



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE ACEITE, PARA
OPTIMIZAR COSTOS OPERATIVOS POR DISPONIBILIDAD,
MONTACARGAS P33000. SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A.A.
CHIMBOTE 2018.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
INDUSTRIAL

AUTORES:

DARWIN MILTON, INTI MORALES

FREDY RONALD, ALVAREZ CESPEDES

ASESORES:

ING. JAIME EDUARDO, GUTIÉRREZ ASCÓN

DR. ING. JORGE LUIS, ARÉVALO DAZA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GESTIÓN EMPRESARIAL Y PRODUCTIVA

CHIMBOTE - PERÚ

2019

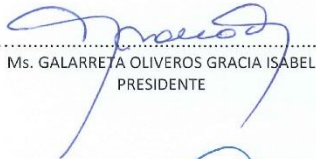
ACTA N° 001 - 2D - 2019 - EII/UCV/CH

El Jurado encargado de evaluar la tesis denominada "MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE ACEITE PARA OPTIMIZAR COSTOS OPERATIVOS POR DISPONIBILIDAD, MONTACARGAS P33000. SIDERURGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE 2018", presentada por los estudiantes INTI MORALES DARWIN MILTON / ALVAREZ CESPEDES FREDY RONALD, reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de:

NOTA: 16 (Número) Dieciseis (Letras).

Por lo tanto, el estudiante aprueba por Unanimidad

Chimbote, 15 de febrero del 2019


Ms. GALARRETA OLIVEROS GRACIA ISABEL
PRESIDENTE


Ms. QUILICHE CASTELLARES RUTH MARGARITA
SECRETARIO


Ing. JAIME EDUARDO GUTIERREZ ASCON
VOCAL

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a nuestros padres por ser parte fundamental de todo lo que somos y hemos logrado, por habernos impulsado constantemente a lo largo de toda nuestra educación académica y por enseñarnos el valor de la vida: por su amor incondicional mantenido a través del tiempo.

A todas esas personas especiales que estuvieron a nuestro lado en esta etapa, aportando con sus conocimientos a través de toda nuestra formación profesional.

Finalmente, a nuestros maestros, quienes dejaron huella en cada ciclo de nuestro paso camino universitario, en especial aquellos que nos ayudaron asesorando y aclarando cada duda presentada en la elaboración de la tesis.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la vida y guiarnos en cada etapa de nuestra existencia por ser siempre nuestra mayor fortaleza y apoyo en todos aquellos momentos de dificultad.

A nuestros padres, por ser ese motor que nos impulsa a seguir mejorando día a día; por nunca cortarnos las alas en cada ideal que perseguíamos y, sobre todo, por inculcarnos tantos principios y valores que son el eje que rige nuestra vida.

A nuestros asesores académicos, por compartir sus conocimientos cuando los requeríamos a lo largo de la carrera y en el transcurso de este trabajo.

A todas aquellas personas no mencionadas que de una y otra manera nos ayudaron incondicionalmente para realizar nuestra investigación, les damos infinitas gracias.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Fredy Ronald Alvarez Cespedes con DNI N° 40813012 y Darwin Milton Inti Morales con DNI N°45126857, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de ingeniería industrial, declaramos bajo juramento que toda la documentación que se acompaña es veraz y auténtica. Del mismo modo, declaramos también bajo juramento que todos los datos e información que es presentada en la presente tesis son auténticos y veraces. En tal sentido, aceptamos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo, Chimbote.

Nuevo Chimbote, febrero del 2019



Fredy Ronald Alvarez Cespedes
DNI: 40813012



Darwin Milton Inti Morales
DNI: 45126857

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

Bajo el cumplimiento del reglamento de grados y títulos de la Universidad César Vallejo, presentamos ante ustedes nuestra tesis titulada “Mantenimiento predictivo por análisis de aceite, para optimizar costos operativos por disponibilidad, montacargas P33000. Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018.”, en el cual se aprecia 7 capítulos de nuestra investigación.

Capítulo I: Introducción, se analizó la realidad problemática, presentación de los trabajos previos, la hipótesis y los objetivos planteados.

Capítulo II: Método, se hace mención al diseño de investigación, variables de Operacionalización, población y muestra, técnicas e instrumentos empleados, los métodos de análisis de datos y finalmente los aspectos éticos.

Capítulo III: Resultados, se desarrolló los tres objetivos propuestos, siendo el primero, diagnosticó de la disponibilidad inicial, seguido a ello se realizó la aplicación mantenimiento predictivo por análisis de aceite y finalmente se evaluó el impacto de los costos por disponibilidad.

Capítulo IV: Discusión, se analizó los resultados obtenidos para equipararlos con otros autores que realizaron trabajos similares citados en los antecedentes de nuestra tesis.

Capítulo V: Se elaboró las conclusiones finales de la investigación.

Capítulo VI: Se elaboró las recomendaciones adjudicadas a la tesis.

Capítulo VII: Presentación de las referencias bibliográficas de acuerdo a la norma ISO 690 y 690-2.

El objetivo de esta investigación fue optimizar los costos operativos por disponibilidad de los Montacargas P33000 por medio del mantenimiento predictivo por análisis de aceite en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. De esta forma, la tesis se somete a vuestra consideración y esperamos que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Industrial.

Los autores.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| PÁGINA DEL JURADO..... | ii |
| DEDICATORIA..... | iii |
| AGRADECIMIENTO..... | iv |
| DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD..... | v |
| PRESENTACIÓN..... | vi |
| ÍNDICE..... | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | ix |
| RESUMEN..... | x |
| ABSTRACT..... | xi |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| 1.1 Realidad problemática..... | 13 |
| 1.2 Trabajos previos..... | 18 |
| 1.3 Teorías relacionadas al tema..... | 21 |
| 1.4 Formulación del problema..... | 38 |
| 1.5 Justificación..... | 39 |
| 1.6 Hipótesis..... | 40 |
| 1.7 Objetivos..... | 40 |
| II. MÉTODO..... | 41 |
| 2.1 Diseño de la investigación..... | 41 |
| 2.2 Variables, Operacionalización..... | 42 |
| 2.3 Población y muestra..... | 43 |
| 2.4 Técnicas e instrumentos de validación de datos, validez y confiabilidad..... | 43 |
| 2.5 Método de análisis de datos..... | 45 |
| 2.6 Aspectos éticos..... | 45 |
| III. RESULTADOS..... | 46 |
| IV. DISCUSIONES..... | 69 |
| V. CONCLUSIONES..... | 73 |
| VI. RECOMENDACIONES..... | 74 |
| VII. REFERENCIAS..... | 75 |
| ANEXOS..... | 80 |
| Anexo 1. Fórmula de Tasa de Fallas..... | 80 |
| Anexo 2. Fórmulas de MTBF y MTTR..... | 80 |
| Anexo 3. Fórmula de disponibilidad..... | 80 |
| Anexo 4. Fórmulas de Impacto..... | 81 |
| Anexo 5. Matriz de consistencia..... | 82 |
| Anexo 6. Matriz de antecedentes de la variable X..... | 83 |
| Anexo 7. Matriz de antecedentes de la variable Y..... | 84 |

| | |
|--|-----|
| Anexo 8. Formato especificaciones técnicas del equipo | 85 |
| Anexo 9. Formato general de datos de equipo | 86 |
| Anexo 10. Formato del historial de equipo | 87 |
| Anexo 11. Formato de control de operación de equipo..... | 89 |
| Anexo 12. Formato de control de los costos | 91 |
| Anexo 13. Formato de programa de mantenimiento preventivo | 93 |
| Anexo 14. Formato de registro de control de análisis de aceite | 94 |
| Anexo 15: Análisis de aceite de motor Cat 15w 40..... | 97 |
| Anexo 16: Análisis de aceite de transmisión TO-4 SAE 30. | 100 |
| Anexo 17: Análisis de aceite hidráulico HYDO ADV CAT/10W..... | 102 |
| Anexo 18: Guía de la condición de aceite para equipos Caterpillar..... | 104 |
| Anexo 19. Niveles de limpieza ISO 4406:99 máximo permisible para el aceite del sistema hidráulico y transmisión | 105 |
| Anexo 20. Parámetros del grado de viscosidad de los aceites a 100 °C..... | 106 |
| Anexo 21. Datos técnicos del límites máximos permisibles de nivel de contaminación en el aceite motor 15w40. | 107 |
| Anexo 22. Especificaciones técnicas del aceite SAE 30 usado en el sistema de transmisión. | 108 |
| Anexo 23. Especificaciones técnicas del aceite HYDO 10 usado para el sistema hidráulico. | 109 |
| Anexo 24. Especificaciones de técnicas del aceite de motor Cat DEO 15w40..... | 110 |
| Anexo 25. Flota de unidades de Montacargas Caterpillar P33000 de la empresa Siderúrgica del Perú..... | 111 |
| Anexo 26. Muestreo de aceite para análisis de laboratorio realizada por personal de la empresa Ferreyros S.A | 111 |
| Anexo 27. Historial de mantenimiento de la flota de montacargas P33000 de la empresa Siderúrgica del Perú..... | 112 |
| Anexo 28. Documento de similitud..... | 113 |
| Anexo 29. Acta de aprobación de originalidad de tesis | 114 |
| Anexo 30. Acta de aprobación de la tesis..... | 115 |
| Anexo 31. Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional UCV. | 116 |
| Anexo 32. Autorización de la versión final del trabajo de investigación..... | 118 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Historial del Programa de mantenimiento preventivo | 47 |
| Tabla 2: Estructura de los costos por cambio de aceite de motor | 48 |
| Tabla 3: Estructura de los costos por cambio de aceite de transmisión..... | 48 |
| Tabla 4: Estructura de los costos por cambio de aceite hidráulico | 48 |
| Tabla 5: Disponibilidad inicial al montacargas Caterpillar P33000..... | 49 |
| Tabla 6. Resultado de análisis de laboratorio de nivel de hollín en el aceite de motor | 51 |
| Tabla 7: Resultado de análisis de laboratorio de nivel de oxidación en el aceite de motor. | 52 |
| Tabla 8: Resultado de análisis de laboratorio del nivel de Nitración en el aceite..... | 53 |
| Tabla 9: Resultado de análisis de laboratorio de nivel de Sulfatación del aceite de motor. | 55 |
| Tabla10: Resultado de análisis de laboratorio de la viscosidad 100 C del aceite de motor. | 56 |
| Tabla 11: Resultado de análisis de laboratorio del Índice cuantificador de partícula en el aceite de motor..... | 57 |
| Tabla 12.Análisis de disponibilidad final de Montacarga P33000. | 65 |
| Tabla 13.Impacto de disponibilidad de Montacarga y los costos | 66 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.Matriz de Operacionalización | 42 |
| Figura 2.Evolución del hollín en el aceite Cat Deo 15w40 de motor con las horas de uso. | 51 |
| Figura 3.Tendencia de la oxidación del aceite Cat Deo 15w40 de motor | 53 |
| Figura 4.Evolución de la tendencia de la Nitración del aceite Cat Deo 15w40 de motor ... | 54 |
| Figura 5.Tendencia de Sulfatación del aceite Cat Deo 15w40 por horas de uso | 55 |
| Figura 6.Tendencia de la viscosidad de aceite Cat Deo 15w40 por horas de uso..... | 57 |
| Figura 7.Tendencia del índice cuantificador de partícula del aceite Cat Deo 15w40..... | 58 |
| Figura 8.Tendencia de la viscosidad cinemática al 100°C del aceite TO-4 SAE 30..... | 59 |
| Figura 9.Tendencia de nivel de partícula de 4 μ en el aceite Cat TO-4 SAE 30..... | 60 |
| Figura 10.Tendencia de nivel de partícula de 6 μ en el aceite Cat TO-4 SAE 30..... | 60 |
| Figura 11.Tendencia de nivel de partícula de 14 μ en el aceite Cat TO-4 SAE 30..... | 61 |
| Figura 12.Tendencia de la viscosidad del aceite Cat Advance SAE 10W..... | 62 |
| Figura 13.Tendencia de nivel de partícula de 4 μ en el aceite Cat Advance SAE 10W | 63 |
| Figura 14.Tendencia de nivel de partícula de 6 μ en el aceite Cat Advance SAE 10W..... | 63 |
| Figura 15.Tendencia de nivel de partícula de 14 μ m en el aceite Cat Advance SAE 10W.. | 64 |

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se titula MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE ACEITE, PARA OPTIMIZAR COSTOS OPERATIVOS POR DISPONIBILIDAD, MONTACARGAS P33000. SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE 2018. La empresa cuenta con cuatro Montacargas Caterpillar P33000, las cuales son equipos de alta criticidad que brindan servicio en el área de despacho de productos terminados.

La empresa estaba efectuando cambios de aceites de los diferentes sistemas y compartimentos del equipo sin tener datos exactos que determinen la vida de estos elementos lo cual conlleva a tener altos costos operativos por disponibilidad, cambio de fluido y materiales que están implicados en los mantenimientos tradicionales.

El objetivo fue aplicar el mantenimiento predictivo por análisis de aceite con el fin de optimizar los costos operativos por disponibilidad de los montacargas. Se utilizaron los fundamentos teóricos de Antón, D'Alessio, Mora, Montilla y Tormos. La muestra estuvo compuesta por una unidad de montacarga 04-66. La aplicación comenzó con la recolección de datos mediante los diferentes formatos que fueron validados por experto conocedores del tema, la guía de límites máximos permisibles proporcionada por el fabricante y el análisis de las muestras de aceite. En base a esta información, se logró realizar cuadros estadísticos de tendencias de contaminantes que determinan la vida útil de estos elementos para establecer nuevos cambios óptimos, llegando a tener resultados de ahorro en costos operativos de \$34 393,88 anuales, incrementando la disponibilidad en 1.11%. Se concluye que la aplicación optimiza los costos operativos por disponibilidad.

Palabras clave: Análisis de aceite, costos, disponibilidad, montacarga.

ABSTRACT

The following research project entitled PREDICTIVE MAINTENANCE BY OIL ANALYSIS, TO ENHANCE THE OPERATING COSTS BY AVAILABILITY, P33000 FORK LIFT TRUCKS. SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE 2018. The company owns four P33000 Caterpillar fork lift trucks, which are highly critique equipment that provide service in the finished product dispatch area.

The company was carrying out oil changes in different systems and equipment compartments without having exact data that determine the lifespan of these basics, which leads to high operating costs due to availability, fluid change, and materials that are involved in the traditional maintenance.

The objective was to apply the predictive maintenance on oil analysis in order to optimize operating costs for the availability of forklifts trucks. Antón, D'Alessio, Mora, Montilla and Tormos' theoretical foundations were used. The sample was formed by a unit of 04-66 forklift trucks. The implementation began with the data compilation through the different formats that were validated by experts who are connoisseur of the subject, the guide of maximum permissible limits provided by the manufacturer and the analysis of oil samples. Based on this information, statistical tables of trends in contaminants that determine the lifetime of these elements to establish new ideal changes were made. Reaching results of savings in operating costs of \$ 34 393.88 annually, increasing the availability by 1.11%. It is concluded that the application optimizes the operational costs by availability.

Key words: Oil analysis, Costs, Availability, Fork lift truck.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene por objetivo la aplicación de la estrategia del mantenimiento predictivo por análisis de aceite en los equipos montacargas Caterpillar P33000 de la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A., Lo que nos motivó a realizar esta tesis fue los altos costos operativos por paradas que presentaban los equipos, debido a la realización de mantenimientos tradicionales como cambio de aceite del motor, sistema de transmisión y sistema hidráulico. Estos cambios se realizan con un periodo de frecuencias de 250, 500 y 2000 horas respectivamente, sin tener datos exactos respecto de la degradación o vida útil de estos elementos; de esta manera, se incurría en costos por mano de obra, costo del aceites lubricantes y sobre todo, costo de hora máquina, que es uno de los factores más importantes a optimizar en los costos operativos (siendo este tal vez, al que menos importancia se le toma). Por ello, es de gran importancia tener datos que nos indiquen cuándo el aceite lubricante o el hidráulico no es apto para usarse en estos equipos, teniendo en cuenta que realizar el cambio de este elemento en el momento adecuado es de vital importancia para el motor. Con la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, pretendemos optimizar los costos operativos por una mayor disponibilidad durante toda la vida útil del equipo prologando los intervalos de mantenimiento según convenga después de la aplicación de la estrategia del mantenimiento predictivo por análisis de aceite.

Por todo ello nos motivó a aplicar una estrategia que permitiera monitorear condiciones u/o parámetros de degradación del aceite lubricante de todos los sistemas del equipo, lo cual fue conseguido mediante el análisis de aceite. Para ello, fue necesario crear una data de tendencia que nos ayudó a predecir el cambio óptimo de aceite lubricante; todo esto fue alcanzado gracias al apoyo del equipo en operación. Si los cambios de aceite se realizan por medios tradicionales, tomando en cuenta la frecuencia preventiva que estos tienen, se ve afectada la disponibilidad, y, por tanto, se incrementa los costos y gastos innecesarios en mano de obra, lo que provoca el aumento de los costos operativos. La finalidad de este estudio es evitar paradas periódicas y procurar alargar el tiempo de cambio del aceite, aumentando de este modo la disponibilidad del equipo y optimizando los costos operativos durante el

proceso de mantenimiento. Una determinada producción, una venta en el tiempo establecido y hasta el destino y la participación de una empresa en el mercado, la búsqueda de indicadores de gestión que permita el apoyo en cierta medida la misma, siempre fueron y serán una preocupación permanente por parte de los directivos, gerentes y de los ejecutivos encargado de la actividad de mantenimiento.

1.1 Realidad problemática

Actualmente, a nivel global, el sector metalmecánica ha evolucionado evidenciando cambios visibles debido al avance tecnológicos producto de la globalización. Es evidente, también, la demanda que presenta la economía mundial, mercados muy competitivos en un ambiente de cambio constante, donde la rapidez de la evolución sobrepasa la capacidad de respuesta de las empresas; en este entorno vale la pena examinar algunas posibilidades siempre presentes, pero que en la actualidad tienen más importancia. Propiamente, la exigente obligación de modificar por completo las empresas implica en el mantenimiento, desafíos y oportunidades que deben ser apreciados. Las empresas reciben el impacto de la globalización y se ven sometidas a una poca rentabilidad que reflejan pérdidas al final en sus cuadros estadísticos, ello por estar perdiendo mercado debido a los altos costos. Existen muchas causas por la que los costos en las empresas son elevados y unas de estas es la que abordamos en esta investigación: los costos operativos.

En este sentido las empresas manufactureras, al igual que las empresas extractivas, transformadoras y productoras de bienes y servicios, requieren de la prestación de servicios terciarios, los mismos que cuentan con máquinas y equipo que garanticen nivel adecuado de disponibilidad. De esta forma, les permite efectuar sus operaciones productivas con el mismo nivel de productividad, disponibilidad y sobre todo menores costos; en tal sentido, esto obliga a la empresa prestadora de servicio, que sus equipos, maquinarias entre otros elementos, puedan operar con niveles altos de disponibilidad, por lo que requieren adoptar estrategias de mantenimiento adecuadas que permitan tener mayor tiempo de operación entre falla. Del mismo modo, se requiere que dentro de la vida útil del equipo o maquinaria, esta sea lo más productivo posible, razón por la que se requiere que los repuestos e insumos cumplan con su vida útil para la cual

fueron diseñados, permitiendo así el ahorro en los costos de mantenimiento y conservación de la máquina y equipo.

La lucha constante de las empresas para optimizar sus costos constituyen una peripecia consuetudinaria, ya que impide alcanzar las metas propuestas para el crecimiento y desarrollo sostenible, en su búsqueda de nuevos mercados nacionales e internacionales (mucho más si se trata de sectores tan competitivos como es la de metal mecánica). La problemática que venía presentando la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A., le impedía crecer y seguir siendo reconocidos como una empresa de trayectoria nacional. Por ello, se tenía que buscar soluciones óptimas y adecuadas que no involucren a recortar los beneficios percibidos por el recurso humano, sino que por el contrario, ayudaran a mejorar el status de sus colaboradores, teniendo en cuenta que ellos son el pilar principal que impulsa el desarrollo de una empresa que quiere consolidarse. Por ello, teniendo en cuenta el óptimo cuidado de sus recursos, nos inclinamos por optimizar los costos operativos en los equipos montacargas Caterpillar P33000 para lograr llegar a la meta de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A.

La empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. es una de las principales empresas siderúrgicas del Perú, dedicada a la comercialización y fabricación de productos de la más alta calidad. Esta se encuentra instalada en un amplio terreno de 600 hectáreas. Con una capacidad de producción de más de 500 mil toneladas de productos de acero, esta empresa cuenta con diferentes áreas, la cuales cumplen diferentes funciones a lo largo de todo su proceso productivo. Sus equipos montacargas trabajan las 24 horas del día, los 7 días de la semana, los 365 días del año realizando diversas funciones, tales como la descarga de palanquillas para planos, donde finalmente sale el producto terminado de fierro corrugado para construcción; el despacho de fierro de construcción hacia los camiones para las diversas distribuidoras a nivel nacional, así como también las descargas de bobinas traídas por los grandes barcos de países vecinos para la fabricación de los tubos.

El trabajo que realizan los equipos montacargas Caterpillar P33000 es de considerable importancia y alta criticidad para la empresa, pues resultan claves para alcanzar las metas de producción; por otro lado, los mantenimientos tradicionales, como los cambios de aceite de motor se realizaban cada 250 horas. Estas operaciones tienen un tiempo de demora por un promedio de 4 horas a más. Estos cambios periódicos de

aceite, se hacían sin tener datos exactos de la vida útil de estos elementos, que son esenciales para su funcionamiento, por lo que la disponibilidad de estos equipos se veía afectada, incurriendo así en altos costos operativos (la hora de estos equipos en operación es muy costosa, al igual que la mano de obra de los técnicos mecánicos que realizan los mantenimientos y los aceites lubricantes que se utilizan en la operación).

Lo anterior implicaba no poder utilizar el equipo montacargas Caterpillar P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Debido a los mantenimientos periódicos, esto provocaba mayores costos operativos por mano de obra para poder realizar los mantenimientos, los insumos que se utilizaba, sobre todo las horas de paradas de los equipos que afectaba la disponibilidad de los mismos. La empresa no tenía buenas prácticas de mantenimiento acordes a su necesidad, sino que por el contrario, estas circunstancias incrementaban los costos globales; esto generaba un problema constante para que la organización no alcanzara su supremacía y así lograra destacarse de las demás en el mismo rubro. La falta de una aplicación estratégica del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, lo cual no permitía saber el estado de la degradación del aceite lubricante de los motores para realizar el cambio en el momento oportuno, hacía que todos estos costos se incrementen, conllevando a que la empresa como tal no llegara al nivel deseado.

El costo de la no disponibilidad por falla, el valor que implica no poder utilizar una maquina debido a reparaciones, mantenimiento o modificaciones causadas por problemas no imprevistas, es el rubro más importante de los costos de mantenimiento, normalmente superior a costos fijos, costos variables y costos financieros sumados y es el que probablemente menos atención se les presta en las empresas, pero es indudablemente es el más relevante de todos (MORA, Gutierrez, 2009 pág. 468)

El costo es el valor del beneficio perdido. Ignorar los costos es ignorar los beneficios. Costos y beneficios son el resultado de decisiones y se comparan con las opciones; los costos deben identificarse medirse y evaluarse, por lo que el costo se asocia con el uso de algún recurso y sus usos alternativos. Costos y beneficios son caras de la misma moneda, la tendencia siempre es restringir el análisis. Costos cuantificables en el término monetario y considerarse como el costo total por esto la relevancia de los depende la influencia y del espectro del interés del responsable de la toma de decisión (D'ALESSIO, 2004 pág. 418)

En tal sentido, lo requerido se resume dentro de los aspectos de la máxima utilización de los recursos, maquinarias e insumos, la máxima disponibilidad de los equipos para

su operación y de la optimización de los costos operativos a través de la aplicación de adecuadas estrategias de mantenimiento que permitieron alcanzar estos objetivos. Una de las estrategias de la ingeniería del mantenimiento aplicada hoy en día en el sector empresarial es el denominado mantenimiento predictivo, el mismo que permitió efectuar evaluaciones de los componentes e insumos de los equipos y maquinarias, sin que estos sean paralizados con significativos tiempos en los talleres. Esto les permitió evitar la parada de los equipos y maquinarias con la generación de tiempos improductivos; asimismo la aplicación de este tipo de estrategias, permitía que los componentes e insumos evaluados y analizados, se reemplacen en el momento oportuno cuando llegan a su etapa de cumplimiento de vida útil; es decir, cuando realmente cumplieron su tiempo de uso. En tal sentido, este aspecto es una ventaja comparativa respecto a la estrategia del mantenimiento preventivo, ya que el cambio del componente o el insumo se realizan en el momento adecuado y preciso cuando requiere ser efectuado.

Con esta estrategia predictiva, se desarrolló y aplicó el denominado análisis de los aceites lubricantes de los equipos y maquinarias, especialmente de las que operaban en circunstancias y situaciones en las que el tiempo del traslado al taller, obligaban a tener costos significativos de paradas de operación, con las correspondientes pérdidas económicas y perjuicios en las eficiencias operacionales. En este sentido, y acorde a lo indicado en los párrafos anteriores, se tenía esta realidad problemática en las instalaciones de empresa de Siderúrgica del Perú S.A.A. debido que los equipos montacargas Caterpillar P33000 requerían para su funcionamiento el uso de considerables cantidades de aceite lubricante; siendo necesario efectuar estos cambios de manera periódica, sin tener datos que determinen el estado útil del aceite lubricante. Todo esto conllevaba a estar efectuando cambios innecesarios del mismo; por otro lado, los cambios periódicos de aceite impedían alcanzar la disponibilidad requerida, incrementando los costos operativos, ya que debido a los trabajos de mantenimiento tradicionales, requerían invertir tiempos muertos e improductivos por traslados y paradas en los talleres. Por otro lado, y desde el aspecto ambiental, los reemplazos de los aceites lubricantes usados, obligaban a tener que disponerlos en echaderos de residuos peligrosos, cuyo costo es considerable; por lo tanto, uno de los objetivos fue alcanzar el consumo menos aceite lubricante con estas técnicas predictivas,

reemplazarlos cuando realmente se requiera y cuando ya no sea útil para la maquinaria que lo utiliza.

El mantenimiento predictivo previene parada no programada de los equipos y garantiza a las industrias un mayor up time en sus procesos productivos, varias industrias no llevan a cabo este modelo de sistemas “ni siquiera considerando de gracias a análisis predictivos es posible evitar fallas que pudieran ser muy costosas”. Hoy en día las tecnologías asociadas al mantenimiento basada en la condición o en otros términos al mantenimiento predictivo han evolucionado, aumentando sus prestaciones y adoptando precios más competitivos, haciendo su uso rentable para activos menos críticos, pero en los cuales una avería podría suponer un duro golpe al beneficio de la compañía. Sectores como el de automoción, alimentación y farmacia, entre otros, se están sumando ya a emprender proyectos de mejora en la optimización de su mantenimiento implantando estas tecnologías predictivas.

Bajo los conceptos antes mencionados, es importante saber reconocer los errores más comunes cometidos por la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A. para no incurrir en altos costos operativos: la falta de criterio para implementar una metodología que aumentara la disponibilidad de sus equipos montacargas Caterpillar P33000, para así lograr la optimización de los costos son producto de una falta de visión sistemática o bien la adopción de medidas con objetivos estratégicos; los costos operativos, son productos de diversos factores que inciden en el equipo en mención y por lo tanto son necesarios reducir u/o controlar; implica saber cuáles son las interrelaciones entre sí. Los principales factores que incidían en los mantenimientos era los costos de insumos, la mano de obra, las horas de parada de las maquinas, siendo esta última una de mas importantes y a la que menos atención se la prestaba. El problema que se tenía con estos mantenimientos periódicos era los costos fijos y se tenía que buscar la forma de lidiar con ellos para encontrar una relación entre el costo y beneficio de una implementación por lo que se orientó el caso del mantenimiento predictivo por análisis de aceite ideal para la optimización de los recursos, lo cual significaba gastar lo menos posible y obtener el máximo de la eficiencia deseada de mayor tiempo entre falla aumentando así la disponibilidad de los montacargas Caterpillar P33000.

