	1,3
8	1,3	2,5
9	2,5	5,0
10	5,0	10
11	10	20
12	20	40
13	40	80
14	80	160
15	160	320
16	320	640
17	640	1300
18	1300	2500
19	2500	5000
20	5000	10000
21	10000	20000
22	20000	40000
23	40000	80000
24	80000	160000
25	160000	320000
26	320000	640000
27	640000	1300000
28	1300000	2500000

ANEXO 5

Sistema de Clasificación API para Aceites de Motor

“S” *Spark Combustion* (encendido por bujía)

SF para Servicio de Mantenimiento por Garantía de Motores a Gasolina

Modelo 1980: Servicio Típico de motores a gasolina en automóviles y algunos camiones a partir de 1980, operando bajo garantías de los fabricantes del motor. Los aceites designados para este servicio proveen más protección contra la oxidación, depósitos a baja y alta temperatura, desgaste, herrumbre y corrosión en motores a gasolina, que los aceites que son satisfactorios para la Clasificación API de servicio en motor SE y pueden ser usados cuando la clasificación anterior es recomendada.

SG para Servicio de Mantenimiento por Garantía de Motores a Gasolina

Modelo 1989: Servicio Típico de motores a gasolina en vehículos de pasajeros, camionetas y camiones ligeros empezando con los modelos 1989. Adicionalmente, los aceites que cumplan las especificaciones de esta categoría pueden ser usados en vehículos, en lugar de las categorías API anteriores, designadas SF, SE y SF/CC ó SE/CC.

SH para Servicio de Mantenimiento por Garantía de Motores a Gasolina

Modelo 1993: Servicio Típico de motores a gasolina en automóviles modernos altamente revolucionados, camionetas y algunos camiones a partir de 1993, operando bajo garantías de los fabricantes del motor. Estos aceites pueden ser usados en vehículos que cumplan con las especificaciones para la clasificación API SG, SE, SF/CC ó SE/CC. La nueva categoría está diseñada para mejorar el control de depósitos en el motor, oxidación del lubricante y desgaste del motor.

SJ Servicio de Mantención por Garantía de Motores a Gasolina Modelo

1997: El Servicio SJ de API fue adoptado para ser usado para describir los aceites de motor disponibles a partir del año 1996. Estos aceites se usan en el típico servicio de los motores a gasolina de los autos de pasajeros actuales y anteriores, vehículos para uso deportivo, camionetas y camiones para trabajos livianos, bajo los procedimientos de mantención recomendados por los fabricantes.

SL Servicio de Mantención por Garantía de Motores a Gasolina Modelo

2001: Lubricante que cumple con la nueva especificación API SL, diseñado para ser usado en automóviles modernos, vehículos 4x4, pickups que operan bajo los procedimientos de mantención del fabricante. Los lubricantes que cumplen con esta especificación se ven beneficiados con un menor nivel de depósitos como también un mejor control de la oxidación del lubricante. Los lubricantes API SL presentan una menor volatilidad del aceite lo cual se refleja en un menor consumo de lubricante.

“C” *Combustion by Compression* (encendido por compresión)

CF-4 para Servicio en Motores Diesel: Servicio Típico de motores diesel de trabajo pesado, de 4 tiempos y alta velocidad, turbocargados y sobrecargados fabricados desde 1990, particularmente en tractocamiones, camiones y autobuses en servicio de carretera. Los aceites CF-4 exceden los requerimientos de los aceites de categoría CE y están diseñados para reemplazarlos. Los aceites CF-4 también pueden utilizarse en reemplazo de las anteriores categorías CD y CC. La nueva categoría CF-4 provee mejor control de consumo de aceite y depósitos en los pistones.

CG-4 para Servicio en Motores Diesel: La categoría de servicio API CG-4, describe los aceites para uso en motores diesel de 4 tiempos de alta velocidad usados en aplicaciones tanto en vehículos de carretera de servicio pesado (0.05% en peso de azufre en el combustible). Los aceites CG-4 proveen de un control efectivo de depósitos del pistón a altas temperaturas, desgaste, corrosión, espumación, estabilidad a la oxidación y acumulación de hollín. Estos aceites son especialmente efectivos para motores diseñados para cumplir con los estándares de emisión de gases de 1994 y pueden ser usados también en motores que requieren categorías de servicio API, CD, CE y CF-4.

CH-4 para Servicio Severo en Motores Diesel: Los aceites de la categoría de servicio API CH-4 son adecuados para los motores diesel de 4 tiempos de alta velocidad, diseñados para cumplir los estándares de emisión de gases de 1998. Están específicamente formulados para el uso con combustibles diesel con azufre en el rango de hasta 0.5 % en peso. Los aceites CH-4 son superiores en desempeño que aquellos que cumplen con API CF-4 y CG-4, y pueden lubricar efectivamente los motores que exigen esas categorías de servicio.

CI-4 para Motores Diesel de Última Generación: Los aceites CI-4 han sido diseñados para cumplir con los requerimientos de lubricación de los nuevos motores Norteamericanos desde el año 2002, especialmente aquellos con recirculación de gases de escape (EGR). Estos motores tienen la tendencia a la formación de hollín en cantidad mayor que los motores sin EGR, por esta causa, un lubricante CI-4 requiere un mejor dispersante, una mayor protección del desgaste producido por el hollín, un TBN más efectivo para neutralizar la mayor cantidad de ácidos y finalmente una mayor capacidad antioxidante.

ANEXO 6

Grado de viscosidad SAE