1.2 Trabajos previos.

Para la presente investigación, se realizó la revisión de material bibliográfico, para lo cual se consultó diferentes trabajos de tesis profesionales relacionadas al tema de las estrategias del mantenimiento predictivo, las que aportaron información y conocimiento imprescindible y conveniente para la elaboración del presente trabajo, las mismas que fueron realizadas, a nivel internacional y nacional.

Variable independiente: Mantenimiento predictivo por análisis de aceite.

Antecedentes internacionales.

En la tesis de Rivera y Sucozhañay (2016, p.144) titulada; “Diagnóstico del estado de los transformadores de potencia de las centrales molino y mazar basado en análisis de aceite”. De la Universidad de Cuenca. Tuvo como objetivo diagnosticar el estado actual de los transformadores de potencia de las centrales molino y mazar, mediante el análisis de aceite usando aplicaciones computables. Como resultado se aprecia que desde el inicio de operación del equipo en línea los datos de ciertas muestras en un intervalo específico de tiempo presentan valores demasiado elevados. Se concluye, de acuerdo con el análisis de aceite realizado a los transformadores de la unidad U04, que se ha diagnosticado una falla térmica la cual se ha producido debido a la gasificación del aceite mineral, lo que no representa un peligro alguno para el transformador.

En la Tesis De Calderón y López (2016, p.64) titulada “Plan de monitoreo y control a través de los análisis de aceite para motor y transmisión de vehículos articulados Mercedes para la empresa sistemas operativos móviles - Somos K. S. A”, de la Universidad distrital Francisco José de Caldas. Su objetivo es realizar un plan de monitoreo y control a través de los análisis de aceite (motor y transmisión) para aumentar la confiabilidad de la flota de buses de la empresa SOMOS K. Como resultado se aprecia que una correcta interpretación y análisis de los resultados de laboratorio, ayuda al departamento de mantenimiento a generar un plan de acción y tomar medidas preventivas y/o correctivas para garantizar la confiabilidad de los equipos. El autor concluye que los análisis de lubricantes nos permiten detectar presencia de sustancias y/o partículas diferentes a las convencionalmente

recomendadas, lo que permite generar predicciones de posibles fallas que se puedan presentar en los equipos.

En la tesis de Cervantes (2015, p.239) titulada “Caracterización de la degradación del aceite lubricante en automotores de ciclo de diésel”. se planteó como objetivo la regeneración de los aditivos existentes en el aceite que finalmente lograrán cumplir con especificaciones estandarizadas tanto físicas como químicas. Como resultado se obtuvo qué automotores cumplen de manera satisfactoria con el ciclo de diésel y que presentan un excelente funcionamiento, se obtuvo que la vida útil del aceite lubricante es mayor al recomendado en un 12% como límite máximo, pero se sugiere que para automotores que estén sujetos a grandes esfuerzos de carga sea necesario el cambio de aceite en los 4200 Km por todos los parámetros explicados anteriormente. El autor concluye que el desgaste del aceite no solo proviene del recorrido del automotor sino también durante el arranque en frío a 20°C hasta que el lubricante toma la temperatura de régimen de operación dentro del rango de 80°C a 110°C, por lo que dicha degradación equivale a unos 300 Km en ruta refiriéndonos a un aceite multigrado como lo es el de SAE 15W-40, caso contrario si el aceite es mono grado pues el desgaste será mayor.

Antecedentes nacionales

En la tesis de Galarza (2017, p.136), titulada “Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390fl de Stracon GyM – Cajamarca”, de la Universidad nacional del Centro del Perú. Su objetivo principal es mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora Caterpillar 390FL de Stracon GyM – Cajamarca aplicando un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite. Como resultado de la evaluación mediante el enfoque sistemático del plan de mantenimiento predictivo basado en los análisis de aceite, se logró aumentar la disponibilidad del equipo excavadora 390FL y esto se refleja en un aumento de producción por ser el equipo principal de carguío del proyecto. El autor concluye que se incrementó la disponibilidad mecánica de la excavadora 390FL en un 2.34%, antes de aplicar el plan de mantenimiento basado en los análisis de aceite, se tenía una disponibilidad de 89.66% y posteriormente después de aplicar el plan de mantenimiento se logra un valor de 92%. Las horas promedio de parada era de 14.72 horas semanales, después de aplicar el plan de mantenimiento predictivo el tiempo

promedio de parada se reduce a 11.32 horas semanales, lográndose disminuir el tiempo de parada en 3.4 horas. Las horas de parada del equipo son inversamente proporcional respecto a la disponibilidad. Las horas operativas del equipo se incrementó de 128.17 horas semanales a 130.31 horas semanales.

En la tesis de Medina (2016, p.218), titulada. “Análisis y monitoreo del aceite lubricante en la anticipación de fallas de maquinaria pesada, como herramienta de mantenimiento proactivo”. De la Universidad Nacional de Trujillo. se tiene como objetivo principal el determinar el efecto en el análisis y monitoreo del aceite lubricante para anticipar las fallas de la maquinaria pesada como herramienta del mantenimiento proactivo. Se obtuvo como resultado que por medio del análisis de aceite usado se verificó el estado del aceite y posibles desgastes existentes en los componentes de los equipos, previniendo un mantenimiento innecesario y evitando de esta manera una costosa reparación. El autor concluye que en los programas de mantenimiento predictivos, se logró disminuir tiempos de reparación por paradas correctivas, aumentando así la disponibilidad de los equipos a 97.38 %. También se redujo los costos de materiales y repuestos en los equipos Volvo VM de \$ 76 437.276 a \$ 41 158.5 con la implementación de los análisis de aceite, logrando así un beneficio para la empresa de 46.15 % del presupuesto al poder ahorrar \$ 35 278.778 en todo el año.

Variable dependiente: Costos operativos por disponibilidad

Antecedentes internacionales.

En la tesis de Palma (2015, p.118), titulada: “Análisis de los costos operativos y su incidencia en los resultados de las operaciones de la compañía de automatización y control GENESYS S.A. periodo 2013”, se planteó como objetivo principal el identificar los factores que determinan los costos operativos y su relación con la ganancia neta disponible para los accionistas de la compañía de automatización y control GENESYS S.A. Como resultado se identificaron los factores que determinan los costos operativos que se generan por el consumo de materiales, mano de obra y subcontratos de los proyectos en proceso y su relación con la ganancia neta para los accionistas de la compañía de automatización y control GENESYS S.A. El autor concluye que en la compañía de automatización y control GENESYS S.A se procedió

a analizar los costos operativos en los que incide la organización para la ejecución de sus obras en proceso. El objetivo fundamental de este trabajo es identificar los factores que determinan los costos operativos y su relación con la ganancia neta para los accionistas de la compañía.

En la tesis de Rivera (2015, p.42), titulada “Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos”. De la Universidad de Chile. Se planteó como objetivo un modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos de mejoras sobre eventos de falla, en indicadores tales como Disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos. Como resultado se consiguió organizar el ingreso de información en los sistemas de información de la superintendencia donde se desarrolló el estudio, pero esta actividad evidenció la necesidad de disponer de una fuerte carga de trabajo en el control de la prolijidad con que se registran los eventos de falla. El autor concluye que en el caso del sistema SCL, no hubo tal problema ya que la totalidad de fallas estaban cubiertas por el plan implementado, pero aun así no se lograron suprimir todos los eventos de falla, por varios motivos, entre ellos: la adquisición de mejores prácticas por parte de los ejecutores es muy lenta y no todas las buenas prácticas fueron puestas en funcionamiento y por otra parte el sistema SCL aún sigue teniendo un uso muy extremo con encendidos y apagados cada 1 [hr] y funcionamiento a full frío que congela a los componentes y los daña.

1.3 Teorías relacionadas al tema.

Variable X: Mantenimiento predictivo por análisis de aceite.

El mantenimiento predictivo es una técnica usada para predecir el punto próximo de falla de un componente de un equipo. De esta manera, tal componente pueda reemplazarse con un plan programado antes de que falle. Las modernas técnicas de análisis de aceite que son usados hoy en día no solo son para evaluar la condición del aceite lubricante sino también sirve para evaluar el estado del equipo. Entre sus beneficios, se encuentran la reducción de parás innecesarias de la maquinaria, aumento de la vida útil de los equipos y mejor planeación y programación de la producción. En

tal sentido, permite establecer la frecuencia del cambio de aceite más largo y asegurándose así el lubricante adecuado para el equipo.

En la actualidad, la necesidad de mejorar el desempeño en los procesos productivos es creciente. Las paradas no planificadas y los fallos en el equipamiento pueden tener un impacto desfavorable en la economía de las plantas, en la seguridad del personal que las opera y provocar afectaciones significativas al medio ambiente. La detección temprana de un desempeño degradado del proceso y fallos en el sistema tecnológico se está convirtiendo en un requisito fundamental para sostener la capacidad productiva de una planta, su rentabilidad y su seguridad. (QUIÑONES, y otros, 2014 pág. 16)

Para esta variable de estudio, se debe puntualizar el valor de límite de admisibilidad y el valor de señal de alarma deberá programarse la operación de mantenimiento del equipo para restablecer su nivel de productividad. Si la señal de pánico es desatendida por los técnicos de mantenimiento se corre el riesgo de exceder el límite de admisibilidad, exponiéndose a un problema mucho mayor. El mantenimiento predictivo se respalda en la tecnología y en técnicas especiales como Termografía, análisis de aceite en uso, análisis de vibraciones, ensayos de tinta penetrante, ensayo con partículas magnéticas, ultrasonidos, rayos X, etc. Entre las muchas aplicaciones del mantenimiento predictivo tenemos la de brindar una alta posibilidad de anticiparse a la ocurrencia de la falla, puesto que se evidencia la germinación de la misma en la medida que la variable en referencia se salga de todo control.

Muchas de las pruebas o ensayos o mediciones se realizan con la maquina en operación, por lo consiguiente no se afecta el proceso productivo de los equipos y por último y no menos importante es la minimización de los periodos de intervención de las maquinaria, el equipo se intervienen cuando se confirman que hay una falla en gestación. El mantenimiento predictivo es una forma evolucionada del mantenimiento preventivo y se efectúan por un lado ensayos o pruebas sobre parte de las máquinas, y complementariamente se hacen mediciones de variables de operación. (MONTILLA, Montaña, 2016).

Es el que busca informar o hacer conocer constantemente el estado de operatividad de las instalaciones por el conocimiento valor de algunas variables, características de tal estado y operatividad. Para emplear este tipo de mantenimiento es preciso identificar las variables físicas (consumo de energía, temperatura, vibraciones, etc) tal variación sea indicio de un problema que podría estar manifestándose en el equipo. Este modelo de mantenimiento más tecnológico, para emplearse es necesario tener medios técnicos

avanzados y un sólido discernimiento matemáticos, técnicos y físicos. (GARCÍA Garrido, 2003 pág. 17)

El mantenimiento preventivo periódico resultaba costoso porque la mayoría de los componentes se cambiaban a pesar de aun estar en óptimo estado. El mantenimiento preventivo condicional es un procedimiento que cambia el componente en función de su estado en el momento de su inspección. Por lo tanto, con esta política de mantenimiento, la vida efectiva de estos componentes se puede alargar. En el mantenimiento condicional no es crítico conocer de forma precisa la ley de degradación, pero este tipo de mantenimiento resulta más efectivo si el rendimiento del componente se puede monitorear (a través de algunos atributos del componente) o puede ser juzgado por el operario. No obstante, hace falta más control recolectando datos, examinando y actuando o no en función de los resultados. La norma ISO 14000 (norma medioambiental) exige evitar el mantenimiento preventivo periódico o prolongarlo y tender hacia el mantenimiento preventivo condicional, sobre todo en lo que hace referencia a los aceites y productos perjudiciales al medioambiente.

En ocasiones, es posible monitorizar en tiempo real el estado de un componente o elemento y determinar cuándo presenta una anomalía de funcionamiento, En ese momento se procede a su sustitución inmediata. Este mantenimiento se denomina mantenimiento predictivo. La diferencia principal entre el mantenimiento preventivo condicional y el mantenimiento predictivo consiste en que las variables se están detectando constantemente. Es preciso encontrar una correlación entre el parámetro de la degradación del componente o elemento. Estas variables se pueden medir son temperatura (termómetros) los ruidos (fonómetros), las grietas (rayos X) o las pérdidas de presión (manómetros).La norma QS9000 recomienda que los procedimientos de mantenimientos predictivo, y, en caso de no tenerlos, hay que justificar económicamente la imposibilidad de invertir en ellos. (SANTOS, y otros, 2006 pág. 127)

Teoría basada en la dimensión D1: Diagnóstico de disponibilidad inicial y final.

El diagnóstico se basa en general en el análisis que se realiza para lograr determinar cualquier situación o cómo están las tendencias y esto se determina sobre una base de datos que son recolectados y ordenados sistemáticamente para permitir tener una mejor visión de lo que está ocurriendo. El recabar datos para luego analizarlos e interpretarlos nos permitirá evaluar una determinada condición; un diagnóstico trata de develar la manifestación de un problema que existe a partir de observar y analizar los

síntomas, por lo que en nuestra investigación es fundamental hacer el análisis de la disponibilidad inicial y final, para lo cual, tenemos que analizar y evaluar los tiempos medio entre falla y los tiempos medios de reparación. Esto nos permitirá tener conocimientos de las tendencias de parada del equipo y cuánto incurre en costos operativos por dichas paradas; tal diagnóstico de la actual situación de la empresa nos ayudará a detectar los aspectos que pueden y deberán ser mejorados.

Tiempo medio entre fallas (TMEF o MTBF). Indica el interludio del tiempo más probable entre el arranque del equipo y la aparición de la falla; es decir, es la duración promedio transcurrida hasta que se dé la falla. Mientras mayor sea su valor de tiempo, más alta es la confiabilidad en el sistema, por lo tanto, el TMEF es uno de los indicadores que más se usa para el estudio de la confiabilidad. El TMEF debe ser considerado como un indicador más, que representa de alguna manera el comportamiento de los equipos. De igual manera, para determinar el valor de este indicador se debe utilizar los datos almacenados en los sistemas de información.

El tiempo medio entre paradas, es el lapso de tiempo programado que transcurre entre una parada con la próxima.

$$MTBF = \frac{\text{N}^\circ \text{ de Horas totales del periodo de tiempo analizado}}{\text{N}^\circ \text{ de averías}}$$

Ecuación 01

Tiempo medio de reparación (TMPR o MTTR). Es la proporción del reparto de los tiempos de reparación de la maquinaria de las diferentes partes de estas. Este indicador define la efectividad en reincorporar el equipo a las mejores condiciones de operación una vez que el equipo se encuentre fuera de servicio por falla, dentro de un ciclo de tiempo dado. El tiempo medio para reparar es un parámetro de mediciones asociados a la mantenibilidad del equipo, es decir, a la realización del mantenimiento. La Mantenibilidad, está referido a la probabilidad ante una problema grave, esta pueda reparada en un plazo mucho más corto al establecido.

La Mantenibilidad, es una medida vital para la predicción, la evaluación, el control y la ejecución de las tareas correctivas o proactivas de mantenimiento; permite mejorar los

tiempos y las frecuencias de ejecución de acciones de reparación o mantenimiento.” La confiabilidad se asocia a fallas, la mantenibilidad a reparaciones y la disponibilidad a la posibilidad de generar servicios o productos. (MORA, Gutierrez, 2009 pág. 152)

$$MTTR= \text{---} \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de Horas de paro por avería}}{\text{N}^{\circ} \text{ de averías}}$$

Ecuación 02

Teoría basada en la dimensión D2: Análisis de aceite.

Los aceites lubricante presentan un deterioro natural que van modificando sus propiedades físicas tales como la viscosidad, densidad, y las propiedades químicas, las que, de no contar con el estándar de los valores especificados por las normas internacionales o por el fabricante de los equipos, acortan la vida útil de las máquinas u/o equipos, siendo necesario llevar a cabo el análisis de lubricante. Esta es una simple técnica que realiza medidas de las propiedades químicas y físicas de la salud del lubricante, el grado de contaminación que presenta el mismo y el desgaste de la maquinaria; se mide con rigurosidad en los laboratorios de análisis, por ello es de gran importancia llevar a cabo un correcto método de muestreo de aceite. La confianza que nos proporciona los resultados de los análisis de aceite lubricante depende mucho del método de muestra de aceite que se toma a la maquinaria; una muestra de aceite puede perder por 2 motivos, la primera por la alteración de la muestra y la segunda la poca representatividad de la muestra o por no representar la realidad del sistema por no hacerse de un punto representativo para dar una muestra fiel a la capacidad total del compartimiento. Tenemos que considerar que las pruebas que se realizan para analizar los aceites se realizan a niveles microscópicos por lo que las pruebas pueden tornarse afectadas por factores imperceptibles para el ojo humano cuando son menores a las 40 micras, por lo que un contenedor de aceite aparentemente limpio al momento de tomar la muestra se podría afectar los resultados.

Las muestras de aceite deben ser realizadas o tomadas cuando los equipos trabajan a temperatura de operación con cargas, velocidades y presiones normales. Esto asegura que los materiales insolubles y el medio soluble como la tierra, contaminante y aditivo

y otros residuos se encuentren suspendidos uniformemente dentro del sistema donde se va a tomar la muestra. Existen dos métodos de toma de muestra de aceite.

Sonda de válvula de aceite.- Es un método que consiste en usar una sonda y un tubo de aproximadamente 15 cm, es recomendable usar una sonda diferente para los diferentes compartimientos y comenzar del sistema más limpio generalmente del sistema hidráulico siguiendo con el sistema de transmisión, dirección y por último el motor. Luego de esto, es recomendable desechar, debido a la posibilidad de estar contaminado con hollín, los aditivos que podrían haber quedado en el tubo y que podrían contaminar muestras posteriores. Se empieza por hacer funcionar el motor en vacío, luego se quita el guardapolvo de la válvula que se va a tomar la muestra, se inserta la sonda en la válvula, se recoge aproximadamente 100 mililitros de aceite para finalmente desecharlo debidamente. Este procedimiento sirve para limpiar la válvula, para obtener una muestra con mayor seguridad que represente el estado en que está el lubricante. Siguiendo con el procedimiento, se vuelve a introducir la sonda en la válvula y se llena hasta la tercera parte del frasco de muestra, es necesario evitar llenar toda la botella para no permitir la entrada de suciedad, luego de este procedimiento es necesario llenar los datos en la etiqueta debidamente; para asegurar un resultado exitoso de la muestra, se tiene que anotar toda la información necesaria como: El modelo, el número de serie, las horas del equipo como las horas del aceite en uso son muy importantes. También es preciso saber la clasificación del aceite así como el grado de viscosidad, contar con los registros de taller para ver cuando se realizó el último mantenimiento.

Método, extracción por vacío.- para realizar este método de muestra es necesario contar con una bomba de vacío puesto que este método es usado para sistemas de baja presión que no cuentan con válvula para tomar muestra rápida. Cuando se emplea este método siempre se tiene que utilizar una manguera de muestra nueva, debido a que se pueda contaminar con otros aceites y pueda ocasionar una muestra errada. Para realizar este procedimiento de toma de muestra se apaga el motor, se mide el tubo nuevo al tamaño de la varilla de medición de aceite, se corta el tubo de tal forma que llegue hasta la mitad del cárter que contiene el aceite, luego se inserta la manguera de muestra por la parte superior de la bomba de vacío y se ajusta la tuerca para que

retenga la manguera. La manguera de muestra debe de sobrepasar aproximadamente 4 cm del nivel de la cabeza de la bomba de vacío; seguido de esto, se jala el manguito de la bomba para crear un vacío manteniendo la bomba en posición recta, puesto que si se voltea se puede contaminar la bomba con el lubricante y sería necesario desarmarla y limpiarla correctamente antes de volver a tomar otras muestras para evitar tomar muestras erradas. Llenar las tres cuartas partes de la botella, sacar la manguera de muestra del sistema y desmontar el frasco de la bomba de vacío para luego ajustar la tapa en la botella, posteriormente etiquetar la muestra debidamente siguiendo pautas establecidas, lo mismo que el anterior método mencionado líneas arriba.

El análisis de aceite es un extenso campo que comprende cientos de pruebas individuales que proporcionan beneficios significativos mediante la valoración de una o más de las propiedades de un lubricante o máquina. Así como muchas de las pruebas proporcionan información sobre los aceites nuevos, en las que se evalúan las propiedades físicas, químicas o de lubricación, para el control de calidad, desarrollo de productos y clasificación de desempeño de productos, el análisis de aceite en uso, desde nuestro enfoque, difiere substancialmente del análisis del lubricante nuevo. El objetivo del análisis de aceite en uso es evaluar la condición de los aceites que están en servicio y evaluar la condición de las máquinas que son lubricadas. En aplicaciones de monitoreo de condición de maquinaria, el lubricante sirve simplemente como el vehículo de información que es generado en la máquina en la forma de contaminación o partículas de desgaste. “En el análisis de aceite en uso, se realizan regularmente un pequeño número de pruebas para soportar decisiones importantes acerca de la máquina y del lubricante”. (TROYER y FITCH, 2004 pág. 41)

Análisis para ver la condición del aceite se puede determinar por medio de un espectrofotómetro infrarrojo a esta prueba se le conoce también como FT-IR (fourier Transform Infrared Analysis.) la cual se encarga de identificar y cuantificar las materias orgánicas cuando miden su absorción a la luz infrarroja, longitud de onda específica por cada material orgánico, puesto que este análisis infrarrojo (IR) hace las comparaciones de muestras tanto del lubricante en uso como del lubricante nuevo. Este procedimiento se usa para los aceites de todos los compartimentos donde mide la

cantidad de nitración, hollín, azufre y oxidación pudiendo detectar incluso contaminación con combustible, glicol o agua.

El aceite lubricante experimenta con el tiempo de uso una pérdida en la capacidad de desempeño, de forma gradual, de las funciones para la cual fue diseñada. A esto se le conoce como degradación, la cual surge debido a las altas temperaturas, ambientes corrosivos, las fuertes velocidades de cizallamiento a las que son sometidas, a lo que se suma tanto la contaminación interna como externa. Todo esto conlleva a ir produciendo una modificación en las propiedades físico-químicas del aceite lubricante. Es muy importante realizar un estudio detallado de las propiedades del aceite, evaluar sus características para determinar el cambio de este elemento con bases sólidas en los estándares permitidos para alargar el tiempo de cambio de los mismos y esto conllevaría a un ahorro sustancial por la disponibilidad de los equipos.

La viscosidad es una de las características más relevantes del aceite, desde el punto de vista de la lubricación y para casi todas las aplicaciones prácticas, ya que esta determina su capacidad física para mantener la lubricación, fijando sus pérdidas por fricción, rendimiento mecánico, la capacidad de carga y el gasto de fluido para unas condiciones determinadas de velocidad, temperatura, carga y dimensiones del elemento que se calcula, la viscosidad es la resistencia o frotamiento interno existente entre las moléculas del fluido al deslizarse entre sí. Los aceites minerales y las mezclas de aceite minerales son fluidos newtonianos, cumpliendo la ley que enunció Newton, donde el esfuerzo cortante es directamente proporcional al gradiente de la velocidad obteniéndose el valor de la viscosidad absoluta o dinámica. (TORMOS, 2005 pág. 81)

La viscosidad del aceite perjudica el funcionamiento del equipo, por una pérdida de fricción y el grosor de la película de aceite en los cojinetes en el sistema de motor. Por lo tanto, su medición en la tendencia de los análisis de aceite es muy crítica; aun los cambios mínimos en la viscosidad pueden afectar el desempeño adversamente por el posible contacto de metal-metal produciendo un desgaste acelerado. Un cambio en la viscosidad del aceite es indicio de la presencia de otros problemas como la presencia del hollín en el sistema por la combustión. La entrada de combustible es un factor que afecta rápidamente la viscosidad, así como también los agentes térmicos y oxidantes en el sistema aceleran la degradación del aceite

Otras de las características que se muestra en la degradación del aceite se dan en la acidez-basicidad del lubricante. El nivel de acidez o alcalinidad se da por el número respectivo de neutralización, la cual define la medida de álcali o ácido dado en miligramos de hidróxido de potasio (KOH) que es necesario para llegar a neutralizar la capacidad del ácido o base de un gramo de la muestra, en otras condiciones normales. La acidez o la alcalinidad de un aceite que está nuevo nos brinda datos del nivel de refinación o aditivos, en tanto un aceite usado nos brinda datos del grado de contaminación y principalmente del nivel de degradación. El monitoreo de la acidez nos ayuda para realizar la evaluación del cambio químico experimentado por el lubricante por consecuencia de su oxidación puesto que en el caso de motores de combustión, la contaminación por los ácidos procedentes de la combustión. Sin embargo, en los aceites detergentes su interpretación no es sencilla, puesto que existen aditivos que contienen metales que reaccionan con el hidróxido de potasio, pudiendo obtenerse una mala medida de acidez es el índice de acidez total, comúnmente expresado como TAN (Total Acid Number), siendo la cantidad de base expresada en mg de KOH necesaria para contrarrestar la cantidad de ácidos presente en un gramo de lubricante, comprendiendo fuertes y débiles. En el caso de motores de combustión interna, el interés de los parámetros indicativos de la acidez es relativo y suele monitorizarse en aquellos motores que utilizan combustible con un contenido de azufre importante y como complemento de la medida del nivel de basicidad. En la mayoría de las aplicaciones se monitoriza el número de la neutralización que se compara con el valor original del aceite para comprobar su grado de degradación. En el motor de combustión interna, se monitoriza la reserva alcalina de los aceites, la cual se utiliza para neutralizar los ácidos originados por la combustión y oxidación de lubricante a temperaturas altas. El parámetro utilizado es el TBN (Total Base Number) o índice de basicidad total.

Los detergentes dispersantes son aditivos y su principal misión es la de no permitir que se formen los depósitos en las partes con mayor temperatura del motor, particularmente en el pistón y los alojamientos de los segmentos. Estos aditivos además suelen contener elementos que actúan contra la oxidación del aceite y el efecto de la corrosión sobre todo de los cojinetes. Particularmente, los sulfonatos tienen la habilidad de mantener la materia carbonosa y otros contaminantes dispersos en el aceite. La dispersividad es la propiedad del aceite destinada a dispersar los lodos

húmedos originados en los motores de combustión interna; estos lodos suelen estar constituidos por mezcla compleja de productos parcialmente quemados de la combustión: carbón, óxidos, agua. La detergencia y la dispersividad se pueden reducir con la degradación y consumo de aditivos dados y aumentan con la reposición con aceite nuevo.

La oxidación y nitración del aceite son, junto con la viscosidad, los parámetros básicos para el control del estado de los aceites utilizados. El aceite, con el uso, va degradándose y generando sub productos por la descomposición como acetonas, ácidos carboxílicos o ésteres, la cual contiene conjuntos carbólicos. Los ácidos carboxílicos ayudan a la acidificación del lubricante por ende se consumen de la reserva de alcalina. El efecto que causa de la oxidación prolongada del lubricante es una posible corrosión un mayor grado de la viscosidad del mismo. Por otro lado, la nitración aparecerá en el lubricante por efecto del paso del cárter de los gases producido por la combustión que viene de los cilindros. La nitración está dada por la reacción del lubricante con el óxido de nitrógeno (NO) producido por el proceso de oxidación del nitrógeno atmosférico mientras se da el proceso de la combustión, El proceso de la nitración produce un una mayor viscosidad del lubricante formando lacas y barnices. La nitración es un parámetro que permite estimar el estado de la degradación del lubricante. A medida que el aceite es usado en una máquina, se realiza el proceso de oxidación, que normalmente empieza con el agotamiento de los aditivos antioxidantes, los aditivos se agotarán casi en una forma lineal, lo que normalmente se conoce como el periodo de inducción. Cuando casi en su totalidad los inhibidores de oxidación se han agotado, se alcanza el punto de quiebre del lubricante, momento en el que este ha perdido su primera línea de defensa contra la oxidación.

La sulfatación en el aceite lubricante se realiza en motores en el proceso de combustión. Cuando el azufre del combustible se llega a oxidar y se mezcla con agua, conforma ácidos con base azufre puesto que estos ácidos pasan entre los espacios de anillos y camisas y se van al depósito de aceite en donde se mezclan con los aditivos que se encuentran presentes en el aceite, especialmente con los detergentes donde forman sales como sulfatos de calcio, bario o magnesio. Si el azufre del combustible se mantiene constante, la sulfatación debería incrementarse continuamente con las

horas de uso hasta que el lubricante alcance su vida útil final, hasta que todo su aditivo básico se ha dilapidado para la formación de estas sales, quienes están relacionados con el análisis de TBN ya habrán hecho la correlación entre la definición de sulfatación y el análisis de TBN, pues en teoría ambos análisis estarían midiendo parámetros semejantes (el análisis de TBN calcula el aditivo básico sobrante en el aceite para contrarrestar los ácidos). Es por esto que ciertos laboratorios se cercioran que un análisis sea reemplazable por otro.

El hollín es el desecho producto de la combustión, que se encuentra inmerso en todos los aceites de motor diésel durante su funcionamiento. Esta ingresa al motor generalmente por el paso de gases al cárter (blow-by) durante el funcionamiento del equipo. El hollín es normal y esperado dentro de ciertos números de horas o kilómetros de recorrido del motor; si la cantidad de concentración de hollín es anormal, es un síntoma que indica que hay un problema en el motor y es conveniente que se realice el mantenimiento de cambio de aceite al componente. Una mala combustión está relacionada directamente con la cantidad de generación de hollín, también un tiempo incorrecto tiempo de encendido. La saturación de los filtros y una excesiva holgura entre los anillos y el cilindro son causantes de una excesiva concentración de hollín en el aceite.

Los motores modernos de combustión interna de bajas emisiones tienen elevadas presiones de inyección debido a esto crece la sensibilidad hacia un mayor el desgaste abrasivo (por ejemplo, por hollín) entre eje y los cojinetes de los balancines, conllevando a una rotura. Los nuevos equipos con recirculación de gases de escape (EGR) aumentan la cantidad de hollín, generando un alto potencial abrasivo. El hollín y el lodo consignados en el motor o separados del aceite en algunas de las siguientes áreas, culata, cárter de aceite, cubierta de válvula, caja de balancines, comprometen la confiabilidad y productividad de los motores. El hollín bruñe la película anti-desgaste en condiciones de aceite, tales como la encontrada en la zona del cojinete y árbol de levas. El incremento de los depósitos de carbón detrás de los anillos y dentro de sus holguras por aumento en los niveles de hollín y lodos causa un desgaste precoz de los anillos y de las paredes de los cilindros, llegando a romper los anillos entre el arranque a bajas temperaturas.

El índice PQ, cuantificador de partículas, es una herramienta rápida y un control eficaz de costos para las partículas ferrosas en los informes de rutina de los análisis de aceite. Al monitorear el nivel de las partículas ferrosas (hierro) durante un periodo de tiempo, se puede predecir el desgaste acelerado que no puede ser detectado a corto tiempo, utilizando herramientas de medición en el análisis de espectroquímica.

Esto es porque la mayoría de los métodos de análisis de espectroquímica estándar para metales de desgaste pueden estar limitados por el tamaño de partículas (8 – 10 micras como máximo). Los datos IPQ también pueden determinar la concentración global del tamaño de partículas de hierro; la falta de hierro en los resultados de la prueba y un alto IPQ indicaría que las partículas totales son de gran tamaño (<20 micras). Un alto contenido de hierro en resultado de la prueba y un IPQ bajo, indicaría que las partículas en general son pequeñas (< 10 micras). Si el hierro y los resultados de IPQ están a la misma concentración relativamente, por lo general indica que en el análisis, con resultados de prueba con bajo hierro y un alto IPQ, que las partículas son grandes en general, también puede predecir el desgaste o el desgaste catastrófico inminente acelerado, especialmente si hay un repunte repentino en las tendencias.

Código de contaminación sólida ISO 4406.- La organización internacional de estándares (ISO) desarrolló un código para determinar la contaminación sólida en los lubricantes. Este código de nivel de contaminación en el aceite indica la cantidad de sólidos en suspensión que se encuentran en dicho elemento, sin importar que sean metálicos y no metálicos. La gran parte de las veces se tiene ciertos metas a alcanzar, lo cual permite obtener un nivel de confianza de la toma en la muestra de aceite para ser analizado en el laboratorio satisfacen los objetivos determinados. El código de contaminación solida ISO es una de las principales herramienta útil para dar alarmas y proponer metas con el fin ayudar y alcanzar metas de limpieza en cualquier tipo sistema. Este componente sirve para ser utilizado como un indicador de desempeño clave (KPI), el código ISO 4406 juega un papel secundario cuando tratamos de evaluar los resultados de análisis que contiene un pequeña cantidad de lubricante, en el existen diversos tipos de contadores de partícula en el mercado. Todas estas muestras poseen un código ISO que consta de 3 dígitos, los cuales indican el tamaño de partícula de 4, 6, 14 micrones por ppm por 1 mililitro de aceite. Como muestra la figura.

| | | | Mas de (part/ml) | Hasta e inclusive(part/ml) | Codigo ISO |
|--|--|--|------------------|----------------------------|------------|
| | | | 80,000 | 160000 | 24 |
| | | | 40,000 | 80000 | 23 |
| | | | 20,000 | 40000 | 22 |
| | | | 10,000 | 20000 | 21 |
| | | | 5,000 | 10000 | 20 |
| | | | 2,500 | 5000 | 19 |
| | | | 1,300 | 2500 | 18 |
| | | | 640 | 1300 | 17 |
| | | | 320 | 640 | 16 |
| | | | 160 | 320 | 15 |
| | | | 80 | 160 | 14 |
| | | | 40 | 80 | 13 |
| | | | 20 | 40 | 12 |
| | | | 10 | 20 | 11 |
| | | | 5 | 10 | 10 |
| | | | 2.5 | 5 | 9 |
| | | | 1.3 | 2.5 | 8 |

| Tamaño | Particulas /ml | Codigo ISO |
|---------------|----------------|------------|
| >4 micrones | 9.721 | 20 |
| >6 micrones | 1.254 | 17 |
| >10 micrones | 326 | |
| >14 micrones | 73 | 13 |
| >21 micrones | 12 | |
| >38 micrones | 5 | |
| >70 micrones | 0 | |
| >100 micrones | 0 | |

Fuente: Organización internacional de estandarización.

Figura: Código de contaminación solida ISO 4406.

Teoría basada en la dimensión D3: Impacto total de costos.

Las ventajas que proporciona un programa de análisis de lubricante incorpora la optimización de costos de mantenimiento, y esto, a través de la detención de las fallas en sus etapas tempranas, representa un ahorro económico considerable, pues se previenen reparaciones costosas o pérdidas totales en los equipos. Esto controla la propagación de daños a otros componentes del equipo, incremento su disponibilidad: se evita deterioro mayor sorpresivo y las consecuentes paradas no programadas. Al extender los periodos de cambio del aceite: Se reduce tiempo de parada y se ahorra en mano de obra y en materiales. Aumento la vida útil de duración del equipo: Los beneficios que tiene el programa de análisis de aceite son mejorar en el nivel de limpieza y en las propiedades físicas del aceite. Se proporciona mayor atención al nivel de contaminantes de manera que se optimice el funcionamiento de los sistemas de filtrado y se mejore la limpieza en el entorno del equipo. Toda vez que el ingreso de contaminantes externos es una de las principales causas de desgaste, aceites más limpios producen mayores períodos de vida útil de los equipos, mejorando el impacto total por dicha aplicación.

Actualmente la mayoría de las organizaciones se preocupan por adoptar estrategias de mejora de procesos como la calidad y el mejoramiento continuo, y el aprovechamiento de

sus beneficios en la optimización de recursos le permite a dichas organizaciones alcanzar sus metas; además, el aumento de la competencia mundial en fabricación también lleva a muchas organizaciones a buscar maneras de obtener ventajas con respecto a costos, calidad y tiempo de entrega; esto ha traído cada vez más atención sobre la gestión del mantenimiento por el papel que juega en contribuir a la productividad general de una organización. (ARDILLA , y otros, 2016 pág. 16)

Variable Y: Costos operativos por disponibilidad

Teoría basada en la dimensión d1: Costos operativos por disponibilidad inicial.

La Disponibilidad es la probabilidad de un sistema de estar en condiciones de funcionamiento en el tiempo t. El sistema no debe haber tenido fallos, o bien, en caso de haberlos sufrido, debe haber sido reparado en un tiempo menor que el máximo permitido para su mantenimiento. De este modo, si se considera un tiempo muy largo para el sistema, se tiene la disponibilidad en régimen permanente La disponibilidad se define como la probabilidad de que el equipo funcione correctamente en el momento que sea requerido luego del empezar su funcionamiento, cuando se usa de bajo condiciones constante, en el cual el tiempo total considerado contiene el tiempo de funcionamiento, el tiempo eficaz de reparación, el tiempo de parada, el tiempo para el manteniendo preventivo. (MORA, Gutierrez, 2009 pág. 67)

Los costos del equipo, la hora-hombre perdida, la pérdida de producción y tiempo de reparación se contrastarán con el costo de mantenimiento preventivo para decidir qué equipos requieren un determinado tipo de mantenimiento. La implantación y operación de un determinado programa de mantenimiento incrementara los costos totales, pero después de un tiempo indudablemente el costo de mantenimiento disminuirá del horizonte inicial. (D'ALESSIO, 2004 pág. 437)

Materia prima es el componente u/o material que se utiliza para cada unidad de producto, su dispendio se conserva proporcional con el número de los equipos. Del lado de los costos, se estima materia prima a todo elemento incorporado en el producto más los desperdicios técnicos provocados por el proceso.

La Mano de obra directa es el esfuerzo humano superpuesto directamente sobre el artículo. Ejemplo. El operador que labora en una línea de ensamble es mano de obra directa, el operario de calidad que verifica ese ese grupo al final de la línea no es mano de obra directa.

Los factores conforman el costo base o costo primo de un mantenimiento. El costo de la materia prima es obligación de la división de compras de la empresa, entretanto el costo de mano de obra es deber del área de recursos humanos, a la vez, el adecuado empleo de la mano de obra es obligación del encargado de la gestión de mantenimiento. (ANTÓN y GIOVANNINI, 2006 pág. 14)

Teoría basada en la dimensión d2: Costos operativos por disponibilidad final.

La competencia y productividad son cualidades en donde están inmersas las empresas e industrias, estas están obligadas a aumentar su nivel de capacidad productiva para lograr minimizar los costos operativos. La propiedad y la disponibilidad tienen un rol importante y determinante para lograr el éxito de todo negocio. La disponibilidad es un cometido que nos permite tener el porcentaje del tiempo total que se espera que un equipo o maquinaria que esté disponible para cumplir el trabajo para la cual está encomendado, a través de un estudio de diversos factores que intervienen en la disponibilidad como el TPPF y el TPPR, es factible realizar la evaluación para obtener un incremento necesario de la disponibilidad, la cual significa una evidente investigación para lograr el aumento en la confiabilidad y disponibilidad de todos los equipos en planta y equipos industriales alargando la vida útil de estas para así controlar constantemente los costos. Para obtener una oportunidad de mejora se tiene que realizar una automatización con la posibilidad de moldear algunos procedimientos que cada día se torna cada vez más complejos e interdependientes. El encargado de mantenimiento debe sustituir los antiguos valores por paradigmas de excelencia del nivel más alto. Las prácticas de ingeniería de confiabilidad, como la gestión de la disponibilidad, la gestión de activos y la evaluación de los indicadores, así como la disminución de los costos de mantenimiento forman los puntos fundamentales de la empresa enfocada a consolidar la calidad de gestión de la organización de mantenimiento.

Teoría basada en la dimensión d3: Impacto

La adopción de las estrategias de mantenimiento predictivo, especialmente para equipos de alta prioridad, ayuda a menudo a identificar problemas de fallas, de manera prematura y antes que estos afecten la producción. Los beneficios incluyen la

reducción significativa del tiempo muerto provocado por fallas del equipo, así como el hecho de que evitan los costos más caros de reparación catastróficos y que son inesperadas. El mantenimiento predictivo, también permite reducir la necesidad de programar el tiempo muerto para dar servicio preventivo, lo que garantiza una mayor disponibilidad; en tal sentido, el tiempo muerto no programado tiene altos costos fijos y variables, siendo estos uno de los mayores impactos como producto de las pérdidas de ingreso. El costo no es solo la pérdida del margen de ganancia debido a la pérdida de ingreso, sino también el valor del impacto total perdido menos los costos directos de producción, evitando tales como materiales o energía. Otro de los impactos a considerarse es el tiempo muerto no programado, representado por los costos ambientales por producto de desperdicio o del que esta fuera de las especificaciones, aunándose en estos el incumplimiento regulatorio y de seguridad.

La relación entre contaminantes en el aceite, disponibilidad de maquinaria y costos operativos, se señalan mediante la importancia que tiene el análisis de los lubricantes, al momento de realizar estrategias, las cuales permitan apuntar a un mantenimiento predictivo mediante el cual se enfoca los síntomas de la falla. Esta se identifica mediante distintas técnicas tales como el análisis de lubricantes, el análisis de vibraciones y con los ensayos no destructivos, teniendo como mayor beneficio el uso de esta herramienta al lograr una alerta temprana que permite planificar una parada con el fin de corregir el problema suscitado. Se busca alcanzar de esta forma la mayor disponibilidad posible de una máquina y a su vez la disminución de la cantidad de fallas catastróficas (ALTMANN, 2005).

Según ALTMANN el aceite es el encargado de transportar y de actuar como contenedor de mucha información referente al grado de contaminantes, así como tener en conocimiento de la cantidad de partículas de desgaste, al tratarse de una técnica simple mediante la cual se realizaran algunas medidas de las propiedades químicas y físicas. Esto permite proporcionar información respecto a la vida útil del aceite lubricante, así como la contaminación y el desgaste sufrido por la maquinaria, permitiendo no solo conocer el estado de desgaste, sino también ayudar a generar un plan de lubricación que se base en la condición actual de la maquinaria (ALTMANN, 2005).

Referente a estrategias predictivas SÁNCHEZ (2017) nos dice:

[...] buscan anticiparse a la ocurrencia de las fallas mediante técnicas de nivel superior en cuanto a tecnología se refiere, es por eso que se considera como un inversión de alto costo, pero lo que se busca con esta investigación es proporcionar diferentes tipos de técnicas para la implementación y poder realizar una planeación para su implementación, partiendo de la premisa de evitar futuros fallos que llevaran a generación de perimidas mayores a la inversión de un mantenimiento predictivo. (p.23).

Así mismo GONZALES (2005) nos dice:

[...] tiene que tener presente la relación costo-beneficio debido a la implementación de técnicas no destructivas e invasivas, para determinar el estado de algunos equipos y subconjunto anticipándose al fallo. Son técnicas implementadas con equipos especializados y que tienen que garantizar la fiabilidad debido a que los objetivos mismos del mantenimiento son de asegurar mayor disponibilidad y fiabilidad, mejorar la seguridad, mejorar la calidad de los productos y servicios, no deteriorar le medio ambiente, generar una mayor duración del equipo y por supuesto optimizar los recursos, aumentar las utilidades de la organización; es por todo esto que la instrumentación requerida para poder implementar las diferentes técnicas del mantenimiento predictivo se consideran más costosas, pero esto mismo es lo que permite garantizar que esta aplicación sea de manera confiable y exitosa. (p.142).

Así mismo, el extender los intervalos de cambio de aceite tanto en las máquinas como en los motores fuera de camino puede convertirse en un gran reto, debido al ingreso de tierra y las fugas de refrigerante, las cuales ocurren con constante frecuencia, siendo en ocasiones los intervalos de cambio los encargados de establecer la reducción de daño que causan dichos problemas. Al reducir los costos asociados con intervalos de cambio de aceite más largos, se debe estar en equilibrio con el riesgo de acortar la vida del motor y el costo, los cuales se encuentran asociados con una menor confiabilidad. Si los intervalos de drenado se extienden demasiado, estos traerán como consecuencia posibles beneficios, existiendo variedad de costos ocultos en el cambio de aceite y filtro, los que influyen en distintas empresas al realizar la búsqueda de enfoques más eficientes con el fin de mantener el aceite saludable y confiable. (HOFFMAN, 2013)

Como explica Hoffman, algunos costos a los que se puede ver expuesto por el cambio de aceite son costos debido a la pérdida de producción, costos por el papeleo debido a programas de mantenimientos, la recopilación de datos, la planeación, la gestión de inventarios, las ordenes de trabajo, la documentación, etc., los costos debido a la mano de obra y la supervisión, los costos debido al manejo y almacenamientos, compra y aseguramientos de calidad, las cuales deben tomarse en cuenta para los costos adicionales asociados con la adquisición de los lubricantes, como el almacenamiento y manejo del

lubricante, el filtrado de aceite nuevo para cumplir con las especificaciones de limpieza, el análisis de las muestras de aceite, transporte, disposición, aspectos ambientales, etc. (HOFFMAN, 2013).

En el caso de nuestro estudio, el impacto será evaluado respecto a la variación del diagnóstico de las disponibilidades inicial y final de los Montacargas Caterpillar P33000, de tal modo se pueda evaluar y determinar si el mantenimiento predictivo por análisis de aceite es una estrategia adecuada con la cual se permita optimizar los costos operativos de este tipo de maquinaria en los procesos siderúrgicos.

1.4 Formulación del problema

1.4.1 Problema general.

¿De qué manera se optimizará los costos operativos por disponibilidad, aplicando el mantenimiento predictivo por análisis de aceite, de los Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018?

1.4.1.1 Problemas específicos

- ¿De qué manera el diagnóstico de la disponibilidad inicial, optimizará los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A. Chimbote, 2018?
- ¿De qué manera la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, optimizará los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018?
- ¿De qué manera la evaluación del impacto total respecto a la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, optimizará los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A. 2018?

1.5 Justificación

La presente investigación es de gran importancia para la empresa respecto de los costos operativos, ya que la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite permitirá reducir el número de paradas para cambios de aceite de los Montacargas Caterpillar P33000. Esto incrementa la disponibilidad del equipo y optimiza los costos que incurren en ella. Asimismo, permitirá determinar un diagnóstico de las características del aceite lubricante, con el cual se logrará incrementar la disponibilidad, evitando los tiempos muertos por traslados y paradas en los talleres. Del mismo modo, permitirá reducir el consumo de este lubricante, por el adecuado uso dentro de su vida útil, aspecto que se logrará determinar a través del diagnóstico de los tiempos medios entre fallas (TMPF).

La presente investigación también ayudará a dejar un antecedente a futuras investigaciones relacionadas con la aplicación del mantenimiento preventivo en la industria siderúrgica, donde los costos de producción se hacen muy elevados, estableciendo un plan de mantenimiento preventivo que logre demostrar la funcionalidad de dicho mantenimiento.

A nivel metodológico permitirá aplicar procedimentalmente todas las etapas a fin de determinar un diagnóstico de disponibilidad, verificando cuáles son los motivos de las paradas, calculando para ello los indicadores de la disponibilidad, entre ellos a los tiempos para fallas, los tiempos para reparación y los tiempos medio para fallas (TMPF). Con estos indicadores propondremos la estrategia de mantenimiento para luego ser comparados con los indicadores antes mencionados a fin de determinar la mejora de la propuesta del estudio.

La justificación técnica del mantenimiento predictivo es evidente porque se comparan las actuaciones que se realizan cuando se efectúa un mantenimiento preventivo o correctivo en la maquinaria pesada como es el caso de los Montacargas, las que realizamos cuando tuvimos monitorizando nuestros equipos, realizando la medición de los parámetros..

Finalmente es ayudará a optimizar no solo la disponibilidad de los Montacargas Caterpillar P33000 de la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A, sino también ayudará a eliminar las paradas. Como consecuencia de esta paralización se evitará paradas de

procesos anteriores y procesos posteriores, generando reducir costos a la empresa siderúrgica, además de mejorar sus utilidades. Todo ello redundando en beneficios para los trabajadores de la empresa y de la ciudad de Chimbote.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

Hi: El mantenimiento predictivo por análisis de aceite optimiza los costos operativos por disponibilidad de los Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A. Chimbote, 2018.

1.6.1.1 Hipótesis específicas

- El diagnóstico la disponibilidad inicial optimiza los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018.
- La aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, optimiza los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018.
- La evaluación del impacto total respecto a la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, optimiza los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. 2018.

1.7 Objetivos

1.7.1 General

- Optimizar los costos operativos por disponibilidad, aplicando el mantenimiento predictivo por análisis de aceite, de los Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018.

1.7.1.1 Específicos

- Diagnosticar la disponibilidad inicial para optimizar costos operativos por disponibilidad de montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018.
- Aplicar el mantenimiento predictivo por análisis de aceite para optimizar costos operativos por disponibilidad de montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018.
- Evaluar el impacto total respecto a la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite para optimizar costos operativos por disponibilidad de los montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de la investigación.

El tipo de estudio de esta tesis es Pre- Experimental, debido a que se deseó conocer la influencia que existe entre el mantenimiento predictivo por análisis de aceite y los costos operativos por disponibilidad en los montacargas Caterpillar P33000 la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A.

$$O1 \rightarrow E \rightarrow O2$$

Dónde:

E: Mantenimiento predictivo (Estrategia por análisis de aceite)

O1: Costos operativos por disponibilidad inicial.

O2: Costos operativos por disponibilidad final.

Transversal:

El periodo de tiempo del recojo de información fue a lo largo del año 2017 y 2018.

2.2 Variables, Operacionalización.

| VARIABLES | | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | | DIMENSIONES | INDICADORES | FORMULA | ESC. MEDICIÓN |
|----------------------|---|---|---|-----|---|---|--|---------------|
| V. Independiente (X) | MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE ACEITE | El análisis del aceite lubricante usado en los motores de combustión interna es una de las posibles herramientas para la aplicación del llamado mantenimiento según condición o estado o mantenimiento predictivo; esto es, el mantenimiento realizado en base al deterioro significativo de un equipo señalado por la variación de un parámetro controlado e indicativo del funcionamiento o rendimiento de dicho equipo. Resulta ampliamente conocido y contrastado la ventaja que ofrece este tipo de mantenimiento correctivo, por su mayor eficiencia y flexibilidad. Cuando haya indicación de deterioro o posible fallo del equipo, se puede programar la parada del mismo con anterioridad al fallo, ello supone la programación de las paradas de forma que afecten lo mínimo a la producción. TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis de aceite usado. 2005. 351pp. ISBN: 8429147020 | El mantenimiento predictivo por análisis de aceite es una de las estrategias que hoy en día se aplica respecto al mantenimiento en maquinaria pesada, es la referida al Análisis de aceites o lubricantes, esta a fin de poder determinar los costos operativos de las maquinarias; siendo así, es necesario evaluar diferentes variables que permitan determinar y establecer de manera adecuada y cuantitativa esta estrategia, utilizando para estas los Diagnósticos de las disponibilidades inherentes en las condiciones iniciales y finales, con las cuales permitan establecer el Impacto total de estas en los costos operacionales . (INTI y ALVAREZ. 2018) | d1: | Diagnóstico de disponibilidad y costos | * MTBF * MTTR * Costos Operativos | $D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$ | Razón |
| | | | | d2: | Análisis de aceite | * Hollin * PQI * Sólidos en suspensión * Oxidación y nitración * Sulfatación | | Nominal |
| | | | | d3: | Impacto Total de costos | * Impacto Total | $Impacto\ Total = \frac{D_f - D_i}{D_i} \times 100\%$ | Razón |
| V. Dependiente (Y) | COSTOS OPERATIVOS POR DISPONIBILIDAD | Los costos del equipo, la hora-hombre perdida, la pérdida de producción y tiempo de reparación se contrastaran con el costo de mantenimiento preventivo para decidir que equipos requieren un determinado tipo de mantenimiento. La implantación y operación de un determinado programa de mantenimiento incrementara los costos totales, pero después de un tiempo indudablemente el costo de mantenimiento disminuirá del horizonte inicial. ANTON, Fernando y GIOVANNINI, Oscar. Costos industriales. 2006. 110pp. ISBN: 9879406030 La disponibilidad se define como la probabilidad de que el equipo funcione correctamente en el momento que sea requerido luego del empezar su funcionamiento, cuando se usa de bajo condiciones constante, en el cual el tiempo total considerado contiene el tiempo de funcionamiento, el tiempo eficaz de reparación, el tiempo de parada, el tiempo para el mantenimiento preventivo. MORA, Luis. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. 2009. 528pp. ISBN: 9789586827690 | Los costos operativos por disponibilidad se determina a través de la Disponibilidad inicial y final respecto a los costos del lubricante, costos de las horas extras del personal encargado del remplazo de este, como de los Costos operativos de la maquinaria, permiten determinar la optimización de los costos a través del Impacto de las mismas, considerando que los tiempos medios de operación entre fallas y los tiempos de reparación de los equipos referidos a los cambios del lubricante, determinan la disponibilidad de los equipos para su utilización y explotación para los fines en que se requieren ser utilizados. (INTI y ALVAREZ. 2018) | a1: | Costos Operativos por Disponibilidad Inicial. | *Costos del lubricante *Costos de horas extras hombre. *Costos Operativos de maquinaria | $Costos\ Operativos\ i = \sum_{i=1}^{i=n} Costo\ i$ | Razón |
| | | | | a2: | Costos Operativos por Disponibilidad Final. | *Costos del lubricante *Costos de horas extras hombre. *Costos Operativos de maquinaria | $Costos\ Operativos\ f = \sum_{f=1}^{f=n} Costo\ f$ | Razón |
| | | | | a3: | Impacto | *Impacto Total sobre los Costos. | $Impacto\ Total = \frac{Costos\ por\ D_f - Costos\ por\ D_i}{Costos\ por\ D_i} \times 100\%$ | Razón |

Figura 1. Matriz de Operacionalización.

Fuente: Elaboración Propia.

2.3 Población y muestra

Población:

Fue representada por las unidades existentes en número de 4 equipos montacargas Caterpillar modelo P33000, de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A.

Muestra

De manera conveniente, no estadística, se tomó a una unidad de montacargas Caterpillar P33000 como el objeto de estudio, en nuestra investigación, realizada en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A.

Muestreo

No probabilístico.

2.4 Técnicas e instrumentos de validación de datos, validez y confiabilidad.

Instrumentos

- **Formato de especificaciones técnicas del equipo:** Se refiere al formato indicado en el Anexo, donde se especificó de manera detallada las características y especificaciones técnicas del equipo, objeto de estudio, siendo estas referidas a sus características operativas, físicas, datos de proveedor, marca, etc. Este formato se puede apreciar en el Anexo 8.
- **Historial del equipo:** Es uno de los documentos más relevantes de la gestión de mantenimiento donde quedan registradas las acciones realizadas a los equipos (edim), tanto el mantenimiento preventivo como correctivo y mantenimientos programados inicialmente, cuando el equipo llega el primer día para la operación a la empresa y se termina cuando esta llega al final de su vida útil y desaparece de los inventarios de los activos fijos de la empresa. Por otro lado, si el equipo es transferido hacia otra área de la empresa se debe transferir con su historial. La gran parte de los datos que contiene el historial son de las órdenes de trabajo de mantenimiento; también se puede añadir datos de forma directa. El historial del equipo es la fuente de información

básica para todo el estudio acerca del comportamiento del equipo, aun es más importante para el estudio de análisis de falla, tanto cuantitativo como cualitativo; en tal sentido, fue necesario dividir el historial de fallas y el de mantenimiento.

Estos datos fueron registrados de forma sucesiva por fechas y eventos o intervenciones de mantenimiento realizado; para efectuar los análisis estadísticos, fue necesario realizar el ingreso por número correlativo para cada orden de trabajo, tal como se puede apreciar en el Anexo 10.

- **Control de operaciones:** formato en el cual se controló los tiempos de operación entre las paradas de los equipos, así como los tiempos que el equipo está en su periodo de mantenimiento en los talleres. Este instrumento fue muy importante ya que a través de este se pudo determinar los indicadores de MTBF, MTTR, números de fallas, impacto etc. El formato se puede apreciar en el Anexo 11.
- **Costos operacionales:** Formato donde se registraron los costos de mantenimiento referido a los mantenimientos, y a los costos de mano de obra, repuestos, insumos utilizados y otros. Instrumento con el cual se registró el antes y después de la aplicación de la estrategia del mantenimiento predictivo. El formato se puede apreciar en el Anexo 12.
- **Programa de mantenimiento predictivo:** Es el instrumento en donde se planificó la ejecución y toma de datos de las inspecciones predictivas de mantenimiento, en este caso mantenimiento predictivo por análisis de aceite de los montacargas Caterpillar P33000. (Anexo 13)
- **Registro de control de análisis de aceite:** Instrumento donde se registró los resultados de los análisis de aceite y estos de manera comparativa con los límites máximos o mínimos proporcionados por las normas que se tomó con base o referencia. (Anexo 14)

Validación y confiabilidad del instrumento

Los instrumentos de recolección de datos que se aplicaron para esta investigación fueron los diferentes formatos que sirvieron para medir cómo estaba funcionando el mantenimiento, para que, posterior a la aplicación del mantenimiento, conocer la factibilidad de esta aplicación. Estos instrumentos fueron validados por juicio de expertos conocedores del tema de mantenimiento predictivo por análisis de aceite y costos operativos por disponibilidad.

2.5 Método de análisis de datos

Método de investigación.

El presente proyecto de investigación se basó en un método Inductivo. Para HERNANDEZ, Sampieri. R., et al (2006, p.107) “el método inductivo se aplica en los principios descubiertos a casos particulares, a partir de un enlace de juicios”. En esta investigación usamos el método inductivo, a través del que se procedieron y analizaron los datos obtenidos de las órdenes de trabajo y análisis e interpretación de la información de los instrumentos; es decir, en este proceso se comenzó por los datos y finalizó cuando llegó a una teoría, por lo tanto, se puede decir que ascendió de lo particular a lo general.

2.6 Aspectos éticos

Esta investigación sobre el mantenimiento predictivo por análisis de aceite y costos operativos por disponibilidad tiene como principio fundamental los valores éticos, los cuales se reflejaron durante el procesamiento de la información recolectada. De esta manera se manifiesta la confiabilidad y transparencia. Así se certifica la autenticidad de los resultados alcanzados.

La honestidad es un principio notable de carácter moral que forma parte de la verdad de la información, al igual que la integridad y veracidad, como también la consideración hacia a los colaboradores y la humildad. Se valora además el respeto por el medio ambiente, la biodiversidad y la responsabilidad social.

III. RESULTADOS.

1. Diagnosticar la disponibilidad inicial, para optimizar los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018.

Para la realización del diagnóstico inicial de la disponibilidad fue necesario el uso de los instrumentos de recolección de datos, que fueron validados por expertos especialistas sobre el tema; así como, el historial del equipo del último año 2017-2018, donde se encontraron evidencias de parada de la maquinaria, y las horas utilizadas para sus respectivos mantenimientos.

Tabla 1: *Historial del Programa de mantenimiento preventivo.*

| PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - CAMBIO DE ACEITE | 250 | 500 | 750 | 1000 | 1250 | 1500 | 1750 | 2000 | 2250 | 2500 | 2750 | 3000 | 3250 | 3500 | 3750 | 4000 | 4250 | 4500 | 4750 | 5000 | 5250 | 5500 | 5750 | 6000 | 6250 | 6500 | 6750 | 7000 | 7250 | 7500 | 7750 | N° cambios/año | US\$/ cambio | US\$ / año | |
|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|------|----------------|--------------|------------|-----------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MOTOR | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 32 | 825,19 | 26 406,08 |
| TRANSMISIÓN | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | 16 | 935,27 | 14 964,32 | |
| SISTEMA HIDRAULICO | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | 4 | 3 443,50 | 13 774,00 | |
| TOTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 55 144,40 | | | | | |

Fuente: Historial de mantenimiento del año 2017-2018 (Anexo 10)

Respecto a la tabla 1, se evidenció que el Montacargas Caterpillar P33000 en un año alcanzó 8000 horas de operación y los mantenimientos fueron ejecutados de manera periódica. Según el historial de mantenimiento del equipo (04-66), que se tomó como objeto de estudio, se realizó el mantenimiento del motor cada 250 horas de operación, alcanzando 32 cambios de aceite; en cuanto al sistema de transmisión, se efectuó cada 500 horas de operación alcanzando un total 16 cambios de aceite, filtros y materiales respectivos; finalmente, el sistema hidráulico, efectuó mantenimiento cada 2000 horas de operación haciendo un total de 04 mantenimientos en este horizonte de tiempo. El total de costo de mantenimiento fue de US\$ 55'144,40 dólares americanos.

Tabla 2: Estructura de los costos por cambio de aceite de motor.

| CAMBIO DE ACEITE MOTOR | UND | US\$/UND | COSTO (US\$) |
|-------------------------------|------------|-----------------|---------------------|
| ACEITE CAT DEO 15W40(GAL) | 5 | 16,66 | 83,30 |
| MANO DE OBRA (HH) | 4 | 35,50 | 142,00 |
| FILTROS | 1 | 205,39 | 205,39 |
| HORAS PARADAS DE MAQUINARIA | 4 | 95,50 | 382,00 |
| MATERIALES E INSUMOS | 1 | 12,50 | 12,50 |
| TOTAL | | | 825,19 |

Tabla 3: Estructura de los costos por cambio de aceite de transmisión.

| CAMBIO DE ACEITE TRANSMISIÓN | UND | US\$/UND | COSTO (US\$) |
|-------------------------------------|------------|-----------------|---------------------|
| ACEITE CAT TDTO SAE 30 (GAL) | 6 | 19,35 | 116,10 |
| MANO DE OBRA (HH) | 5 | 35,50 | 177,50 |
| FILTROS | 1 | 151,67 | 151,67 |
| HORAS PARADAS DE MAQUINARIA | 5 | 95,50 | 477,50 |
| MATERIALES E INSUMOS | 1 | 12,50 | 12,50 |
| TOTAL | | | 935,27 |

Tabla 4: Estructura de los costos por cambio de aceite hidráulico.

| CAMBIO DE ACEITE HIDÁULICO | UND | US\$/UND | COSTO (US\$) |
|-----------------------------------|------------|-----------------|---------------------|
| ACEITE CAT ADVANCE SAE 10W (GAL) | 85 | 20,64 | 1754,40 |
| MANO DE OBRA (HH) | 12 | 35,50 | 426,00 |
| FILTROS | 1 | 104,60 | 104,60 |
| HORAS PARADA DE MAQUINARIA | 12 | 95,50 | 1146,00 |
| MATERIALES E INSUMOS | 1 | 12,50 | 12,50 |
| TOTAL | | | 3443,50 |

Fuente: Control de costos de mantenimiento de la empresa Siderperú (Anexo 12)

Respecto a la tabla 2, 3, 4, quedó evidenciado que los mayores costos están referidos a las horas de parada del montacargas y los costos que se incurre en cada mantenimiento. En cuanto a los datos referidos al costo de la hora de operación de la maquinaria, estos se obtuvieron del valor del montacargas nuevo y el tiempo estimado de depreciación el equipo, el cual está definido en un valor de US\$150 000,00, con un horizonte de vida útil de 5 años. Los datos referidos a la estructura de los costos por mantenimiento respecto de los cambios de aceite de motor, transmisión e hidráulico, se obtuvieron de la data existente en los registros logísticos del almacén, donde se identificó los costos unitarios del aceite y materiales. Los costos referidos a la mano de obra, fueron estimados acorde a los datos que maneja el área de RR.HH. de la empresa. Los datos respecto de las horas de parada de la maquinaria por los trabajos de mantenimiento por cambio de aceite, se obtuvieron del registro del historial de dicha maquinaria, corroborando estos con las respectivas órdenes de trabajo.

Tabla 5: Disponibilidad inicial al montacargas Caterpillar P33000.

| ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD INICIAL AL MONTACARGAS CATERPILLAR P33000 | | | | | | | | |
|---|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|------------------------|----|------------------------|
| EQUIPOS | SISTEMAS Y/O COMPONENTES | Nº DE CAMBIOS DE OIL / AÑO | HORAS UTILIZADAS EN LOS CAMBIOS | HORAS DE PARADA | HORAS DE PROCESO | OPERACIÓN MTBF MTTR | | DISPONIBILIDAD INICIAL |
| MONTACARGAS | MOTOR | 32 | 4 | 128 | 7872 | 246 | 4 | 98,40% |
| | TRANSMISIÓN | 16 | 5 | 80 | 7920 | 495 | 5 | 99,00% |
| | SISTEMA HIDRAULICO | 4 | 12 | 48 | 7952 | 1988 | 12 | 99,40% |
| % DE DISPONIBILIDAD DEL MANTENIMIENTO | | | | | | | | 98,40% |

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la tabla 5, se analizó la disponibilidad inicial del montacargas Caterpillar P33000 antes de la aplicación del análisis de aceite. Para determinar el tiempo medio entre falla (MTBF) se consideró el tiempo total de operación entre el número de falla (mantenimientos periódicos), para determinar el tiempo de reparación (MTTR) se tomó en cuenta el tiempo de total de horas de parada para realizar el mantenimiento preventivo entre número total de mantenimientos. Teniendo todos estos datos se identificó un 98,40% respecto a la disponibilidad de mantenimiento para el sistema de motor, en cuanto al sistema de transmisión un 99,00% y un 99,40% para el sistema hidráulico, obteniendo

como disponibilidad inicial 98,40%; siendo esta la disponibilidad más crítica para ser comparada con la disponibilidad final. Para determinar este porcentaje se usó la fórmula de disponibilidad, tiempo medio entre falla entre tiempo medio entre falla más el tiempo medio para reparación por el 100%, esta fórmula se encuentra en el anexo 3 de la investigación. Se obtuvo la disponibilidad inicial y el costo que se incurre en ello, luego se procedió a realizar la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite.

2. Aplicar el mantenimiento predictivo por análisis de aceite para optimizar costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018.

Para la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, fue necesario el uso de varios recursos tales como, información de normas internacionales de condiciones del aceite, recomendación del fabricante, envió de muestras de aceite con todos los datos especificados del equipo, tipo de aceite que usa el motor y las horas en uso del mismo; todo ello fue analizado por el laboratorio S.O.S. de análisis del fluidos, y se estableció los nuevos márgenes de cambio de aceite ideal para el montacargas P33000; ya que son muchos los factores que influyen en la vida útil del aceite como, la contaminación mediante a causa del inadecuado mantenimiento realizado por el personal técnico, la mala calidad del combustible, condición de operación, y sobre todo el ambiente de trabajo al que está expuesto el equipo montacargas P33000. Todos estos factores que influyen en la vida del aceite se pueden establecer con el muestreo y análisis de fluido, posterior a ello se realizó cuadros de tendencia con los límites máximos permisibles especificados por el fabricante y las normas internacionales.

Análisis de aceite motor y Cat Deo 15w40 para establecer nuevos periodos de cambio óptimos.

Se realizó el análisis del aceite de motor por periodo de 900 horas de operación del equipo sin cambiar este elemento, se realizaron un total de 09 muestreos de aceite a partir de las 250 horas de su uso. Primero, se estableció un muestreo cada 100 horas hasta las 750 horas de uso del aceite, luego de estas se acortó el muestreo a cada 50 horas ya que la tendencia se iba acercando a los límites máximos permitidos de la condición del aceite que se puede usar en el motor sin causar ningún tipo de daño.

Tabla 6. Resultado de análisis de laboratorio de nivel de hollín en el aceite de motor.

| Horas del Aceite | # Adimensional |
|------------------|----------------|
| 900 | 73 |
| 850 | 65 |
| 800 | 59 |
| 750 | 54 |
| 650 | 46 |
| 550 | 35 |
| 450 | 21 |
| 350 | 9 |
| 250 | 2 |

Fuente: Laboratorio S.O.S. Análisis de fluidos de Ferreyros, 2018.

Análisis realizado entre el 7-jul-2018 al 25 Ago-2018.

En la tabla 6 se muestra la representación de los números adimensionales del nivel de hollín en el aceite con respecto a las horas de uso del aceite.

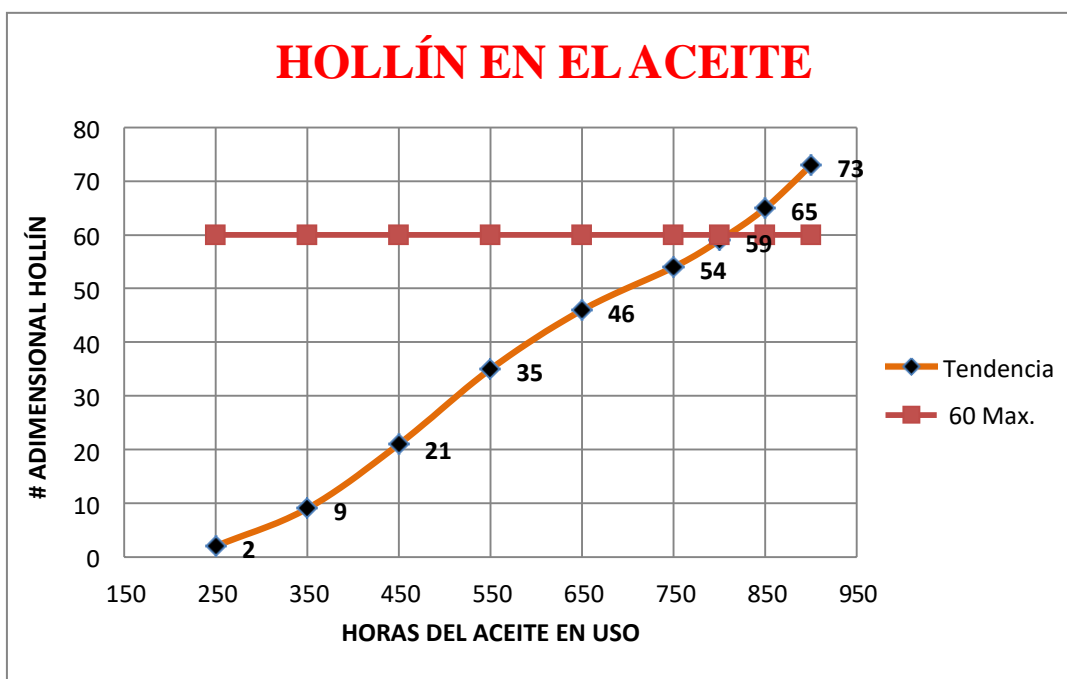


Figura 2. Evolución del hollín en el aceite Cat Deo 15w40 de motor con las horas de uso.

Respecto de la figura 2, se pudo evidenciar la tendencia de elevación del hollín conforme a las horas de uso del aceite en un margen de 900 horas de operación, el aceite lubricante Cat Deo 15w 40, alcanzó un número adimensional de 59, tal como lo señala el laboratorio de análisis; siendo 60 el número máximo permisible de hollín a las 800 horas de vida útil de este aceite en el motor, según la recomendación del fabricante en este tipo de motor.

Tabla 7: Resultado de análisis de laboratorio de nivel de oxidación en el aceite de motor.

| Horas del Aceite | # Adimensional |
|------------------|----------------|
| 900 | 37 |
| 850 | 32 |
| 800 | 29 |
| 750 | 25 |
| 650 | 21 |
| 550 | 17 |
| 450 | 12 |
| 350 | 9 |
| 250 | 7 |

Fuente: Laboratorio S.O.S. Análisis de fluido de Ferreyros, - 2018
Análisis realizado entre el 7-jul-2018 al 25 Ago-2018.

En la tabla 7 se muestra la representación de los números adimensionales de nivel de oxidación del aceite con respecto a las horas de uso del aceite.

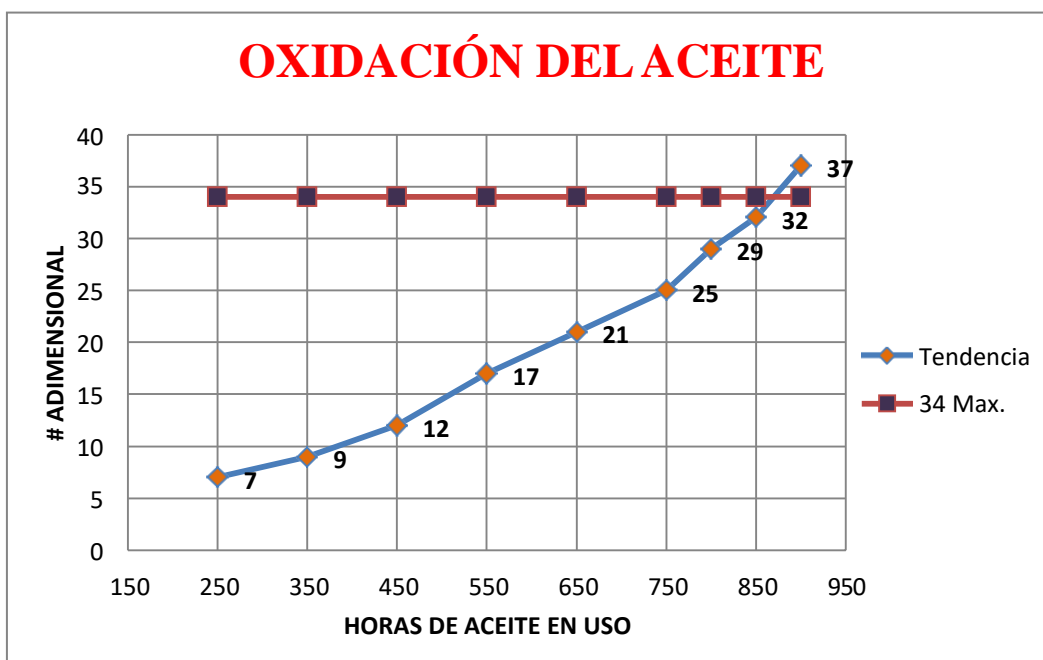


Figura 3. Tendencia de la oxidación del aceite Cat Deo 15w40 de motor.

En consideración a la figura 3, se evidenció la tendencia de la oxidación del aceite, respecto a las horas de uso en un margen de 900 horas de vida del aceite lubricante Cat Deo 15w 40, llegando a alcanzar 32, cifra cercana al máximo permisible de oxidación a las 850 horas de vida útil de este aceite; puesto que, según la recomendación del fabricante en este tipo de motor, el número máximo permisible de oxidación en el motor es de 34.

Tabla 8: Resultado de análisis de laboratorio del nivel de Nitración en el aceite.

| Horas del Aceite | # Adimensional |
|------------------|----------------|
| 900 | 12 |
| 850 | 12 |
| 800 | 10 |
| 750 | 8 |
| 650 | 7 |
| 550 | 6 |
| 450 | 4 |
| 350 | 4 |
| 250 | 3 |

Fuente: Laboratorio S.O.S. Análisis de fluido de Ferreyros, - 2018.

Análisis realizado entre el 7-jul-2018 al 25 Ago-2018.

La tabla 8 muestra la representación del número de nivel de Nitración del aceite con respecto a las horas de uso del aceite.

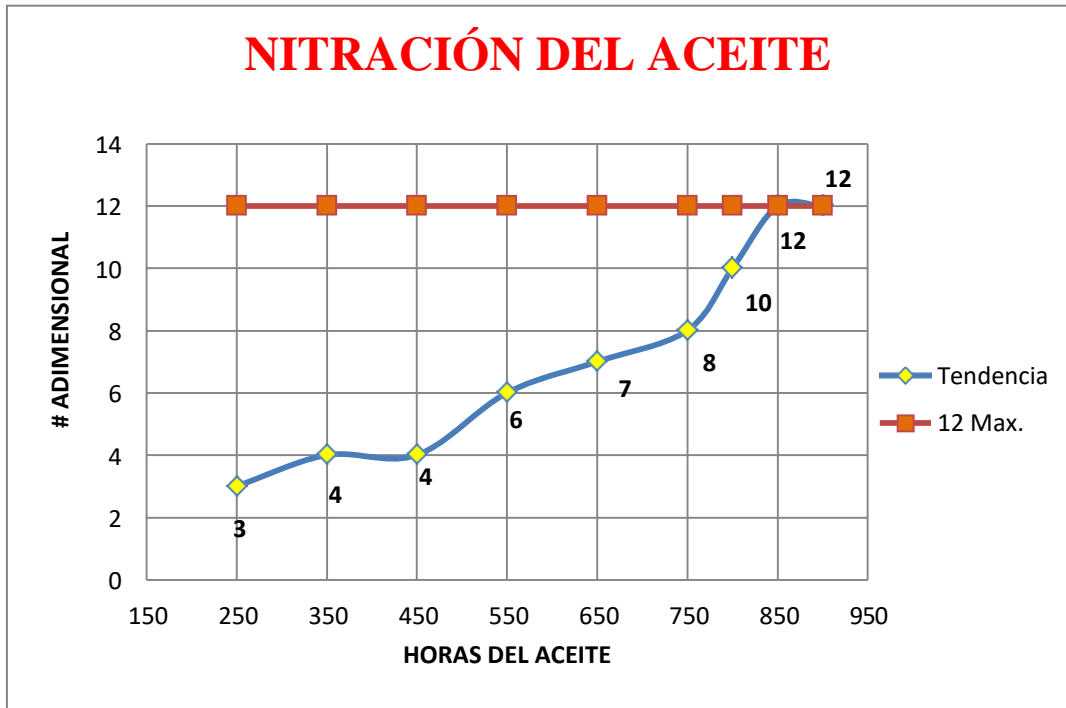


Figura 4. Evolución de la tendencia de la Nitración del aceite Cat Deo 15w40 de motor.

De la figura 4, se pudo evidenciar la tendencia de la Nitración del aceite con respecto a las sus horas de uso en un margen de 900 horas de vida del aceite lubricante Cat Deo 15w 40 usado en el motor, llegando a alcanzar un máximo permisible de Nitración a las 850 horas de vida, manteniéndose estable a las 900 horas. Según la recomendación del fabricante en este tipo de motor, el número máximo permisible de Nitración en el motor es de 12.

Tabla 9: Resultado de análisis de laboratorio de nivel de Sulfatación del aceite de motor.

| Horas del Aceite | # Adimensional |
|------------------|----------------|
| 900 | 30 |
| 850 | 27 |
| 800 | 25 |
| 750 | 23 |
| 650 | 21 |
| 550 | 19 |
| 450 | 17 |
| 350 | 15 |
| 250 | 14 |

Fuente: Laboratorio S.O.S. Análisis de fluido de Ferreyros, - 2018

Análisis realizado entre el 7-jul-2018 al 25 Ago-2018.

En la tabla 9 muestra la representación de los números adimensionales de nivel de Nitración del aceite con respecto a las horas de uso del aceite.

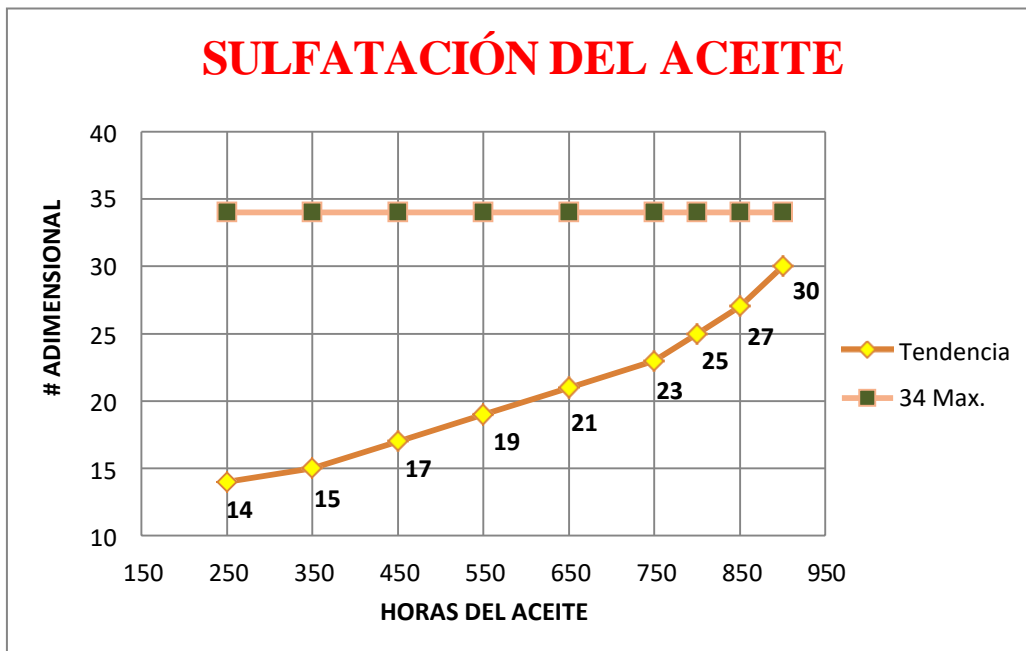


Figura 5. Tendencia de Sulfatación del aceite Cat Deo 15w40 por horas de uso.

De la figura 5 se pudo evidenciar la tendencia de la Sulfatación del aceite con respecto a las horas de uso del aceite en un margen de 900 horas de vida del aceite lubricante Cat deo 15w 40 usado en el motor. El análisis evidenció que no se ha llegado a alcanzar el máximo permisible de Sulfatación hasta las 900 horas de uso del aceite. Según la recomendación del fabricante para este tipo de motor, el número máximo permisible de Sulfatación en el motor es de 34, siendo el nivel de sulfatación de 30 (adimensional) a las 900 horas de uso, dato proporcionado por el laboratorio de análisis de fluidos.

Tabla 10: Resultado de análisis de laboratorio de la viscosidad 100 C del aceite de motor.

| Horas del Aceite | CST 100°C |
|------------------|-----------|
| 900 | 13,7 |
| 850 | 12,9 |
| 800 | 12,8 |
| 750 | 13,1 |
| 650 | 13,3 |
| 550 | 13,1 |
| 450 | 12,9 |
| 350 | 12,6 |
| 250 | 12,4 |

Fuente: Laboratorio S.O.S. Análisis de fluido de Ferreyros, - 2018.

Análisis realizado entre el 7-jul-2018 al 25 Ago-2018.

En la tabla 10 se muestra la viscosidad del aceite con respecto a las horas de uso del aceite.

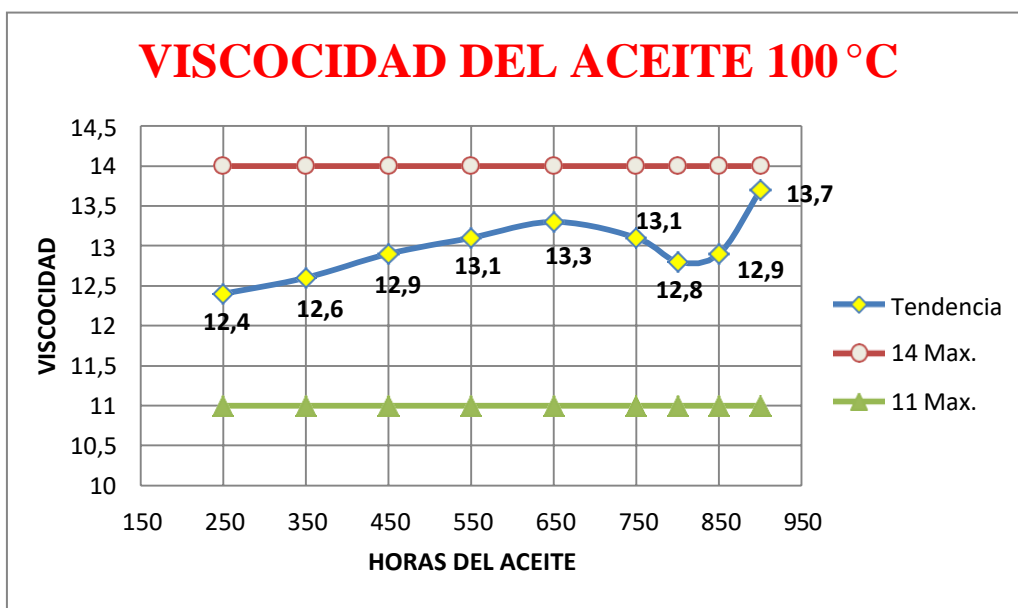


Figura 6. Tendencia de la viscosidad de aceite Cat Deo 15w40 por horas de uso.

De la figura 6, se pudo evidenciar la tendencia de la Viscosidad del aceite con respecto a las horas de uso del aceite en un margen de 900 horas de vida del aceite lubricante Cat Deo 15w 40 usado en el motor. Los datos indican que no ha llegado a alcanzar el máximo permisible de Viscosidad ni tampoco el mínimo Permisible, se mantiene en un rango estable de 12,4 grado de viscosidad y 13,7 grado, como resultado de la última muestra hasta estas horas de uso del aceite.

Tabla 11: Resultado de análisis de laboratorio del Índice cuantificador de partícula en el aceite de motor.

| Horas del Aceite | # Adimensional |
|------------------|----------------|
| 900 | 43 |
| 850 | 39 |
| 800 | 39 |
| 750 | 38 |
| 650 | 36 |
| 550 | 35 |
| 450 | 32 |
| 350 | 30 |
| 250 | 30 |

Fuente: Laboratorio S.O.S. Análisis de fluido de Ferreyros, - 2018.

Análisis realizado entre el 7-jul-2018 al 25 Ago-2018.

En la tabla 11 muestra los números adimensionales del índice cuantificador de partícula en del aceite con respecto a las horas de uso del aceite.

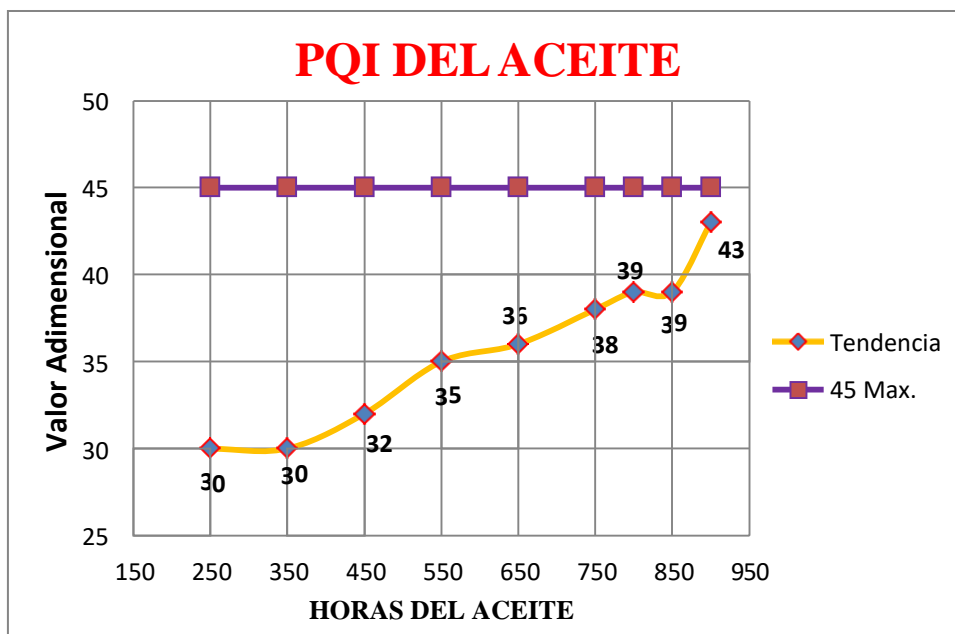


Figura 7. Tendencia del índice cuantificador de partícula del aceite Cat Deo 15w40.

Respecto a figura 7, se pudo evidenciar la tendencia del índice cuantificador de partícula de aceite con respecto a las horas de uso del aceite en un margen de 900 horas de operación que se realizó la investigación con el aceite Cat Deo 15w 40 usado en el motor. No ha llegado a alcanzar el máximo permisible del índice cuantificador de partícula se mantiene en un rango estable de 30 y 43 respectivamente que fue resultado de la última muestra. Siendo el máximo permisible 45, recomendado por el fabricante para no causar daño al equipo.

A partir de los resultados de la condición del aceite del laboratorio S.O.S. de las últimas 900 horas del aceite en uso y de los cuadros de tendencia con ayuda de datos del fabricante y normas internacionales de los máximos permisibles para la condición del aceite para el equipo Montacargas P33000; se determinó un nuevo periodo de cambio a las 750 horas de uso del aceite ya que el rango más bajo de todas las tendencias de la condición del aceite nos da el nivel de hollín alcanzando cerca del máximo permisible a las 800 horas de uso

del aceite y para conservar un margen de salvedad se determinó realizar el cambio de aceite 50 horas antes del mínimo resultado de todas las tendencias de condición del aceite.

Análisis de aceite para transmisiones Cat TO-4 SAE 30 para establecer nuevos periodos de cambio de aceite óptimos.

Para el análisis de aceite al sistema de transmisión del Montacargas P33000 se vio conveniente el muestreo del aceite partiendo de las 500 horas de uso del mismo. Se realizaron en total 06 muestras, cada 250 horas para ver las tendencias de los contaminantes que determinan las condiciones del aceite, con la recepción de los resultados se realizó el contraste con los límites máximos permisibles recomendados por el fabricante y las normas internacionales ISO. Estas recomendaciones y normas se encuentran de evidencia el anexo de la investigación.

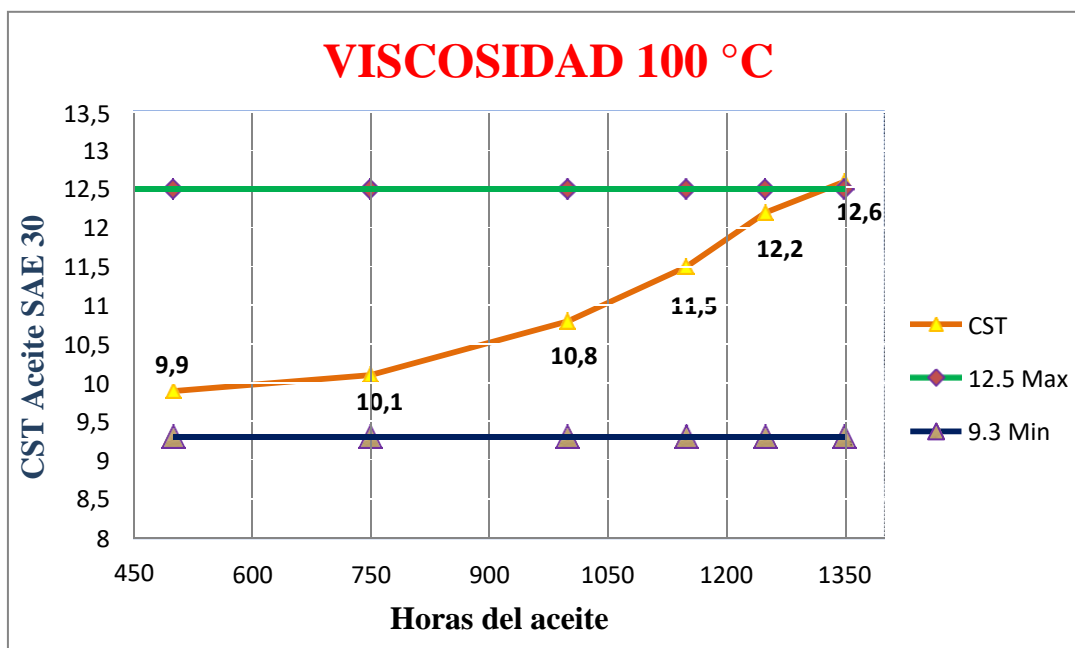


Figura 8. Tendencia de la viscosidad cinemática al 100°C del aceite TO-4 SAE 30. Análisis de aceite realizado del 7-Jul-2018 al 28-Set-2018.

En la figura 8 se puede apreciar una tendencia de la viscosidad del aceite TO-4 SAE 30 de acuerdo a las horas del aceite en operación, teniendo estos límites de máximos y mínimos permisibles de 9,3 y 12,5 CST a 100°C, lo cual llega a sobrepasar el límite máximo a las 1350 horas de uso del aceite.

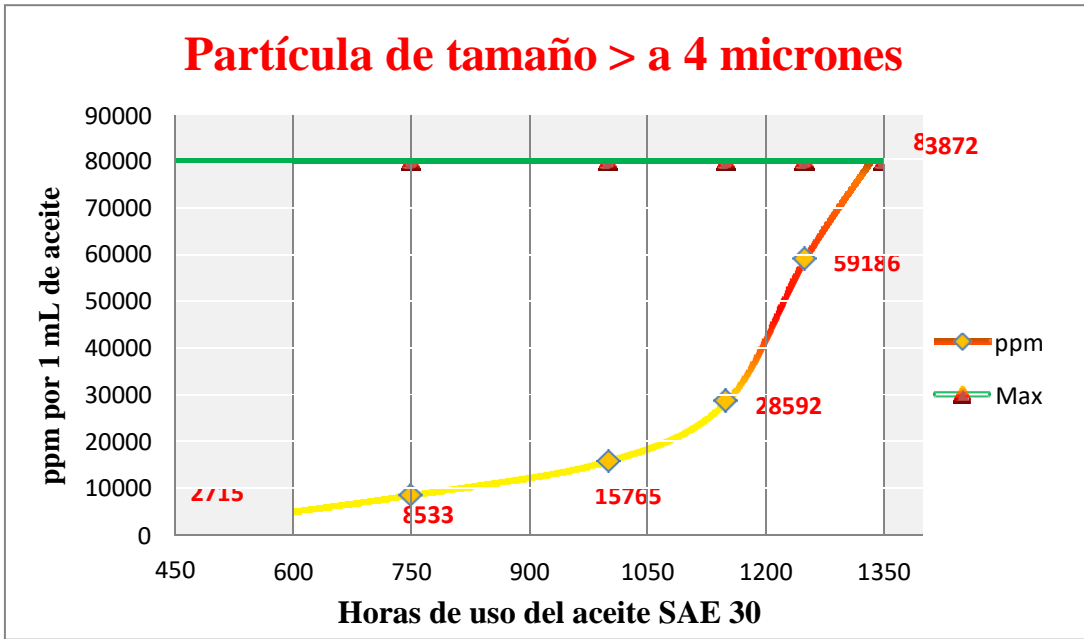


Figura 9. Tendencia de nivel de partícula de 4 μ en el aceite Cat TO-4 SAE 30. Análisis de aceite realizado del 7-Jul-2018 al 28-Set-2018.

De acuerdo a la figura 9 se apreció la cantidad de partículas en ppm del tamaño de 4 micrones conforme a las horas de uso del aceite manteniéndose estable hasta las 1250 horas de uso del aceite.

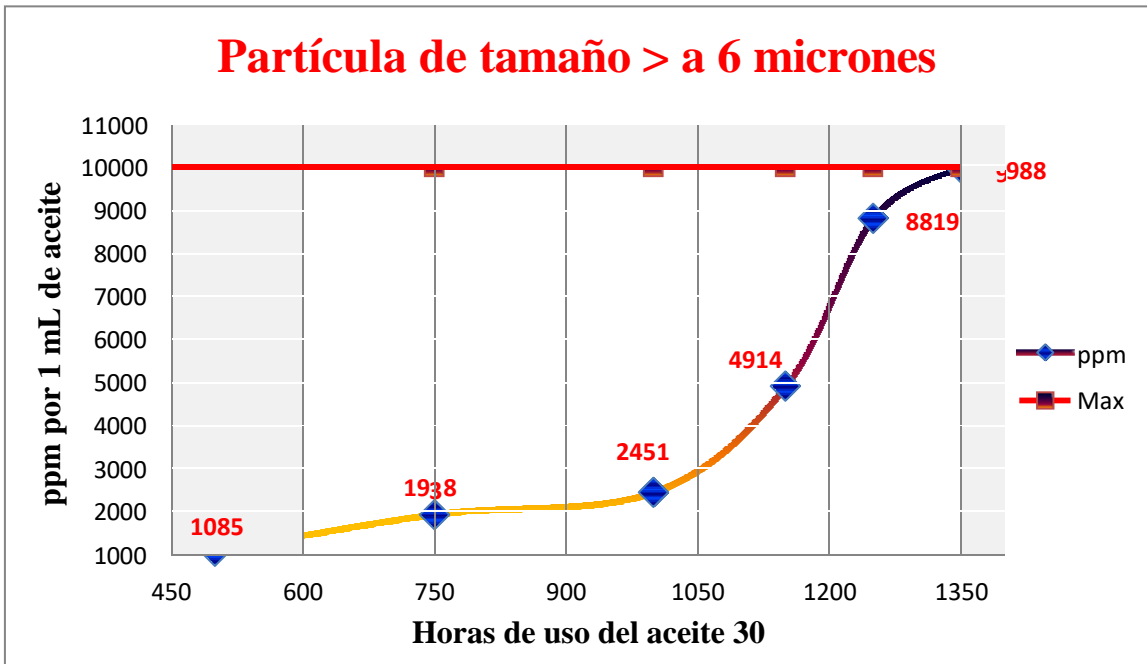


Figura 10. Tendencia de nivel de partícula de 6 μ en el aceite Cat TO-4 SAE 30.

Análisis de aceite realizado del 7-Jul-2018 al 28-Set-2018.

Respecto a la figura 10 se observa una tendencia de partículas mayores de 6 micrones, de 1085 ppm de partícula por 1 mililitro de aceite en 500 horas de uso del aceite de transmisión; lo cual no significaría problema para el sistema, puesto que según las especificaciones del fabricante (Caterpillar) se acepta un nivel de limpieza del ISO 4406 hasta 10 000 ppm por 1 mililitro de aceite. Llegando a alcanzarse a las 1350 horas de uso del aceite.

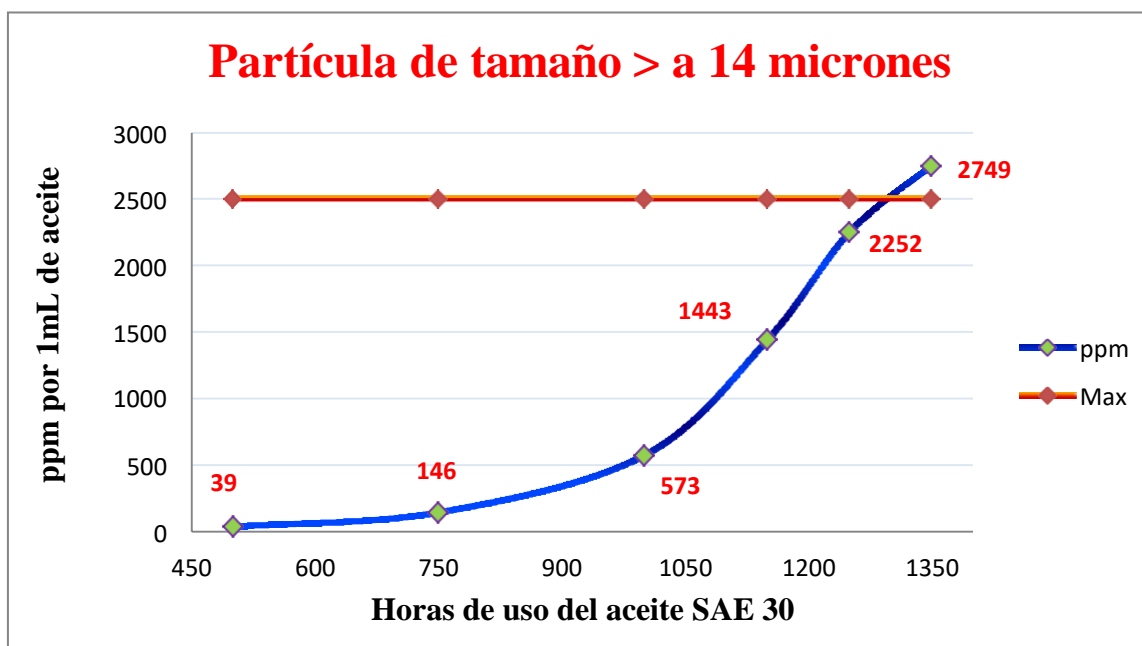


Figura 11. Tendencia de nivel de partícula de 14 μ en el aceite Cat TO-4 SAE 30.

Análisis de aceite realizado del 7-Jul-2018 al 28-Set-2018.

Respecto a la figura 11 se observa una tendencia de partículas mayores de 14 micrones, de 39 ppm de partícula por 1 mililitro de aceite en 500 horas de uso del aceite de transmisión lo cual no significaría problema para el sistema puesto que según las especificaciones del fabricante (Caterpillar) se acepta un nivel de limpieza del ISO 4406 hasta 2 500 ppm por 1 mililitro de aceite. Llegando a superar estos límites a las 1350 horas de uso del aceite.

Se determinó el nuevo cambio del fluido para este sistema a las 1250 horas de uso aceite ya que hasta estas horas los contaminantes del de aceite no perjudicarían los componentes internos de sistema.

Análisis de aceite hidráulico Cat Advance HYDO SAE 10W para establecer nuevos periodos de cambio de aceite óptimos.

Se realizó el análisis del aceite hidráulico por periodo de 4250 horas de operación del equipo sin cambiar este elemento, se analizó en total 07 muestras de aceite a partir de las 2000 horas de uso del aceite se estableció un análisis de muestreo cada 500 horas hasta las 3500 horas de uso del aceite hidráulico, luego de estas se acortó el muestreo a cada 250 horas hasta las 4250 horas ya que la tendencia se iba acercando a los límites máximos permitidos de la condición del aceite que se puede usar en el sistema hidráulico sin causar ningún tipo de daño en los componentes internos para no acortar la vida útil del Montacargas P33000.

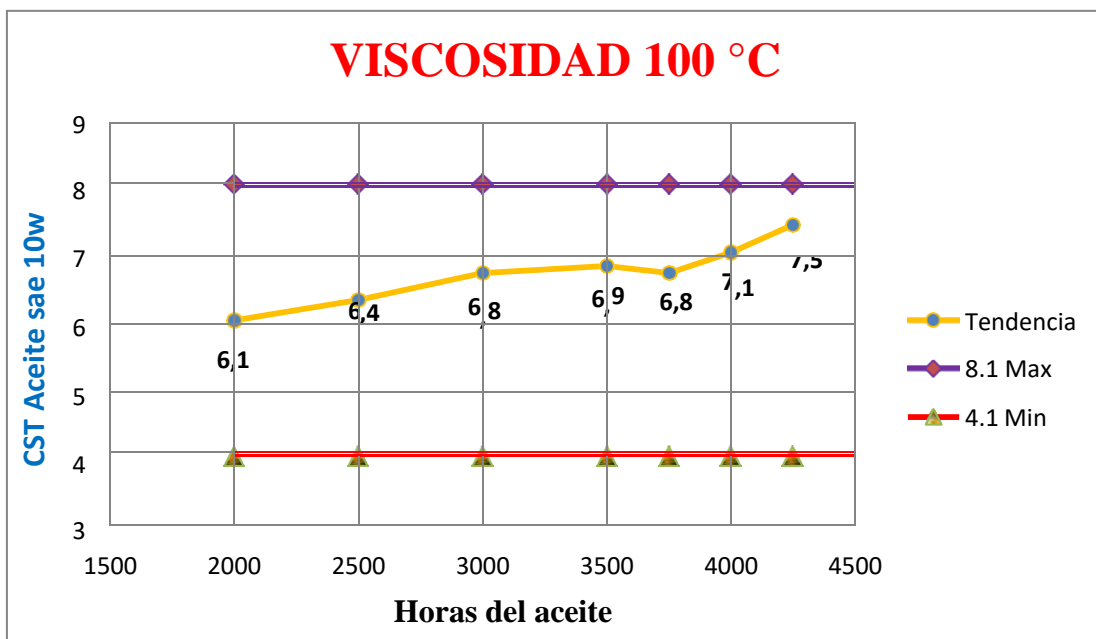


Figura 12. Tendencia de la viscosidad del aceite Cat Advance SAE 10W.

Análisis de aceite realizado del 11-Jun-2018 al 24- Oct -2018

Respecto de la figura 12, se logró evidenciar la tendencia de la Viscosidad del aceite con respecto a las horas de uso, en un margen de 4250 horas del aceite lubricante Cat HYDO SAE 10W usado en el sistema hidráulico. No ha llegado a alcanzar los límites máximos permisibles de Viscosidad ni tampoco el mínimo Permisible, se mantiene en un rango estable de 6.1 CST grado de viscosidad y 7.5 CST °C100, que fue el resultado de la última muestra hasta estas horas de uso del aceite.

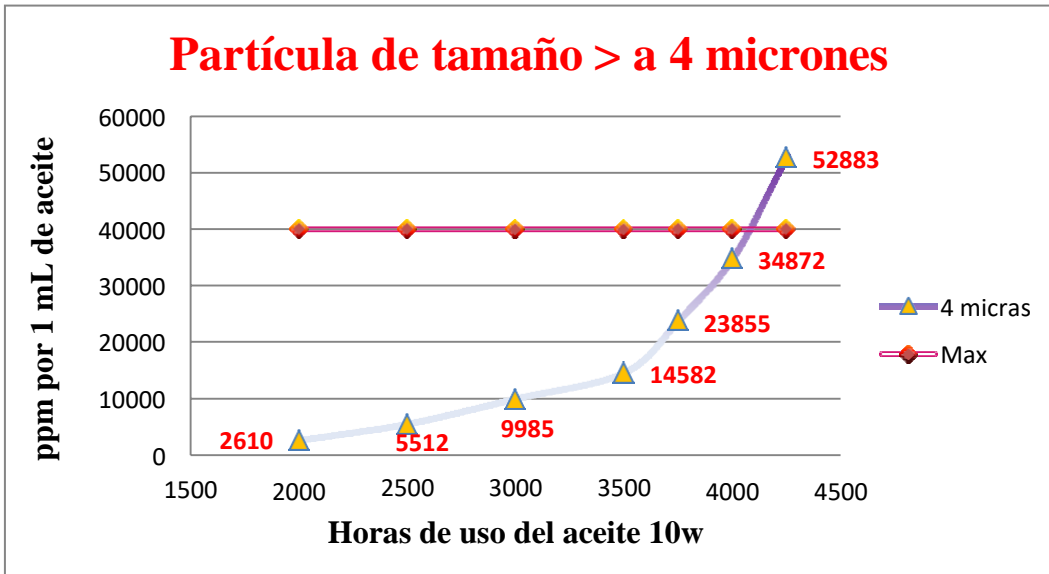


Figura 13.Tendencia de nivel de partícula de 4 μ en el aceite Cat Advance SAE 10W.

Análisis de aceite realizado del 11-Jun-2018 al 24- Oct -2018.

Respecto a la figura 13 se observa una tendencia de partículas mayores de 4 micrones, de 2610 ppm de partícula por 1 mililitro de aceite en 2000 horas de uso del aceite hidráulico la cual no significaría problema para el sistema puesto que según las especificaciones del fabricante (Caterpillar) se acepta un nivel de limpieza del ISO 4406, código 22 siendo el máximo permisible de nivel de contaminación para estos tamaños de partícula, de 20000 hasta 40000 ppm por 1 mililitro de aceite. Llegándose a alcanzar a las 4000 horas de uso del aceite.

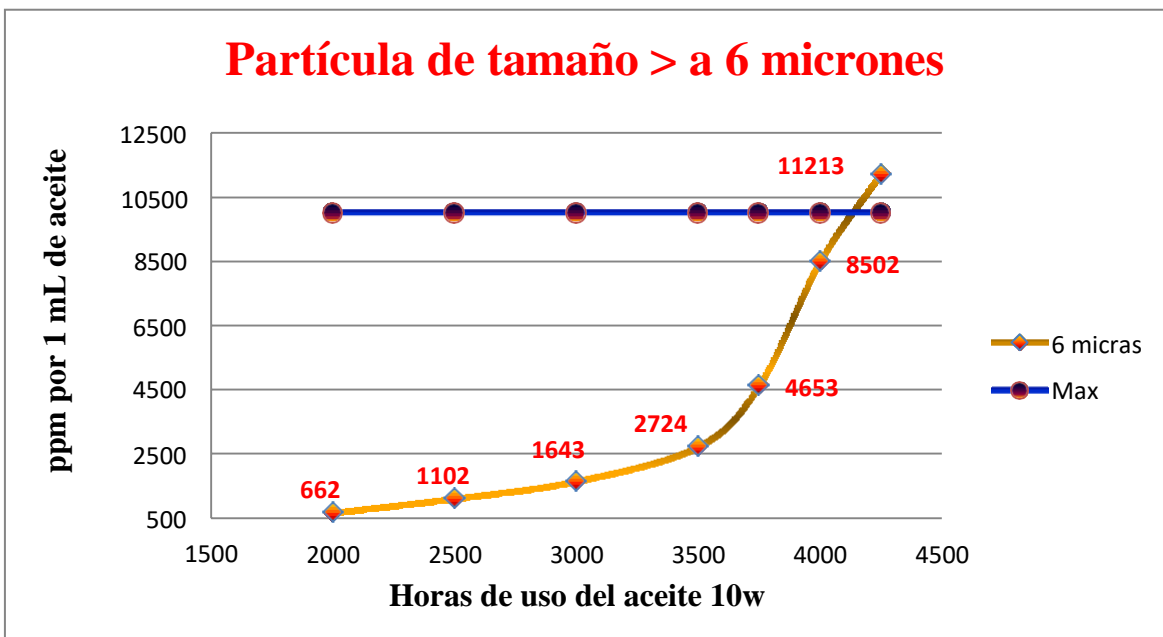


Figura 14.Tendencia de nivel de partícula de 6 μ en el aceite Cat Advance SAE 10W.

Análisis de aceite realizado del 11-Jun-2018 al 24- Oct -2018.

Respecto a la figura 14, se puede evidenciar la tendencia al aumento de partículas mayores a 6 micrones con respecto a las horas de uso del aceite hidráulico alcanzando un valor crítico a las 4250 horas; ya que el máximo permisible de nivel de limpieza del aceite Cat HYDO SAE 10W para este tamaño de partícula es un código ISO 20 y este se encuentra un rango de más de 5000, inclusive 10000 ppm de partícula por 1 mililitro de aceite.

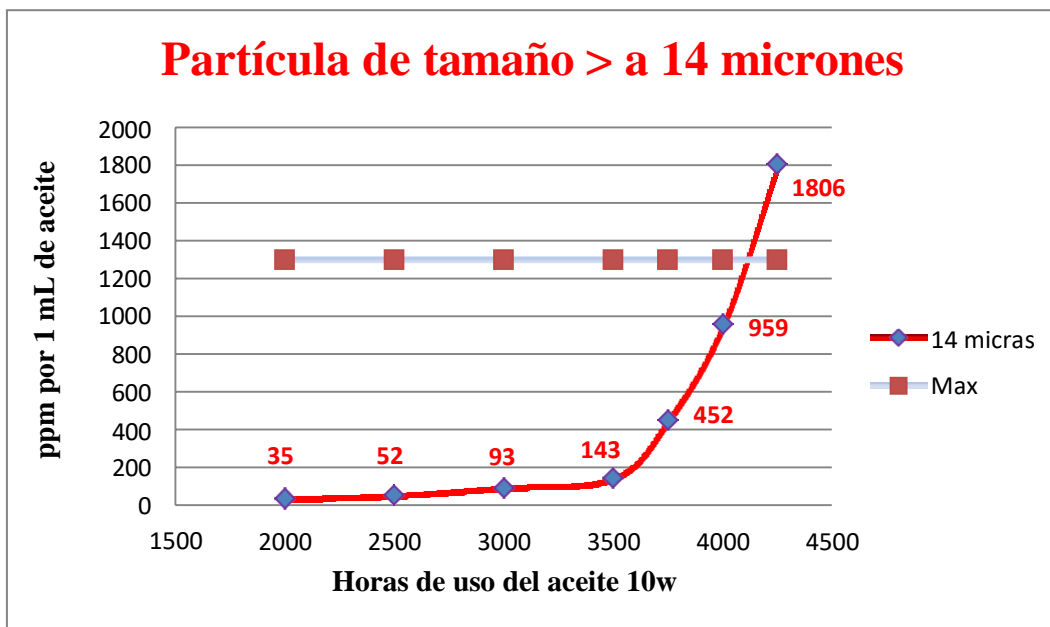


Figura 15. Tendencia de nivel de partícula de 14 μ m en el aceite Cat Advance SAE 10W.

Análisis de aceite realizado del 11-Jun-2018 al 24- Oct -2018.

En la figura 15, se puede evidenciar la tendencia al aumento de partículas mayores a 14 micrones con respecto a las horas de uso del aceite hidráulico alcanzando un valor crítico a las 4250 horas ya que el máximo permisible de nivel de limpieza del aceite Cat HYDO SAE 10W para este tamaño de partícula es un código ISO 17 y este se encuentra un rango de más de 640 hasta e inclusive 1300 ppm de partícula por 1 mililitro de aceite.

Respecto a las cuatro figuras de tendencia de la condición del aceite creada a partir de la recepción de resultado del laboratorio de análisis de fluidos, así como también el uso de la norma ISO 4406 de nivel de contaminación sólida en los fluidos y con los datos del fabricante de niveles de contaminación máximos permisibles en el sistema hidráulico usado en el aceite Cat HYDO SAE10W, se determinó un nuevo periodo de cambio a las 4000 horas de uso para conservar un margen de salvedad por el nivel alto de partículas que

presenta el aceite y la tendencia de la viscosidad va en orden creciente respecto a las horas del fluido.

3. Evaluar el impacto total respecto a la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite para optimizar los costos operativos por disponibilidad de los Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. 2018.

Tabla 11. Programa de mantenimiento preventivo optimizado por análisis de aceite.

| PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - CAMBIO DE ACEITE | 250 | 500 | 750 | 1000 | 1250 | 1500 | 1750 | 2000 | 2250 | 2500 | 2750 | 3000 | 3250 | 3500 | 3750 | 4000 | 4250 | 4500 | 4750 | 5000 | 5250 | 5500 | 5750 | 6000 | 6250 | 6500 | 6750 | 7000 | 7250 | 7500 | 7750 | N° cambios/año | US\$/cambio | US\$/ año | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|----------------|-------------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MOTOR | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 10 | 825,19 | 8 251,90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRANSMISIÓN | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | 6 | 935,27 | 5 611,62 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SISTEMA HIDRÁULICO | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | 3 443,50 | 6 887,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 20 750,52 |

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la tabla 11 se pudo evidenciar que los periodos de cambio del aceite de motor se han ampliado a 750 horas de uso por la aplicación del mantenimiento predictivo de análisis de aceite, ejecutando un total de 10 mantenimientos preventivos de cambio de aceite, filtros y materiales al año. Asimismo, el sistema de transmisión ha alargado el periodo de mantenimiento a cada 1250 horas haciendo un total de 6 cambios de aceite al año, del mismo modo el sistema hidráulico se ha previsto un periodo de mantenimiento cada 4000 horas en uso de este fluido haciendo un total de 2 cambios al año.

Tabla 12. Análisis de disponibilidad final de Montacargas P33000.

| ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD FINAL DE MONTACARGAS CATERPILLAR P33000 | | | | | | | | |
|---|--------------------------|----------------------------------|--|--------------------|------------------------|-----------|------|-------------------------|
| EQUIPOS | SISTEMAS Y/O COMPONENTES | N° DE CAMBIOS DE OIL / AÑO | HORAS DE UTILIZADAS EN LOS CAMBIOS | HORAS DE PARADA | HORAS DE PROCESO | OPERACIÓN | | DISPONIBILIDAD FINAL |
| | | | | | | MTBF | MTTR | |
| MONTACARGAS | MOTOR | 10 | 4 | 40 | 7960 | 796 | 4 | 99,50% |
| | TRANSMISIÓN | 6 | 5 | 30 | 7970 | 1328 | 5 | 99,63% |
| | SISTEMA HIDRAULICO | 2 | 12 | 24 | 7976 | 3988 | 12 | 99,70% |
| % DISPONIBILIDAD FINAL | | | | | | | | 99,50% |

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la tabla 12, se analizó la disponibilidad final del Montacargas Caterpillar P33000 posterior a la aplicación del análisis de aceite. Para determinar el tiempo medio entre falla (MTBF) se tomó el tiempo total de operación entre el número de falla (mantenimientos periódico); para determinar el tiempo de reparación (MTTR) se tomó el tiempo de total de horas de parada para realizar el mantenimiento preventivo entre número total de mantenimientos; teniendo todos estos datos se encontró la nueva disponibilidad para los nuevos periodos mantenimiento, siendo para el sistema de motor 99,50%, sistema de transmisión un 99,63% y sistema hidráulico 99,70%, obteniendo una disponibilidad final 99,50%, Para determinar este porcentaje se usó la fórmula de disponibilidad, tiempo medio entre falla entre tiempo medio entre falla más el tiempo medio para reparación por el 100%, esta fórmula se encuentra en el anexo 3 de la investigación.

Tabla 13. Impacto de disponibilidad de Montacargas y los costos.

| MONTACARGAS | IMPACTO RESPECTO A | | |
|------------------------|--------------------|---|-------------|
| | | DISPONIBILIDAD COSTO (AHORRO)/ 8000 HRS | |
| DISPONIBILIDAD INICIAL | 98,40% | | |
| DISPONIBILIDAD FINAL | 99,50% | 1,11% | |
| COSTOS INICIALES | \$55 144,40 | | |
| COSTOS FINALES | \$20 750,52 | | \$34 393,88 |

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 13 se evidenció un aumento en la disponibilidad en un 1,11 % luego de la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite; así mismo se observó un ahorro en los costos de mantenimiento de \$34 393,88 dólares americanos por un año de operación del equipo Montacargas P33000.

4. PRUEBA DE HIPOTESIS

Para el análisis estadístico, primero se realizó una prueba de normalidad:

Tabla 14. Datos de la variación de la efectividad.

| SISTEMA | COSTO OPERATIVO 1 | COSTO OPERATIVO 2 | DIFERENCIA |
|-------------|-------------------|-------------------|------------|
| MOTOR | 26406.08 | 8251.9 | 18154.18 |
| TRANSMISION | 14964.32 | 5611.62 | 9352.7 |
| HIDRAULICO | 13774 | 6887 | 6887 |
| TOTAL | 55144.4 | 20750.52 | 34393.88 |

Fuente: Elaboración propia.

Prueba de normalidad:

H1: Los datos no presentan un comportamiento normal.

H01: Los datos presentan un comportamiento normal.

Criterio para determinar normalidad:

Si cuando significancia (P) cumple

$P < 0,05$ se aprueba H1

$P \geq 0,05$ se aprueba H01

Tabla 15. Prueba de normalidad.

| | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|------------|---------------------------------|----|------|--------------|----|------|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| DIFERENCIA | ,306 | 3 | . | ,905 | 3 | ,400 |

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

Por obtener un p valor 0.400 H01, donde indica que no presentan un comportamiento normal. Los datos son menores a 0.50 por ello se usa la prueba Shapiro - Wilk, y podemos

concluir que los datos analizados no siguen esta distribución, por lo tanto se recomienda usar una prueba no paramétrica.

Prueba de hipótesis:

Dado que los datos son normales, se aplicará la prueba t-student, para ello se ingresaran al Software IBM SPSS Statistics 24, los costos operativos por disponibilidad de los Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A. Chimbote antes y después de la aplicación del El mantenimiento predictivo por análisis de aceite.

Para ello se definen de hipótesis, lo siguiente:

H2: El mantenimiento predictivo por análisis de aceite optimiza los costos operativos por disponibilidad de los montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A. Chimbote, 2018.

H02: El mantenimiento predictivo por análisis de aceite no optimiza los costos operativos por disponibilidad de los Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A. Chimbote, 2018.

Criterio para determinar hipótesis:

Si:

$p \geq 0,05$ se aprueba H2

$p < 0,05$ se aprueba H02

Tabla 16. Prueba de hipótesis.

| Prueba de muestras emparejadas | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|---|------------|-------|---|---------------------|
| | | Diferencias emparejadas | | | | | t | g | Sig. (bilateral) |
| | | Media | Desviación estándar | Media de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | | | | |
| | | | | | Inferior | Superior | | | |
| Par | COST.OP.1 - | 11464,6267 | 5923,0492 | 3419,6740 | -3249,04325 | 26178,2965 | 3,353 | 2 | ,079 |
| 1 | COST.OP.2 | | 1 | 6 | | 8 | | | |

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

La prueba de T-Student, de las diferencias medias (promedios) de los costos operativos por disponibilidad de los Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A obtenida antes y después de la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, establece un valor t de 3,353 el cual está dentro del intervalo de confianza de la prueba del 95% (-3249,04325 - 26178,29658), además de ello la prueba tiene un nivel de significancia de 0,079 que es mayor a 0,05, lo cual nos permite aceptar la hipótesis, **H2** la cual muestra que las diferencias de medias es significativa y no al azar como lo manifiesta la hipótesis nula. Por lo cual podemos concluir que los costos operativos por disponibilidad de los montacargas Caterpillar P33000 en la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A. Chimbote; son significativamente menores que los costos operativos por disponibilidad de los montacargas Caterpillar P33000 en la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A. Chimbote antes de la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite.

IV. DISCUSIONES

Respecto a la primera hipótesis, diagnóstico de la disponibilidad inicial optimiza los costos operativos por disponibilidad del Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018.

En la primera hipótesis se planteó que el diagnóstico de la disponibilidad inicial, contribuiría a optimizar los costos operativos por disponibilidad del montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica Perú S.A.A. para cual se utilizó instrumentos de recolección de datos, validados por expertos en el tema, encontrando evidencia del historial del equipo en el periodo 2017-2018 de parada de la maquinaria y las horas destinadas al mantenimiento. A partir de ello, se determinó que en el lapso de un año alcanzó las 8000 horas de operaciones, ejecutándose los mantenimientos de forma periódica llegando a un costo de mantenimientos de US\$ 55 144,40 dólares americanos. Se evidenció que los costos mayores están referidos a las horas de parada del montacargas, seguidamente el análisis de la disponibilidad del montacargas Caterpillar P33000 previamente al análisis de aceite, obteniendo finalmente la disponibilidad inicial de 98,40% siendo esta la disponibilidad la más crítica para ser comparada con la disponibilidad final.

Mora (2009) sostiene que la disponibilidad se define como la probabilidad de que el equipo funcione de manera eficiente en el momento en que se requiera, luego de iniciar con su

funcionamiento; al usarse constantemente el tiempo total considerado contiene también el tiempo de funcionamiento, el tiempo de reparación, el tiempo de parada y el tiempo para el mantenimiento preventivo. Por tanto, al obtenerse la disponibilidad inicial y el costo que se incurre en ello se procedieron a realizar la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite. Siendo de esta manera el primer paso a realizar con el fin de optimizar los costos operativos por disponibilidad.

Respecto a la segunda hipótesis, aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, optimiza los costos operativos por disponibilidad de montacarga P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote ,2018.

Para la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite fue necesario el uso de diversos recursos con el fin de establecer los nuevos márgenes de cambio de aceite ideal para el Montacarga P33000, para lo cual se efectuó el análisis del aceite motor Cat Deo 15w40 con el fin de establecer nuevos periodos de cambio óptimos, a partir de ello se obtuvo los resultados de la condición del aceite del laboratorio S.O.S. de las últimas 900 horas del aceite en uso, la realización de cuadros de tendencia basados en datos del fabricante y normas internacionales de los máximos permisibles, sobre la condición del aceite para el equipo Montacargas P33000; determinando un periodo nuevo para el cambio a las 750 horas de uso del aceite, siendo el rango más bajo en todas las tendencias de la condición del aceite, obteniendo un nivel de hollín cerca al máximo permisible de 800 horas de uso del aceite y conservando un margen de salvedad. Se determinó realizar el cambio de aceite 50 horas antes del mínimo resultado de todas las tendencias de condición del aceite.

Autores como ALTMANN (2005) afirman que el mantenimiento predictivo permite detectar los síntomas de inicio de falla de la maquinaria, siendo la utilización de esta herramienta de beneficio, debido a que se logra una alerta temprana que permite planificar una parada para corregir el problema, alcanzando de esta manera una mayor disponibilidad de la maquinaria y una reducción del número de fallas catastróficas.

Otros autores mediante sus conclusiones nos dan a entender resultados cercanos a la realidad del estudio, como CALDERÓN y LÓPEZ (2016), quienes en su tesis “Plan de monitoreo y control a través de los análisis de aceite para motor y transmisión de vehículos articulados Mercedes para la empresa sistemas operativos móviles - Somos K. S. A”,

concluyeron que el análisis del lubricante permite detectar la presencia de elementos dañinos, que generen posibles fallas en los equipos, lo que se corrobora con los resultados obtenidos, dado que mediante el análisis de aceite se detectó los contaminantes que reducen el uso de aceite y por ende las horas de cambio.

Por su parte, GALARZA (2017) en su tesis “Plan de mantenimiento basado en el análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390fl de Stracon GyM – Cajamarca”, concluyó que se incrementó la disponibilidad mecánica de la excavadora 390FL en un 2.34%, antes de aplicar el plan de mantenimiento basado en los análisis de aceite se tenía una disponibilidad de 89.66% y posteriormente a la aplicación del plan de mantenimiento se logró un valor de 92%. Las horas promedio de parada fueron de 14.72 horas semanales, después de aplicar el plan de mantenimiento predictivo el tiempo promedio de parada se redujo a 11.32 horas semanales, se logró disminuir el tiempo de parada en 3.4 horas, siendo las horas de parada del equipo inversamente proporcional respecto a la disponibilidad. Las horas operativas del equipo se incrementó de 128.17 horas semanales a 130.31 horas semanales. Siendo esta una conclusión que contrasta los resultados obtenidos dado que mediante el análisis de aceite para mejorar la disponibilidad se mostró un incremento en el tiempo de vida útil, lo que traduce en una disminución en los tiempos de parada, lo que aumenta las horas operativas de la maquinaria y se obtiene un mejor uso de la misma. Por tanto y con el contraste de conclusiones de otros autores, se demostró que el análisis predictivo en el aceite contribuye a prevenir posibles daños a la maquinaria y a mantener la calidad del mismo, trayendo consigo reducción en los retrasos y costos extras en el mantenimiento.

Respecto a la Tercera hipótesis, evaluación del impacto total respecto a la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, optimiza los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. 2018.

Se evidenció que los periodos de cambio del aceite de motor aumentaron a las 750 horas de uso por la aplicación del mantenimiento predictivo de análisis de aceite, con un total de 10 mantenimientos preventivos de cambio de aceite, filtros y materiales al año. El sistema de transmisión aumentó a 1250 horas con 6 cambios de aceite y sistema hidráulico a 4000 horas con 2 cambios. Se realizó el análisis de la disponibilidad final del Montacargas

Caterpillar P33000 posterior a la aplicación de aceite, obteniendo una disponibilidad final de 99,50%.

Autores como HOFFMAN (2013) sostienen que algunos de los costos que se pueden generar debido al cambio de aceite contemplan los costos debido a la pérdida de producción, costos por papeleos producto de cronogramas de mantenimiento, costos debido a mano de obra, entre otros. Los mismos que deben tomarse en cuenta para la realización de costos adicionales asociados con la adquisición de lubricante.

Otros autores mediante sus conclusiones corroboran los resultados obtenidos como, MEDINA (2016) en su tesis “Análisis y monitoreo del aceite lubricante en la anticipación de fallas de maquinaria pesada, como herramienta de mantenimiento proactivo”, concluye que en los programas de mantenimiento predictivo, se logró disminuir tiempos de reparación por paradas correctivas, así aumentando la disponibilidad de los equipos a 97.38 %, reduciéndose los costos de materiales y repuestos en los equipos Volvo VM de \$ 76 437.276 a \$ 41 158.5 con la implementación de los análisis de aceite, logrando así un beneficio para la empresa de 46.15 % del presupuesto al poder ahorrar \$ 35 278.778 en todo el año. Esta conclusión contrasta con los resultados obtenidos, dado que se demuestra que efectivamente el análisis de aceite contribuye en la mejora de la disponibilidad, obteniendo beneficios económicos para la empresa, reducción de materiales y repuestos, traducidos en ahorro y ganancia para la empresa.

RIVERA (2016) en su tesis “Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos” concluye que en el caso del sistema SCL, no hubo tal problema debido a que la totalidad de fallas estaban cubiertas por el plan implementado, sin embargo no se lograron suprimir todos los eventos de falla, por varios motivos, entre ellos: la adquisición de mejores prácticas por parte de los ejecutores es muy lenta y no todas las buenas prácticas fueron puestas en funcionamiento, por otra parte el sistema SCL aún sigue teniendo un uso muy extremo con encendidos y apagados cada 1 [hr] y funcionamiento a full frío que congela los componentes y los daña. Lo expuesto, confirma lo identificado en nuestro estudio, ya que, si bien las especificaciones para el cambio y horas de uso del aceite se encuentran establecidas por el proveedor, estas se pueden ver influenciadas por el entorno y los contaminantes en el mismo que pueden o no afectar al aceite, por tanto, el desarrollo de medidas que ayuden a

evaluar el impacto del medio ambiente en el aceite ayuda a determinar con mayor realismo su vida útil.

Finalmente, las conclusiones de otros autores y los resultados obtenidos evidencian un aumento de la disponibilidad en un 1,11 % luego de la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite; así mismo se observó un ahorro en los costos de mantenimiento de \$34 393,88 dólares americanos por un año de operación del equipo Montacargas P33000, corroborando de esta manera la hipótesis: El mantenimiento predictivo por análisis de aceite optimiza los costos operativos por disponibilidad de los Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica de Perú S.A.A., sin embargo esta se da en un ambiente en específico por lo que no se puede afirmar que se puedan apreciar beneficios económicos para todas las empresas del mismo rubro.

V. CONCLUSIONES

Luego de la obtención de los resultados y la discusión sobre el objetivo de optimizar los costos operativos por disponibilidad, aplicando el mantenimiento predictivo por análisis de aceite, de los montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. se concluye lo siguiente:

Referente al diagnóstico de la disponibilidad inicial, se determinó la disponibilidad más crítica en un 98,40 %, teniendo un costo inicial de \$55 144,40 dólares americanos, esta sirvió finalmente para la realizar una comparación con respecto a la disponibilidad final lo que ayuda a observar un ahorro en los costos operativos referido al montacarga Caterpillar P33000.

Al aplicar el mantenimiento predictivo por análisis de aceite y realizar los gráficos estadísticas de tendencia con la guías de los límites máximos permisibles del nivel de contaminación, se sustenta el alargue del periodo de los cambios de aceite aprovechando de mejor manera la maquinaria, reduciendo las paradas y optimizando los costos operativos. Se determinó que la cantidad de elementos contaminantes en el aceite pueden variar radicalmente dependiendo del ambiente donde los montacargas realizan sus operaciones.

Referente a la evaluación del impacto total, se observó un aumento en la disponibilidad del montacarga del 1,11% luego de aplicar el mantenimiento predictivo por el análisis de aceite, lo cual se traduce en un ahorro en los costos operativos del montacarga P33000 en \$34 393,88 dólares americanos en un año de operación del equipo, confirmando la hipótesis de la optimización de los costos operativos.

VI. RECOMENDACIONES.

Se recomienda mantener un registro constante de las paradas de las maquinarias y las horas destinadas al mantenimiento, a fin de obtener un historial más amplio de los mismos, lo cual permita obtener mayor precisión respecto a la disponibilidad inicial durante periodos de tiempo mayores a un año.

Se recomienda analizar el aceite a las 750 horas de uso de aceite en caso del motor, 1250 horas de uso de aceite en el caso del sistema de transmisión y 4000 horas de uso de aceite en caso del sistema hidráulico, con el fin de corroborar que los contaminantes no superen los límites máximos permisibles durante al menos 1 año. Puesto que los resultados obtenidos pueden servir de guía para investigaciones futuras, las mismas no se pueden aplicar de manera general a toda empresa del mismo rubro, debiendo hacer un estudio de similar índole.

Se recomienda a las empresas de similar rubros realizar un estudios previos con el fin de identificar posibles contaminantes provenientes del medio ambiente que puedan producir un deterioro acelerado en la condición del aceite que mermen la horas de uso del mismo, con el fin de evitar gastos excesivos, por el contrario explotar de manera más eficiente sus recursos.

VII. REFERENCIAS

4.1 Referencias bibliográficas.

ANTON, Fernando y GIOVANNINI, Oscar. Costos industriales. Córdoba: Editorial científica universitaria, 2006. 110pp.

ISBN: 9879406030

ARDILLA , Juan, y otros. La gerencia de mantenimiento: Una revisión. 2, 2016, Vol. 14, ISSN 1692-8563, pp. 16.

CALDERON Paubla y LOPEZ Mayra. Plan de monitoreo y control a través de los análisis de aceite para motor y transmisión de vehículos articulados Mercedes para la empresa sistemas operativos móviles - Somos K. S. A. Tesis (Ingeniero Mecánico). Bogotá: Universidad distrital Francisco José de Caldas, Facultad tecnológica Ingeniería Mecánica. 2016. 64 pp.

CERVANTES Raúl. Caracterización de la degradación del aceite lubricante en automotores de ciclo diésel. Tesis (Ingeniero Químico). Quito: Universidad central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, 2015. 239 pp.

D´ALESSIO, Fernando. Administración y dirección de la producción. 2ª Ed. México: Cámara nacional de la industria, 2004. 577pp.

ISBN: 9702605431

GALARZA, James. Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390fl de Stracon GyM – Cajamarca. Tesis (Ingeniero mecánico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2017. 136pp.

GARCIA, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Díaz de santos S.A. 2003. 297pp.

ISBN: 8479785489

GONZÁLEZ, Francisco. Teoría y práctica de mantenimiento industria Avanzado. 2ª ed. España: Artegraf S.A, 2005. 462pp.

ISBN: 8496169499

HERNANDEZ, Sampieri, R. y otros. Metodología de la investigación científica. Mac Graw Hill. México, 2006. 288 pp.

MEDINA, Jorge. Análisis y monitoreo del aceite lubricante en la anticipación de fallas de maquinaria pesada, como herramienta de mantenimiento proactivo. Tesis (Ingeniero Mecánico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Escuela de Ingeniería Mecánica 2016. 218 pp.

MORA, Luis. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. 1ª. Ed. Colombia: Alfaomega Colombiana S.A, 2009. 528pp.
ISBN: 9789586827690

MONTILLA, Carlos. Fundamentos del mantenimiento industrial. Colombia: Universidad tecnológica de Pereira, 2016. 205pp.
ISBN: 9789587222388

PALMA María y PALMA Edwin. Análisis de los costos operativos y su incidencia en los resultados de las operaciones de la compañía de automatización y control GENESYS S.A. periodo 2013. Tesis (Ingeniero en contabilidad y auditoría). Guayaquil: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Facultad de administración, 2015. 118 pp.

QUIÑONES, M., PRIETO, A. y LLANES, O. Una propuesta para configurar el algoritmo Fast ICA en el diagnostico de fallos en el sistema industrial. 2014, Vol. 35, ISSN 1815 - 5928, pp. 16.

RIVERA Luis y SANTIAGO Abraham. Diagnóstico del estado de los transformadores de potencia de las centrales molino y mazar basado en análisis de aceite. Tesis (Ingeniero Eléctrico). Cuenca: Universidad de Cuenca Ecuador, Facultad de Ingeniería, 2016. 144 pp.

RIVERA José. Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos. Tesis (Magister en gestión y dirección de empresas). Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, 2015 42 pp.

SANTOS, Javier. WYSK, Richard. TORRES, José. Mejorando la producción con lean thinking. Madrid: Grupo Anaya S.A. 2006. 289pp.

ISBN: 9788436824223

TROYER, Drew y FITCH, James. Oil analysis basics. 2a. Ed. México: Noria Latín América, S.A. 2004. 184pp.

ISBN: 978-0967596419

TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis de aceite usado. 1ª ed. España: Reverte S.A, 2005. 351pp.

ISBN: 8429147020

SÁNCHEZ, Ana. Técnicas de mantenimiento predictivo. Metodología de aplicación en las organizaciones. Tesis (Ingeniero Industrial). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, 2017. 72pp.

4.2 Bibliografía.

ANTON, Fernando y GIOVANNINI, Oscar. Costos industriales. Córdoba: Editorial científica universitaria, 2006. 110pp.

ISBN: 9879406030

D´ALESSIO, Fernando. Administración y dirección de la producción. 2ª Ed. México: Cámara nacional de la industria, 2004. 577pp.

ISBN: 9702605431

MORA, Luis. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. 1ª. Ed. Colombia: Alfaomega Colombiana S.A, 2009. 528pp.

ISBN: 9789586827690

MONTILLA, Carlos. Fundamentos del mantenimiento industrial. Colombia: Universidad tecnológica de Pereira, 2016. 205pp.

ISBN: 9789587222388

TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis de aceite usado. 1ª ed. España: Reverte S.A, 2005. 351pp.

ISBN: 8429147020

4.1 Linkografía

ALTMANN, Carolina (2015). El análisis de aceite como herramienta del Mantenimiento Proactivo en flotas de Maquinaria Pesada. Recuperado de https://www.uruman.org/sites/default/files/articulos/analisis_aceite_mantenimiento_proactivo_flotas_maquinaria_pesada.pdf.

CALDERON Paubla y LOPEZ Mayra. Plan de monitoreo y control a través de los análisis de aceite para motor y transmisión de vehículos articulados Mercedes para la empresa sistemas operativos móviles - Somos K. S. A. Tesis (Ingeniero Mecánico). Bogotá: Universidad distrital Francisco José de Caldas, 2016.
Disponible en <http://hdl.handle.net/11349/4790>

CERVANTES Raúl. Caracterización de la degradación del aceite lubricante en automotores de ciclo diésel. Tesis (Ingeniero Químico). Quito: Universidad central del Ecuador, 2015.

Fecha de consulta: 07 de junio del 2018.

Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4770>

GALARZA, James. Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390fl de Stracon GyM – Cajamarca. Tesis (Ingeniero mecánico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017.

Fecha de consulta: 04 de junio del 2018.

Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3668>

HOFFMAN, Piet (2013). Extensión de los intervalos de cambio de aceite en maquinaria pesada de minería.

Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/extension-de-los-intervalos-de-cambio-de-aceite-en-maquinaria-pesada-de-mineria>.

LEÓN Luis, Mantenimiento proactivo basado en el análisis y monitoreo de aceite lubricante aplicado a la flota de tracto camiones Freightliner. Tesis (Ingeniero mecánico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2017.

Fecha de consulta: 04 de junio del 2018.

Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9492>

MEDINA, Jorge. Análisis y monitoreo del aceite lubricante en la anticipación de fallas de maquinaria pesada, como herramienta de mantenimiento proactivo. Tesis (Ingeniero Mecánico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2016.

Fecha de consulta: 05 de junio del 2018.

Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9278>.

PALMA María y PALMA Edwin. Análisis de los costos operativos y su incidencia en los resultados de las operaciones de la compañía de automatización y control GENESYS S.A. Periodo 2013. Tesis (Ingeniero en contabilidad y auditoría). Guayaquil: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, 2015.

Fecha de consulta: 02 de junio del 2018.

Disponible en <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/845>.

RIVERA Luis y SANTIAGO Abraham. Diagnóstico del estado de los transformadores de potencia de las centrales molino y mazar basado en análisis de aceite. Tesis (Ingeniero Eléctrico). Cuenca: Universidad de Cuenca Ecuador, 2016.

Fecha de consulta: 03 de junio del 2018.

Disponible en <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25891>.

RIVERA José. Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos. Tesis (Magister en gestión y dirección de empresas). Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2015.

Fecha de consulta: 29 de mayo del 2018.

Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/136233>.

ANEXOS.

Anexo 1. Fórmula de Tasa de Fallas.

Fuente: Confiabilidad en Ingeniería. (Zapata Carlos, 2011, pág.26)

Anexo 2. Fórmulas de MTBF y MTTR.

Fórmula de Tiempo Medio entre Fallas o MTBF:

Fórmula del Tiempo Medio de Reparación o MTTR:

Fuente: Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. (Mora Alberto, 2009, pág.79)

Anexo 3. Fórmula de disponibilidad.

La fórmula de la disponibilidad es:

Dónde:

MTBF: Mean Time Between Failures o Tiempo medio entre fallas

MTTR: Mean Time To Repair o Tiempo medio de reparación

Fuente: Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. (Mora Alberto, 2009, pág.80)

Anexo 4. Fórmulas de Impacto.

Impacto respecto a la disponibilidad:

Impacto respecto al costo:

Anexo 5. Matriz de consistencia.

| PROBLEMA PRINCIPAL | OBJETIVO PRINCIPAL | HIPÓTESIS PRINCIPAL | JUSTIFICACIÓN | VARIABLES | INDICADORES | TIPO Y DISEÑO | |
|---|--|--|---|--|--|--|---------|
| ¿De qué manera se optimizará los costos operativos por disponibilidad, aplicando el mantenimiento predictivo por análisis de aceite, de los Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018. | Optimizar los costos operativos por disponibilidad, aplicando el mantenimiento predictivo por análisis de aceite, de los Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018. | El mantenimiento predictivo por análisis de aceite optimiza los costos operativos por disponibilidad de los Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018. | La presente investigación, es de gran importancia para la empresa respecto de los costos operativos, ya que la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, permitirá reducir el número de paradas para cambios de aceite, de los Montacargas P33000, conllevando a incrementar la disponibilidad del equipo y optimizar los costos que incurren en ella. Asimismo, permitirá determinar un diagnóstico de las características del aceite lubricante, con el cual se logrará incrementar la disponibilidad, evitando los tiempos muertos por traslados y paradas en los talleres; del mismo modo, permitirá reducir el consumo de este lubricante, por el adecuado uso dentro de su vida útil, aspecto que se logrará determinar a través del diagnóstico de los tiempos medios entre fallas (TMPF) . (INTI y ALVAREZ. 2018) | <p>X: MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE ACEITE.</p> <p>Y: COSTOS OPERATIVOS POR DISPONIBILIDAD</p> | | | |
| PROBLEMAS ESPECÍFICOS | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | HIPÓTESIS ESPECÍFICAS | | | | | |
| 1. ¿De qué manera el diagnóstico de la disponibilidad inicial, optimizará los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018? | 1. Diagnosticar la disponibilidad inicial, para optimizar los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018. | 1. El diagnóstico de la disponibilidad inicial, optimiza los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018. | | | <p>D1: Diagnóstico de disponibilidad y costos</p> <p>Y: Costos Operativos por Disponibilidad</p> | <ul style="list-style-type: none"> * MTBF * MTTR * Costos Operativos | Razón |
| 2. ¿De qué manera la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, optimizará los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018? | 2. Aplicar el mantenimiento predictivo por análisis de aceite para optimizar los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018. | 2. La aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, optimiza los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018. | | | <p>D2: Análisis de aceite</p> <p>Y: Costos Operativos por Disponibilidad.</p> | <ul style="list-style-type: none"> * Viscosidad * Hollín * PQI * Sólidos en suspensión * Oxidación y nitración * Sulfatación | Nominal |
| 3. ¿De qué manera la evaluación del impacto total respecto a la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, optimizará los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. 2018? | 3. Evaluar el impacto total respecto a la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite para optimizar los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. 2018. | 3. La evaluación del impacto total respecto a la aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, optimiza los costos operativos por disponibilidad de Montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. 2018. | | <p>D3: Impacto Total de costos</p> <p>Y: Costos Operativos por Disponibilidad.</p> | <ul style="list-style-type: none"> * Impacto Total = $(Df - Di)/Df * 100\%$ | Razón | |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6. Matriz de antecedentes de la variable X.


| X: MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANALISIS DE ACEITE | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------|
| DIMENSIONES TENTATIVAS | DESGASTE DE COMPONENTES | DISPONIBILIDAD | ANALISIS DE ACEITE | DIAGNOSTICO | MANTENIMIENTO | ANALISIS DE ACEITE | MANTENIMIENTO PREDICTIVO | IMPACTO TOTAL |
| ANTECEDENTES | | | | | | | | |
| TESIS | | | | | | | | |
| TITULO: PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE PARA MEJORAR LA PONIBILIDAD DE LA EXCAVADORA CATERPILLAR 390FL DE STRACON GYM – CAJAMARCA AUTOR : JAMES ANDERSON GALARZA MENDOZA | | X | X | X | X | X | | X |
| TITULO: ANÁLISIS DE LA DEGRADACION DE ACEITES LUBRICANTES Y PROPUESTA DE PLANES DE MEJORA PARA EL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO PESADO DEL ILUSTRE MUNICIPIO DEL CANTÓN ARCHIDONA” AUTORES: LUIS GIOVANNI VITERI BONILLA, JUAN CARLOS JARAMILLO HIDALGO | | | X | X | | X | X | X |
| TITULO : ESTUDIO DE PRE - FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE ANÁLISIS DE LUBRICANTES EN EL PERÚ” PALOMINO JHANSSEN DANILO POMA HUAUYA DAVID ALFREDO AUTOR: AZAÑERO | | X | | | | X | | X |
| TITULO MODELO TECNOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LA MICRO EMPRESA -EDICIÓN ÚNICA AUTOR: HUMBERTO MORENO POSADA | | X | X | X | | X | X | X |
| TEMA: ANALISIS Y MONITOREO DEL ACEITE LUBRICANTE EN LA ANTICIPACION DE FALLAS DE MAQUINARIA PESADA, COMO HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PROACTIVO” AUTOR: Br. JORGE HERNAN MEDINA MEDINA, | X | | X | X | | | | X |
| TEMA: INCREMENTO DE LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA, PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS OPERATIVOS DE LAS EXCAVADORAS “CAT 336” DE LA EMPRESA STRACON GYM S.A. AUTOR: JUMBO ALEJANDRO JOSÉ GEOVANY | | X | | X | | X | | |
| TEMA: ESTUDIO DE PRE - FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE ANÁLISIS DE LUBRICANTES EN EL PERÚ. AUTORES: AZAÑERO PALOMINO JHANSSEN DANILO, POMA HUAUYA DAVID ALFREDO | X | | | X | | X | | X |
| TEMA : MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANÁLISIS DE ACEITE PARA UNA FLOTILLA DE CAMIONES DE CERVECERÍA CENTROAMERICANA AUTOR: JULIO CESAR CÁRDENAS MIRÓN | X | X | X | X | | | X | X |
| TEMA: MODELO DE TOMA DE DECISIONES DE MANTENIMIENTO PARA EVALUAR IMPACTOS EN DISPONIBILIDAD, MANTENIBILIDAD, CONFIABILIDAD Y COSTOS. AUTOR: JOSÉ LUIS RIVERA ESTAY | X | | X | X | | X | | X |
| TEMA: 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 AUTOR: Williams José Monroy Bernal | X | | X | X | | X | X | X |
| TOTAL | 5 | 5 | 7 | 9 | 1 | 8 | 4 | 9 |
| | | | | DIAGNOSTICO | | ANALISIS DE ACEITE | | IMPACTO TOTAL |

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Matriz de antecedentes de la variable Y.


| Y: COSTOS OPERATIVOS POR DISPONIBILIDAD | | | | | | | | |
|--|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------|
| DIMENSIONES TENTATIVAS | COSTOS UNITARIOS | PROCESOS EN LINEA | DISPONIBILIDAD INICIAL | Logística | EFFECTIVIDAD | DISPONIBILIDAD INICIAL | COSTO Y RENTABILIDAD | IMPACTO |
| ANTECEDENTES | | | | | | | | |
| TESIS | | | | | | | | |
| TEMA: REDUCCIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS EN MINA, MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DE LOS ÁNDARES DE LAS OPERACIONES UNITARIAS DE PERIORIZACIÓN Y VOLADURA. AUTOR: OSCAR ALBERTO JÁUREGUI AQUINO | X | | X | | | X | | |
| TEMA: PROPUESTA DE MEJORA EN LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN Y SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA LINEA DE RODUCCION DE PLATAFORMAS DE LA EMPRESA CONSERMET S.A.C. AUTORES : DEL ÁGUILA CHANG, MARÍA ESTELA; VILLENA NÚÑEZ, DIEGO ANDRÉS | | X | | | | X | | |
| TEMA: ESTRUCTURA Y ASIGNACIÓN DEL COSTO TOTAL, DEL SERVICIO DE TRANSPORTE DE CARGA POR CARRETERA EN UNA RUTA CORTA, EN LA EMPRESA DE TRANSPORTE “LA MISERICORDIA SAC” DEL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE. HELG A FANY LÓPEZ BETANCOHURT AUTOR: | X | | X | | | | | X |
| TEMA: IPROUESTA DE MEJORA EN LAS ÁREAS DE CALIDAD Y LOGÍSTICA MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING PARA REDUCIR LOS COSTOS OPERATIVOS EN LA EMPRESA MOLINO SAMÁN S.R.L. BERNAL, ANGIE MICHELLE; SICCHA CAMACHO, BLISIA JUDIT. AUTOR: MATTOS | | | X | X | | X | | X |
| TEMA: ANÁLISIS DE LOS COSTOS OPERATIVOS Y SU INCIDENCIA EN LOS RESULTADOS DE LAS OPERACIONES DE LA COMPAÑÍA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL GENESYS S.A. PERIODO 2013. AUTOR: MARÍA JOSÉ PALMA MARÍN; ERWIN DAVID PALMA PAREDES | | | X | | X | | X | X |
| TEMA: OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS EN LA UNIDAD CERRO CHICO AUTOR: LUIS ALBERTO MENDIETA BRITTO | | X | | X | | | | |
| TEMA : ANÁLISIS DE LA PLANIFICACIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS POLAR COMERCIAL PLANTA ENLATADOS MARIGUITAR, ESTADO SUCRE AUTOR: DE GÁRATE G. MARYFÉ., HERNANDEZ G. JOHAN A., SIFONTES B. HECTOR A. | X | | | X | | X | | X |
| TEMA: ANÁLISIS DE LOS COSTOS OPERATIVOS Y SU NCIDENCIA EN LOS RESULTADOS DE LAS OPERACIONES DE LA COMPAÑÍA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL GENESYS S.A. PERIODO 2013. AUTOR: LIVIA OFELIA RODRIGUEZ LUEVANO. | | X | X | | | X | X | X |
| TEMA : EL SISTEMA DE COSTOS ABC Y SU INCIDENCIA EN LA RENTABILIDAD DE LA EMPRESA DE CALZADOS RIP LAND S.A.C. CECILIA VERÓNICA, CHÁVEZ GARCÍA, TEREZA LEONOR AUTOR : BENITES CASTRO, | X | | X | | X | X | | |
| TEMA: DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA EL CONTROL DE COSTOS OPERATIVOS DE LA COOPERATIVA TULSI-RL MEDIANTE EL USO DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN VISUAL C# EN EL PERIODO COMPRENDIDO DE JUNIO A AGOSTO DEL 2015. GARCÍA AUTORES : KENIA PATRICIA ROMÁN | X | | X | | X | | X | X |
| | 5 | 3 | 7 | 3 | 3 | 6 | 3 | 6 |
| | | 0 | 0 | | 0 | | | IMPACTO |

Anexo 8. Formato especificaciones técnicas del equipo.

| | | | | | | | |
|---|---|---|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
|  | | MONTACARGA P33000 | | | | | |
| | | AREA DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS | | | | | |
| | | FORMATO DE HOJA DE VIDA DE EQUIPOS | | | | | |
| | | CODIGO: 01 | | VIGENTE DESDE: 08/04/2017 | | VERSION: 01 | |
| SERVICIO: | DESPACHO DE VARILLA DE FIERRO CORRUGADO | | | UBICACIÓN: | SIDERPERU | | |
| NOMBRE DEL EQUIPO: | MONTACARGA CATERPILLAR P33000 | | | | | | |
| MARCA: | CATERPILLAR | | MODELO: | P33000 | | | |
| SERIE | T39A10851 | | IDENTIFICACION | 04-66 | | | |
| ACCESORIOS | | | | | | | |
| | TIPO | | MODELO | | SERIE | | |
| | MASTIL SIMPLE P/MONTACARGA | | 239 | | MK46 | | |
| | INTEGRAL FORK POSITIONER | | 330J | | 330J-FS | | |
| | SOLENOID ADAPTION GROUP | | W/KNOB | | 6821722 | | |
| | THINLINE HOSE REEL | | | | 673598 | | |
| FABRICANTE: | | | | | | | |
| | CATERPILLAR | | PAIS: | ESTADOS UNIDOS | | TELEFONO: | |
| DISTRIBUIDOR: | | | | | | | |
| | FERREYROS S.A | | CIUDAD: | LIMA | | TELEFONO: | |
| REPRESENTANTE: | | | | | | | |
| | SUCURSAL FERREYROS S.A | | CIUDAD: | CHIMBOTE | | TELEFONO: | |
| AÑO DE FABRICACIÓN: | | | | | | | |
| | 2016 | | VALOR: | \$ 150 000 | | GARANTIA: | |
| FECHA DE COMPRA: | | | | | | | |
| | 02/01/2017 | | INSTALACIÓN: | 01/03/2018 | | INICIO OPERACIÓN: | |
| | | | | 26/03/2017 | | | |
| TIPO DE ADQUISICIÓN | | | | | | | |
| COMPRA | <input checked="" type="checkbox"/> | TIPO DE MANTENIMIENTO | | FUENTES DE ALIMENTACIÓN | | CLASIFICACIÓN POR USO | |
| COMODATO | <input type="checkbox"/> | PREVENTIVO | <input checked="" type="checkbox"/> | AGUA | <input type="checkbox"/> | MEDICO | |
| DONACIÓN | <input type="checkbox"/> | CORRECTIVO | <input checked="" type="checkbox"/> | AIRE | <input type="checkbox"/> | BÁSICO | |
| OTROS | <input type="checkbox"/> | PREDICTIVO | <input type="checkbox"/> | GAS | <input type="checkbox"/> | APOYO | |
| | | MANTENIMIENTO: | | VAPOR | <input type="checkbox"/> | EQUIPO | |
| | | PROPIO | <input type="checkbox"/> | ELECTRICIDAD | <input type="checkbox"/> | FIJO | |
| | | CONTRATADO | <input checked="" type="checkbox"/> | OTROS | <input checked="" type="checkbox"/> | MOVIL | |
| | | | | DIESEL | | | |
| CLASIFICACION | | | | | | | |
| MOTOR | <input checked="" type="checkbox"/> | TECNOLOGIA PREDOMINANTE | | URGENCIA | | | |
| CAJA | <input checked="" type="checkbox"/> | MECANICO | <input type="checkbox"/> | MUY ALTA | | | |
| CORONA | <input checked="" type="checkbox"/> | ELECTRICO | <input type="checkbox"/> | ALTA | | | |
| MANDOS | <input type="checkbox"/> | ELECTRÓNICO | <input checked="" type="checkbox"/> | MODERADA | | | |
| HIDRÁULICO | <input checked="" type="checkbox"/> | HIDRAULICO | <input type="checkbox"/> | BAJA | | | |
| | | NEUMATICO | <input type="checkbox"/> | | | | |
| CARACTERISTICAS TÉCNICAS | | | | | | | |
| VOLTAJE | V | | PRESSION (PSI) | | FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO | | |
| AMPERAJE | A | | VEL. (RPM) | | 15 DIAS | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| POTENCIA | KW | | TEMP. (°C) | | 6 MESES | <input type="checkbox"/> | |
| FRECUENCIA | HZ | | PESO (Kg) | | 4 MESES | <input type="checkbox"/> | |
| CAPACIDAD | KG | | VIDA UTIL | | 12 MESES | <input type="checkbox"/> | |
| | | | | | MANUALES | | |
| | | | | | SERVICIO | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| | | | | | USUARIO | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| | | | | | COMPONENTES | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| | | | | | DESPIECE | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| CARACTERISTICAS: | | | | | | | |
| RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE: | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9. Formato general de datos de equipo.

| FICHA TÉCNICA MONTACARGAS | | | |
|--|-----------------|--|-----------------------------|
| SIDERPERU – EQUIPOS TRANSPORTE | |  | |
| OBJETO DE MANTENIMIENTO | | | |
| NOMBRE | MARCA | | |
| Montacargas | Caterpillar | | |
| MODELO | SERIE | | |
| P33000 | T39A10851 | | |
| DIMENSIONES | | | |
| PESO | | | |
| 18050 Kg | | | |
| ALTURA | | | |
| 5.50 m | | | |
| LONGITUD | | | |
| 3.83 | | | |
| ANCHO | | | |
| 2.60 m | | | |
| DESCRIPCIÓN DE MONTACARGAS CATERPILLAR P33000 | | | |
| | | | |
| PAÍS DEL PROVEEDOR | FECHA DE COMPRA | ORDEN DE COMPRA | FECHA DE FUNCIONAMIENTO |
| ESTADOS UNIDOS | 2016 | 2016 | 06-03-2017 |
| COSTO DEL EQUIPO | GARANTÍA | ÁREA DE UBICACIÓN DEL EQUIPO | |
| \$ 150000 | 1 AÑO | SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A.A. | |
| SISTEMAS Y COMPONENTES DEL MONTACARGAS | | | |
| SISTEMAS | | COMPONENTES | |
| SISTEMA DE MOTOR | | | |
| SISTEMA HIDRÁULICO | | | |
| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MONTACARGAS | | | |
| CAPACIDAD TOTAL (TN) | RADIO GIRO (mm) | ALTURA DE ELEVACIÓN MÁXIMA DE LA CARGA (m) | ANCHO TOTAL DE LA CARGA (m) |
| 15 TN | | 3.39 m | 3.38 m |
| MANTENIMIENTO A NIVEL USUARIO | | | |
| | | | |

Fuente: Caterpillar.

Anexo 10. Formato del historial de equipo.

| HISTORIAL DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------|
| EQUIPO: | | MONTACARGA CATERPILLAR | | | | | | | |
| MODELO: | | P33000 | N° SERIE: | T39A10851 | N° INTERNO | 04-.66 | | | |
| N° | N° O/T | DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD | Fecha de Ejecución | Materiales Utilizados | Repuestos Utilizados | M.O. Utilizada | H.H Utilizadas | Horas de Parada | Tipo Mto. |
| 1 | SD04077 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 26/03/2017 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 2 | SD04082 | Mantenimiento preventivo 500 horas | 07/04/2017 | Disolvente | Filtro aceite motor | 9 | 9 | 9 | PM2 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de transmisión | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| | | | | | Aceite Cat TO-4 SAE 30 | | | | |
| 3 | SD04099 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 19/04/2017 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 4 | SD04110 | Mantenimiento preventivo 1000 horas | 02/05/2017 | Disolvente | Filtro aceite motor | 9 | 9 | 9 | PM3 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de transmisión | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| | | | | | Aceite Cat TO-4 SAE 30 | | | | |
| 5 | SD04131 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 14/05/2017 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 6 | SD04145 | Mantenimiento preventivo 500 horas | 26/05/2017 | Disolvente | Filtro aceite motor | 9 | 9 | 9 | PM2 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de transmisión | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| | | | | | Aceite Cat TO-4 SAE 30 | | | | |
| 7 | SD04163 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 09/06/2017 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 8 | SD04189 | Mantenimiento preventivo 2000 horas | 21/06/2017 | Disolvente | Filtro motor/transmisión | 12 | 12 | 12 | PM4 |
| | | | | Paños absorbente | Aceite SAE 15w40/TO-30 | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Filtro combustible/Hidráulico | | | | |
| | | | | | Aceite HYDO SAE 10W | | | | |
| 9 | SD04204 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 03/07/2017 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 10 | SD04235 | Mantenimiento preventivo 500 horas | 16/07/2017 | Disolvente | Filtro aceite motor | 9 | 9 | 9 | PM2 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de transmisión | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| | | | | | Aceite Cat TO-4 SAE 30 | | | | |
| 11 | SD04251 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 28/07/2017 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 12 | SD04277 | Mantenimiento preventivo 1000 horas | 10/08/2017 | Disolvente | Filtro aceite motor | 9 | 9 | 9 | PM3 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de transmisión | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| | | | | | Aceite Cat TO-4 SAE 30 | | | | |
| 13 | SD04281 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 23/08/2017 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 14 | SD04289 | Mantenimiento preventivo 500 horas | 04/09/2017 | Disolvente | Filtro aceite motor | 9 | 9 | 9 | PM2 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de transmisión | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| | | | | | Aceite Cat TO-4 SAE 30 | | | | |
| 15 | SD04293 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 17/09/2017 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 16 | SD04381 | Mantenimiento preventivo 2000 horas | 01/10/2017 | Disolvente | Filtro motor/transmisión | 12 | 12 | 12 | PM4 |
| | | | | Paños absorbente | Aceite SAE 15w40/TO-30 | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Filtro combustible/Hidráulico | | | | |
| | | | | | Aceite HYDO SAE 10W | | | | |

| N° | N° O/T | DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD | Fecha de Ejecución | Materiales Utilizados | Repuestos Utilizados | M.O. Utilizada | H.H Utilizadas | Horas de Parada | Tipo Mto. |
|----|---------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------|
| 17 | SD04392 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 12/10/2017 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 18 | SD04423 | Mantenimiento preventivo 500 horas | 26/10/2017 | Disolvente | Filtro aceite motor | 9 | 9 | 9 | PM2 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de transmisión | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| | | | | | Aceite Cat TO-4 SAE 30 | | | | |
| 19 | SD04439 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 07/11/2017 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 20 | SD04444 | Mantenimiento preventivo 1000 horas | 20/11/2017 | Disolvente | Filtro aceite motor | 9 | 9 | 9 | PM3 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de transmisión | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| | | | | | Aceite Cat TO-4 SAE 30 | | | | |
| 21 | SD04456 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 02/12/2017 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 22 | SD04461 | Mantenimiento preventivo 500 horas | 26/12/2017 | Disolvente | Filtro aceite motor | 9 | 9 | 9 | PM2 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de transmisión | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| | | | | | Aceite Cat TO-4 SAE 30 | | | | |
| 23 | SD04468 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 10/01/2018 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 24 | SD04476 | Mantenimiento preventivo 2000 horas | 22/01/2018 | Disolvente | Filtro motor/transmisión | 12 | 12 | 12 | PM4 |
| | | | | Paños absorbente | Aceite SAE 15w40/TO-30 | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Filtro combustible/Hidráulico | | | | |
| | | | | | Aceite HYDO SAE 10W | | | | |
| 25 | SD04480 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 05/02/2018 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 26 | SD04491 | Mantenimiento preventivo 500 horas | 20/02/2018 | Disolvente | Filtro aceite motor | 9 | 9 | 9 | PM2 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de transmisión | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| | | | | | Aceite Cat TO-4 SAE 30 | | | | |
| 27 | SD04499 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 06/03/2018 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 28 | SD04503 | Mantenimiento preventivo 1000 horas | 19/03/2018 | Disolvente | Filtro aceite motor | 9 | 9 | 9 | PM3 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de transmisión | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| | | | | | Aceite Cat TO-4 SAE 30 | | | | |
| 29 | SD04512 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 31/03/2018 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 30 | SD04535 | Mantenimiento preventivo 500 horas | 13/04/2018 | Disolvente | Filtro aceite motor | 9 | 9 | 9 | PM2 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de transmisión | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| | | | | | Aceite Cat TO-4 SAE 30 | | | | |
| 31 | SD04561 | Mantenimiento preventivo 250 horas | 27/04/2018 | Disolvente | Filtro de aceite motor | 4 | 4 | 4 | PM1 |
| | | | | Paños absorbente | Filtro de combustible | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Aceite Cat Deo 15w40 | | | | |
| 32 | SD04587 | Mantenimiento preventivo 2000 horas | 11/05/2018 | Disolvente | Filtro motor/transmisión | 12 | 12 | 12 | PM4 |
| | | | | Paños absorbente | Aceite SAE 15w40/TO-30 | | | | |
| | | | | Trapo industrial | Filtro combustible/Hidráulico | | | | |
| | | | | | Aceite HYDO SAE 10W | | | | |

Fuente: Archivos del historial de mantenimiento preventivo del montacarga 2017-2018.

Anexo 11. Formato de control de operación de equipo.

| CONTROL OPERACIÓN DE EQUIPO | | | | | | |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------|
| EQUIPO: | | MONTACARGA CATERPILLAR P33000 | | | | |
| N° SERIE | T39A10851 | MODELO | P33000 | N° INTERNO | 04.-66 | |
| N° O/T | Fecha inicio operación equipo | Horas de Operación | Fecha ingreso a taller | Horas en taller | N° de parada | Tipo Mto. |
| SD04077 | 26/03/2017 | 252 | 26/03/2017 | 4 | 1 | PM1 |
| SD04082 | 07/04/2017 | 500 | 07/04/2017 | 9 | 2 | PM2 |
| SD04099 | 19/04/2017 | 754 | 19/04/2017 | 4 | 3 | PM1 |
| SD04110 | 02/05/2017 | 1001 | 02/05/2017 | 9 | 4 | PM3 |
| SD04131 | 14/05/2017 | 1253 | 14/05/2017 | 4 | 5 | PM1 |
| SD04145 | 26/05/2017 | 1505 | 26/05/2017 | 9 | 6 | PM2 |
| SD04163 | 09/06/2017 | 1751 | 09/06/2017 | 4 | 7 | PM1 |
| SD04189 | 21/06/2017 | 2005 | 21/06/2017 | 12 | 8 | PM4 |
| SD04204 | 03/07/2017 | 2250 | 03/07/2017 | 4 | 9 | PM1 |
| SD04235 | 16/07/2017 | 2504 | 16/07/2017 | 9 | 10 | PM2 |
| SD04251 | 28/07/2017 | 2751 | 28/07/2017 | 4 | 11 | PM1 |
| SD04277 | 10/08/2017 | 3002 | 10/08/2017 | 9 | 12 | PM3 |
| SD04281 | 23/08/2017 | 3250 | 23/08/2017 | 4 | 13 | PM1 |
| SD04289 | 04/09/2017 | 3505 | 04/09/2017 | 9 | 14 | PM2 |
| SD04293 | 17/09/2017 | 3753 | 17/09/2017 | 4 | 15 | PM1 |
| SD04381 | 01/10/2017 | 4001 | 01/10/2017 | 12 | 16 | PM4 |
| SD04392 | 12/10/2017 | 4256 | 12/10/2017 | 4 | 17 | PM1 |
| SD04423 | 26/10/2017 | 4503 | 26/10/2017 | 9 | 18 | PM2 |
| SD04439 | 07/11/2017 | 4753 | 07/11/2017 | 4 | 19 | PM1 |
| SD04444 | 20/11/2017 | 5005 | 20/11/2017 | 9 | 20 | PM3 |

| N° O/T | Fecha inicio operación equipo | Horas de operación | Fecha ingreso a taller | Horas en taller | N° de parada | Tipo Mto. |
|---------------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|------------------|
| SD04456 | 02/12/2017 | 5251 | 02/12/2017 | 4 | 21 | PM1 |
| SD04461 | 26/12/2017 | 5503 | 26/12/2017 | 9 | 22 | PM2 |
| SD04468 | 10/01/2018 | 5751 | 10/01/2018 | 4 | 23 | PM1 |
| SD04476 | 22/01/2018 | 6008 | 22/01/2018 | 12 | 24 | PM4 |
| SD04480 | 05/02/2018 | 6252 | 05/02/2018 | 4 | 25 | PM1 |
| SD04491 | 20/02/2018 | 6501 | 20/02/2018 | 9 | 26 | PM2 |
| SD04499 | 06/03/2018 | 6753 | 06/03/2018 | 4 | 27 | PM1 |
| SD04503 | 19/03/2018 | 7004 | 19/03/2018 | 9 | 28 | PM3 |
| SD04512 | 31/03/2018 | 7250 | 31/03/2018 | 4 | 29 | PM1 |
| SD04535 | 13/04/2018 | 7501 | 13/04/2018 | 9 | 30 | PM2 |
| SD04561 | 27/04/2018 | 7756 | 27/04/2018 | 4 | 31 | PM1 |
| SD04587 | 11/05/2018 | 8000 | 11/05/2018 | 12 | 32 | PM4 |

Fuente: Archivo del control de operación del montacarga recuperado de la empresa Ferreyros S.A., 2017-2018

| N° | Horas del Equipo | Tipo Mto. | Filtros (US\$) | Aceite (US\$) | M.O.N. Utilizada (US\$) | Materiales (US\$) | Equipo detenido (US\$) | COSTO US\$ | COSTO TOTAL US\$ |
|--------------|------------------|-----------|----------------|---------------|-------------------------|-------------------|------------------------|------------|------------------|
| 21 | 5251 | PM1 | 205,39 | 83,3 | 142 | 12,5 | 382 | 825,19 | 825,19 |
| 22 | 5503 | PM2 | 151,67 | 116,1 | 177,5 | 12,5 | 477,5 | 935,27 | 1 760,46 |
| 23 | 5751 | PM1 | 205,39 | 83,3 | 142 | 12,5 | 382 | 825,19 | 825,19 |
| 24 | 6008 | PM4 | 104,6 | 1754,4 | 426 | 12,5 | 1146 | 3443,5 | 5 203,96 |
| 25 | 6252 | PM1 | 205,39 | 83,3 | 142 | 12,5 | 382 | 825,19 | 825,19 |
| 26 | 6501 | PM2 | 151,67 | 116,1 | 177,5 | 12,5 | 477,5 | 935,27 | 1 760,46 |
| 27 | 6753 | PM1 | 205,39 | 83,3 | 142 | 12,5 | 382 | 825,19 | 825,19 |
| 28 | 7004 | PM3 | 151,67 | 116,1 | 177,5 | 12,5 | 477,5 | 935,27 | 1 760,46 |
| 29 | 7250 | PM1 | 205,39 | 83,3 | 142 | 12,5 | 382 | 825,19 | 825,19 |
| 30 | 7501 | PM2 | 151,67 | 116,1 | 177,5 | 12,5 | 477,5 | 935,27 | 1 760,46 |
| 31 | 7756 | PM1 | 205,39 | 83,3 | 142 | 12,5 | 382 | 825,19 | 825,19 |
| 32 | 8000 | PM4 | 104,6 | 1754,4 | 426 | 12,5 | 1146 | 3443,5 | 5 203,96 |
| TOTAL | | | | | | | | | 55 144,40 |

Fuente: Archivo de control de costos de mantenimiento del montacarga 04-66, tomada de la empresa Ferreyros S.A. 2017-2018.

Anexo 13. Formato de programa de mantenimiento preventivo.

| PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| EQUIPO | MONTACARGA CATERPILLAR | | MODELO: | P33000 | | SERIE: | T39A10851 | | N° INTERNO: | 04-66 | | |
| ACTIVIDAD | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero |
| PM1 | 26/03/2017 | | | | | | | | | | | |
| PM2 | | 07/04/2017 | | | | | | | | | | |
| PM1 | | 19/04/2017 | | | | | | | | | | |
| PM3 | | | 02/05/2017 | | | | | | | | | |
| PM1 | | | 14/05/2017 | | | | | | | | | |
| PM2 | | | 26/05/2017 | | | | | | | | | |
| PM1 | | | | 09/06/2017 | | | | | | | | |
| PM4 | | | | 21/06/2017 | | | | | | | | |
| PM1 | | | | | 03/07/2017 | | | | | | | |
| PM2 | | | | | 16/07/2017 | | | | | | | |
| PM1 | | | | | 28/07/2017 | | | | | | | |
| PM3 | | | | | | 10/08/2017 | | | | | | |
| PM1 | | | | | | 23/08/2017 | | | | | | |
| PM2 | | | | | | | 04/09/2017 | | | | | |
| PM1 | | | | | | | 17/09/2017 | | | | | |
| PM4 | | | | | | | | 01/10/2017 | | | | |
| PM1 | | | | | | | | 12/10/2017 | | | | |
| PM2 | | | | | | | | 26/10/2017 | | | | |
| PM1 | | | | | | | | | 07/11/2017 | | | |
| PM3 | | | | | | | | | 20/11/2017 | | | |
| PM1 | | | | | | | | | | 02/12/2017 | | |
| PM2 | | | | | | | | | | 26/12/2017 | | |
| PM1 | | | | | | | | | | | 10/01/2018 | |
| PM4 | | | | | | | | | | | 22/01/2018 | |
| PM1 | | | | | | | | | | | | 05/02/2018 |
| PM2 | | | | | | | | | | | | 20/02/2018 |
| PM1 | 06/03/2018 | | | | | | | | | | | |
| PM3 | 19/03/2018 | | | | | | | | | | | |
| PM1 | 31/03/2018 | | | | | | | | | | | |
| PM2 | | 13/04/2018 | | | | | | | | | | |
| PM1 | | 27/04/2018 | | | | | | | | | | |
| PM4 | | | 11/05/2018 | | | | | | | | | |

Fuente: Archivo del historial de programación del Montacarga 04-66, Proporcionada por la empresa Ferreyros S.A., 2017-2018.

Anexo 14. Formato de registro de control de análisis de aceite.

| REGISTROS CONTROL DE ANÁLISIS DE ACEITE | | | | | | | | | | |
|---|---------|-------------------------------|--------|-------------------------|----------|------------------|------------------------|--------------|---------------------|------------------|
| EQUIPO: | | MONTACARGA CATERPILLAR P33000 | | | | | CÓDIGO | | 04-66 | |
| MODELO: | | T39A10851 | | TIPO DE ACEITE: | | CAT DEO 15W40 | | SISTEMA | | MOTOR |
| N° | N° O/T | FECHA | ST< 60 | OXI< 34 | NIT< 12 | SUL< 34 | CST-°C100 < 14 > 11 | PQI< 45 | HOROMETRO DE EQUIPO | HORAS DEL ACEITE |
| 1 | SD47053 | 07-jul-18 | 2 | 7 | 3 | 14 | 12,4 | 30 | 8508 | 258 |
| 2 | SD47129 | 14-jul-18 | 9 | 9 | 4 | 15 | 12,6 | 30 | 8600 | 350 |
| 3 | SD47186 | 21-jul-18 | 21 | 12 | 4 | 17 | 12,9 | 32 | 8700 | 450 |
| 4 | SD47256 | 28-jul-18 | 35 | 17 | 6 | 19 | 13,1 | 35 | 8800 | 550 |
| 5 | SD47287 | 05-ago-18 | 46 | 21 | 7 | 21 | 13,3 | 36 | 8900 | 650 |
| 6 | SD47317 | 13-ago-18 | 54 | 25 | 8 | 23 | 13,1 | 38 | 9009 | 759 |
| 7 | SD47419 | 17-ago-18 | 59 | 29 | 10 | 25 | 12,8 | 39 | 9050 | 800 |
| 8 | SD47597 | 21-ago-18 | 65 | 32 | 12 | 27 | 12,9 | 39 | 9100 | 850 |
| 9 | SD47656 | 25-ago-18 | 73 | 37 | 12 | 30 | 13,7 | 43 | 9150 | 900 |
| EQUIPO: | | MONTACARGA CATERPILLAR P33000 | | | | | CÓDIGO | | 04-66 | |
| MODELO: | | T39A10851 | | TIPO DE ACEITE: | | CAT SAE 30 T0-4 | | SISTEMA | | TRANSMISIÓN |
| N° | N° O/T | FECHA | W | CST-°C100 <12,5 >9,3 | ISO-4406 | > 4µ ppm | > 6µ ppm | > 14µ ppm | HOROMETRO DE EQUIPO | HORAS DEL ACEITE |
| 1 | SD45286 | 07-jul-18 | N | 9,9 | 20/17/12 | 2715 | 1085 | 39 | 8508 | 508 |
| 2 | SD45132 | 25-jul-18 | N | 10,1 | 20/18/14 | 8533 | 1938 | 146 | 8752 | 752 |
| 3 | SD46176 | 13-ago-18 | N | 10,8 | 21/18/16 | 15765 | 2451 | 573 | 9009 | 1009 |
| 4 | SD47019 | 25-ago-18 | N | 11,5 | 22/19/17 | 28592 | 4914 | 1443 | 9150 | 1150 |
| 5 | SD48341 | 02-set-18 | N | 12,2 | 22/20/18 | 59186 | 8819 | 2252 | 9251 | 1251 |
| 6 | SD48129 | 08-set-18 | N | 12,6 | 24/20/18 | 83872 | 9988 | 2749 | 9349 | 1349 |
| EQUIPO: | | MONTACARGA CATERPILLAR P33000 | | | | | CÓDIGO | | 04-66 | |
| MODELO: | | T39A10851 | | TIPO DE ACEITE: | | CAT HYDO SAE 10W | | SISTEMA | | HIDRÁULICO |
| N° | N° O/T | FECHA | W | CST-°C100 <8,1 > 4,1 | ISO-4406 | > 4µ ppm | > 6µ ppm | > 14µ ppm | HOROMETRO DE EQUIPO | HORAS DEL ACEITE |
| 1 | SD46287 | 11-jun-18 | N | 6,1 | 19/17/12 | 2610 | 662 | 35 | 8004 | 2004 |
| 2 | SD46363 | 07-jul-18 | N | 6,4 | 20/17/13 | 5512 | 1102 | 52 | 8508 | 2508 |
| 3 | SD47419 | 13-ago-18 | N | 6,8 | 20/18/14 | 9985 | 1643 | 93 | 9009 | 3009 |
| 4 | SD47553 | 16-set-18 | N | 6,9 | 21/19/14 | 14582 | 2724 | 143 | 9500 | 3500 |
| 5 | SD47629 | 28-sep-18 | N | 6,8 | 22/19/16 | 23856 | 4653 | 452 | 9752 | 3752 |
| 6 | SD47997 | 11-oct-18 | N | 7,1 | 22/20/17 | 34872 | 8502 | 959 | 10003 | 4003 |
| 7 | SD48919 | 24-oct-18 | N | 7,5 | 23/21/18 | 52883 | 11213 | 1806 | 10248 | 4248 |

Fuente: Tomada de los reportes de análisis de aceite SOS realizada por Ferreyros S.A., entre el 11 de jun al 24 de oct del 2018.

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO USADO PARA LA RECOLECCIÓN DE LOS DATOS 2018

Yo Roberto Espinoza Infante

Titular del DNI. N° 18073061 de profesión Ingeniero Mecánico ejerciendo actualmente como jefe de proyecto sucursales región norte en la empresa Ferreyros S.A. Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación de los instrumentos, a los efectos de su aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, para optimizar costos operativos por disponibilidad de montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

| | DEFICIENTE | ACEPTABLE | BUENO | EXCELENTE |
|------------------------|------------|-----------|-------|-----------|
| Congruencia de ítems | | | X | |
| Amplitud de contenido | | | X | |
| Redacción de los ítems | | | X | |
| Claridad y precisión | | | X | |
| Pertinencia | | | X | |

Chimbote, 11 de julio del 2018.


Ing. CIP. ESPINOZA INFANTE ROBERTO CARLO
ING. MECANICO
Reg. Colegio de Ingenieros N° 144210

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO USADO PARA LA RECOLECCIÓN DE LOS DATOS 2018

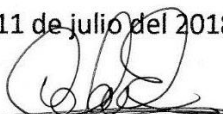
Yo Cesar Erique Colan Concepción

Titular del DNI. N° 43659366 de profesión ingeniero mecánico ejerciendo actualmente como gerente en la empresa Stell Asesoría E.I.R.L. Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación de los instrumentos, a los efectos de su aplicación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite, para optimizar costos operativos por disponibilidad de montacargas P33000 en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

| | DEFICIENTE | ACEPTABLE | BUENO | EXCELENTE |
|------------------------|------------|-----------|-------|-----------|
| Congruencia de ítems | | | X | |
| Amplitud de contenido | | | X | |
| Redacción de los ítems | | | X | |
| Claridad y precisión | | | X | |
| Pertinencia | | | X | |

Chimbote, 11 de julio del 2018.


César E. Colán Concepción
ING. MECÁNICO
R. C.I.P. 158230

Anexo 15: Análisis de aceite de motor Cat 15w 40.

FESA Prov. Sider Chimbote
Roberto Espinoza Infantes

FAX:
FONO:
TIPO DE MUESTRA: ACEITE
TIEMPO DE ENVIO : 3

CLIENTE : EMPRESA SIDERURGICA DE
NÚMERO DE EQUIPO : 04-66
COMPONENTE : MOTOR
NÚMERO DE SERIE : T39A 10851
MARCA : CATERPILLAR
MODELO : P33000
LUGAR DE TRABAJO : SIDER PERU - CHIMBOTE MINERIA
NÚMERO DE GARANTÍA :
EXTENDIDA :

ORDEN DE TRABAJO : CHI SD04291CSA
SERIE COMPONENTE : 167732
MODELO DEL COMP. : 6M60TL_MITSUBISHI
FABRICANTE DEL COMP. : MITSUBISHI
CONTROL LAB :
MARCA/GRADO ACEITE : CAT/ 15W40
TIPO DE FLUIDO : CI-4
FECHA DE TERMINO NUMERO :
GARANTIA EXT :



Laboratorio S.O.S. Análisis de Fluidos
Av. Industrial 675 - LIMA - PERU
6265197, 6264762, 6264209
www.ferreyros.com.pe

| # CONTROL LABORATORIO | FECHA MUESTREO | FECHA PROCESO | HORÓMETRO | HORAS | ¿CAMBIO ACEITE? | RELLENO | UNIDADES DEL RELLENO | ¿CAMBIO FILTRO? |
|-------------------------------|----------------|---------------|-----------|--------|-----------------|---------|----------------------|-----------------|
| R080-47256-0096 Condiciona | 28-jul-2018 | 31-jul-2018 | 8800 HR | 550 HR | No | | | No |
| R080-47186-0151 Condiciona | 24-jul-2018 | 24-jul-2018 | 8700 HR | 450 HR | No | | | No |
| R080-47129-0025 Condiciona | 14/07/2018 | 17-jul-2018 | 8600 HR | 350 HR | No | | | No |
| R080-47053-0125 Condiciona | 07-jul-2018 | 10-jul-2018 | 8508 HR | 258 HR | No | | | No |

| Elementos de desgaste (ppm) | Cu | Fe | Cr | Al | Pb | Sn | Si | Na | K | B | Mo | Ni | Ag | Ti | V | Mn | Cd | Ca | Mg | Zn | P | Ba |
|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|---|----|----|------|------|------|------|----|
| R080-47256-0096 | 5 | 10 | 4 | 4 | 0 | 0 | 5 | 4 | 0 | 1 | 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1492 | 1903 | 1153 | 1190 | 0 |
| R080-47186-0151 | 4 | 8 | 2 | 4 | 0 | 0 | 5 | 2 | 0 | 0 | 46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1463 | 1286 | 1115 | 1162 | 0 |
| R080-47129-0025 | 4 | 8 | 1 | 2 | 1 | 0 | 5 | 1 | 1 | 0 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1405 | 1259 | 1106 | 1106 | 0 |
| R080-47053-0125 | 2 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 | 1 | 1 | 3 | 41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1392 | 1190 | 1079 | 1026 | 0 |

| Condición de aceite / Conteo Partículas | ST | OXI | NIT | SUL | W | A | F | V100 | PQI |
|---|----|-----|-----|-----|---|---|---|------|-----|
| R080-47256-0096 | 95 | 17 | 6 | 19 | T | N | N | 13,1 | 35 |
| R080-47186-0151 | 21 | 12 | 4 | 17 | T | N | N | 12,9 | 32 |
| R080-47129-0025 | 9 | 9 | 4 | 15 | T | N | N | 12,6 | 30 |
| R080-47053-0125 | 2 | 7 | 3 | 4 | T | N | N | 12,4 | 30 |

Ag = Plata, Al = Aluminio, B = Boro, Ca = Calcio, Cr = Cromo, Cu = Cobre, Fe = Hierro, P = Fósforo, K = Potasio, Mg = Magnesio, Mo4 or Moly = Molibdeno, Na = Sodio, Ni = Niquel, Pb = Plomo, S = Sulphur, Si = Silicio, Sn = Estaño, Ti = Titanio, Zn = Zinc, A = Anticongelante, F = Combustible, W = Agua, P = Positivo, N = Negativo, E = Excesivo, NIT = Nitración, OXI = Oxidación, ST = Hollin, SUL = Sulfatación, ISO = Nivel de limpieza, PVI = Indicador de Volumen de Partículas, PQI = Índice de Cuantificador de Partícula, NaW = Agua salada, FL Pt = Punto álgido, TAN = Número Total Acido, TBN = Número Total Básico, H2O = Karl Fisher, V100 = Viscosidad a 100C, V40 = Viscosidad a 40C, VI = Índice de Viscosidad
Nota: El propósito de este análisis es únicamente para detectar desgastes mecánicos. No debe entenderse como garantía expresa o implícita de que no ocurra una falla del equipo o alguno de sus componentes. (01)

FESA Proy. Sider Chimbote
Roberto Espinoza Infantes

CLIENTE : EMPRESA SIDERURGICA DE
NÚMERO DE EQUIPO : 04-66
COMPONENTE : MOTOR
NÚMERO DE SERIE : T39A 10851
MARCA : CATERPILLAR
MODELO : P33000
LUGAR DE TRABAJO : SIDER PERU - CHIMBOTE MINERIA
NÚMERO DE GARANTÍA :
EXTENDIDA :

ORDEN DE TRABAJO : CHISD04291CSA
SERIE COMPONENTE : 67732
MODELO DEL COMP. : 6M60TL_MITSUBISHI
FABRICANTE DEL COMP. : MITSUBISHI
CONTROL LAB :
MARCA/GRADO ACEITE : CAT/ 15W-40
TIPO DE FLUIDO : CI-4
FECHA DE TERMINO NUMERO
GARANTIA EXT :



Laboratorio S.O.S. Análisis de Fluidos
Av. Industrial 675 - LIMA - PERU
6265197, 6264762, 6264209
www.ferreyros.com.pe

FAX:
FONO:
TIPO DE MUESTRA: ACEITE
TIEMPO DE ENVÍO : 3

| # CONTROL LABORATORIO | FECHA MUESTREO | FECHA PROCESO | HORÓMETRO | HORAS | ¿CAMBIO ACEITE? | RELLENO | UNIDADES DEL RELLENO | ¿CAMBIO FILTRO? |
|-------------------------------|----------------|---------------|-----------|--------|-----------------|---------|----------------------|-----------------|
| R080-47097-0350 Condiciona | 21-Ago-2018 | 24-Ago-2018 | 9100 HR | 850 HR | No | | | No |
| R080-47019-0199 Condiciona | 17-Ago-2018 | 20-Ago-2018 | 9050 HR | 800 HR | No | | | No |
| R080-46317-0326 Condiciona | 18-Ago-2018 | 15-Ago-2018 | 9009 HR | 759 HR | No | | | No |
| R080-46287-0536 Condiciona | 05-Ago-2018 | 08-Ago-2018 | 8900 HR | 650 HR | No | | | No |

| Elementos de desgaste (ppm) | Cu | Fe | Cr | Al | Pb | Sn | Si | Na | K | B | Mo | Ni | Ag | Ti | V | Mn | Cd | Ca | Mg | Zn | P | Ba |
|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|---|----|----|------|------|------|------|----|
| R080-47097-0350 | 8 | 15 | 5 | 10 | 2 | 0 | 5 | 5 | 3 | 2 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1613 | 1188 | 1410 | 1300 | 0 |
| R080-47019-0199 | 6 | 15 | 5 | 9 | 2 | 0 | 5 | 5 | 3 | 2 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1594 | 1129 | 1400 | 1283 | 0 |
| R080-46317-0326 | 5 | 11 | 4 | 9 | 1 | 2 | 5 | 4 | 2 | 2 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1559 | 1103 | 1360 | 1259 | 0 |
| R080-46287-0536 | 5 | 10 | 4 | 7 | 1 | 0 | 5 | 4 | 2 | 1 | 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1509 | 1065 | 1272 | 1200 | 0 |

| Condición de aceite / Conteo Partículas | ST | OXI | NIT | SUL | W | A | F | V 100 | PQI |
|---|----|-----|-----|-----|---|---|---|-------|-----|
| R080-47097-0350 | 65 | 32 | 12 | 27 | T | N | N | 12.9 | 39 |
| R080-47019-0199 | 59 | 29 | 10 | 25 | T | N | N | 12.8 | 39 |
| R080-46317-0326 | 54 | 25 | 8 | 23 | N | N | N | 13.1 | 38 |
| R080-46287-0536 | 46 | 21 | 7 | 21 | T | N | N | 13.3 | 36 |

Ag = Plata, Al = Aluminio, B = Boro, Ca = Calcio, Cr = Cromo, Cu = Cobre, Fe = Hierro, P = Fósforo, K = Potasio, Mg = Magnesio, Mo04 or Moly = Molibdeno, Na = Sodio, Ni = Níquel, Pb = Plomo, S = Sulphur, Si = Silicio, Sn = Estaño, Ti = Titanio, Zn = Zinc, A = Anticongelante, F = Combustible, W = Agua, P = Positivo, N = Negativo, E = Excesivo, NIT = Nitración, OXI = Oxidación, ST = Hollin, SUL = Sulfatación, ISO = Nivel de limpieza, PVI = Indicador de Volumen de Partículas, PQI = Índice de Cuantificador de Partícula, NaW = Agua salada, FL Pt = Punto algado, TAN = Número Total Acido, TBN = Número Total Básico, H2O = Karl Fisher, V100 = Viscosidad a 100°C, V40 = Viscosidad a 40°C, VI = Índice de Viscosidad
Nota: El propósito de este análisis es únicamente para detectar desgastes mecánicos. No debe entenderse como garantía expresa o implícita de que no ocurra una falla del equipo o alguno de sus componentes. (0)

Fuente: Laboratorio S.O.S. Análisis de fluidos. Ferreyros - 2018

**FESA Proy. Sider Chimbote
Roberto Espinoza Infantes**

CLIENTE : EMPRESA SIDERURGICA DE
 NÚMERO DE EQUIPO : 04-66
 COMPONENTE : MOTOR
 NÚMERO DE SERIE : T39A 10851
 MARCA : CATERPILLAR
 MODELO : P33000
 LUGAR DE TRABAJO : SIDER PERU - CHIMBOTE MINERIA
 NÚMERO DE GARANTÍA :
 EXTENDIDA :

ORDEN DE TRABAJO : CHISD04291CSA
 SERIE COMPONENTE : 167732
 MODELO DEL COMP. : 6M60TL_MITSUBISHI
 FABRICANTE DEL COMP. : MITSUBISHI
 # CONTROL LAB :
 MARCA/GRADO ACEITE : CAT/ 15W-40
 TIPO DE FLUIDO : CI-4
 FECHA DE TERMINO NUMERO
 GARANTIA EXT :



Laboratorio S.O.S. Análisis de Fluidos
Av. Industrial 675 - LIMA - PERU
6265197, 6264762, 6264209
www.ferreyros.com.pe

FAX:
 FONDO:
 TIPO DE MUESTRA: ACEITE
 TIEMPO DE ENVIO: 3

| # CONTROL LABORATORIO | FECHA MUESTREO | FECHA PROCESO | HORÓMETRO | HORAS | ¿CAMBIO ACEITE? | RELLENO | UNIDADES DEL RELLENO | ¿CAMBIO FILTRO? |
|--------------------------------|----------------|---------------|-----------|--------|-----------------|---------|----------------------|-----------------|
| R080-47355-1043 Condicional | 25-ago-2018 | 28-Ago-2018 | 9150 HR | 900 HR | No | | | No |


| Elementos de desgaste (ppm) | Cu | Fe | Cr | Al | Pb | Sn | Si | Na | K | B | Mo | Ni | Ag | Ti | V | Mn | Cd | Ca | Mg | Zn | P | Ba |
|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|---|----|----|------|------|------|------|----|
| R080-47356-1043 | 17 | 10 | 6 | 12 | 22 | 0 | 6 | 6 | 3 | 2 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1743 | 1936 | 1467 | 1384 | 0 |

| Condición de aceite / Conteo Partículas | ST | OXI | NIT | SUL | W | A | F | V100 | PQI |
|---|----|-----|-----|-----|---|---|---|------|-----|
| R080-47097-0350 | 73 | 37 | 12 | 30 | T | N | N | 13.7 | 43 |

Ag = Plata, Al = Aluminio, B = Boro, Ca = Calcio, Cr = Cromo, Cu = Cobre, Fe = Hierro, P = Fósforo, K = Potasio, Mg = Magnesio, Mo04 or Moly = Molibdeno, Na = Sodio, Ni = Niquel, Pb = Plomo, S = Sulphur, Si = Silicio, Sn = Estaño, Ti = Titanio, Zn = Zinc, A = Anticongelante, F = Combustible, W = Agua, P = Positivo, N = Negativo, E = Excesivo, NIT = Nitración, OXI = Oxidación, ST = Hollin, SUL = Sulfatación, ISO = Nivel de limpieza, PVI = Indicador de Volumen de Partículas, PQI = Índice de Quantificador de Partícula, NaW = Agua salada, FL Pt = Punto álgido, TAN = Número Total Acido, TBN = Número Total Básico, H2O = Karl Fisher, V100 = Viscosidad a 100C, V40 = Viscosidad a 40C, VI = Índice de Viscosidad
 Nota: El propósito de este análisis es únicamente para detectar desgastes mecánicos. No debe entenderse como garantía expresa o implícita de que no ocurra una falla del equipo o alguno de sus componentes. (01)

Fuente: Laboratorio S.O.S. Análisis de fluidos. Ferreyros - 2018.

Anexo 16: Análisis de aceite de transmisión TO-4 SAE 30.

| | | | | | |
|--|--|--|------------------------------------|--|--|
| FESA Prov. Sider Chimbote Roberto Espinoza Infantes | | CLIENTE : EMPRESA SIDERURGICA DE | ORDEN DE TRABAJO : CHI SD04291CSA |  <p>Laboratorio S.O.S. Análisis de Fluidos Av. Industrial 675 - LIMA - PERU 6265197, 6264762, 6264209 www.ferreyros.com.pe</p> | |
| FAX: | | NÚMERO DE EQUIPO : 04-66 | SERIE COMPONENTE : | | |
| FONO: | | COMPONENTE : TRANSMISIÓN | MODELO DEL COMP. : POWER TRAIN | | |
| TIPO DE MUESTRA: ACEITE | | NÚMERO DE SERIE : T39A 10851 | FABRICANTE DEL COMP. : CATERPILLAR | | |
| TIEMPO DE ENVÍO : 3 | | MARCA : CATERPILLAR | # CONTROL LAB : | | |
| | | MODELO : P33000 | MARCA/GRADO ACEITE : CAT/30 | | |
| | | LUGAR DE TRABAJO : SIDER PERU - CHIMBOTE MINERIA | TIPO DE FLUIDO : TO-4 | | |
| | | NÚMERO DE GARANTÍA | FECHA DE TERMINO NUMERO | | |
| | | EXTENDIDA : | GARANTIA EXT : | | |

| # CONTROL DE LABORATORIO | FECHA DE MUESTREO | FECHA DE PROCESO | HOROMETRO | HORAS | ¿CAMBIO DE ACEITE? | UNIDAD DE RELLENO | ¿CAMBIO DE FILTROS? |
|--|-------------------|------------------|-----------|---------|--------------------|-------------------|---------------------|
| R080-47219-0198 Condicionnal | 25-Ago-2018 | 28-Ago-2018 | 9150 HR | 150 HR | No | | No |
| R080-46176-0146 Condicionnal | 13-Ago-2018 | 15-Ago-2018 | 9009 HR | 1009 HR | No | | No |
| R080-45132-0374 Condicionnal | 25-Jul-2018 | 28-Jul-2018 | 8752 HR | 752 HR | No | | No |
| R080-44286-0018 Condicionnal | 07-Jul-2018 | 10-Jul-2018 | 8508 HR | 508 HR | No | | No |

| Elementos de desgaste (ppm) | Cu | Fe | Cr | Al | Pb | Sn | Si | Na | K | B | Mo | Ni | Ag | Ti | V | Mn | Cd | Ca | Mg | Zn | P | Ba |
|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|-----|----|
| R080-47219-0198 | 13 | 10 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33 | 64 | 45 | 458 | 0 |
| R080-46176-0146 | 10 | 7 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35 | 61 | 28 | 333 | 0 |
| R080-45132-0374 | 8 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 | 60 | 27 | 331 | 0 |
| R080-44286-0018 | 6 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 69 | 31 | 317 | 0 |

| Condición de aceite / Conteo Partículas | W | A | V 100 | ISO | 4µ | 6µ | 14µ |
|---|---|---|-------|----------|-------|------|------|
| R080-47219-0198 | N | N | 11,5 | 22/19/17 | 28592 | 4914 | 1443 |
| R080-46176-0146 | N | N | 10,8 | 21/18/16 | 15765 | 2451 | 573 |
| R080-45132-0374 | N | N | 10,1 | 20/18/14 | 8533 | 1938 | 146 |
| R080-44286-0018 | N | N | 9,9 | 20/17/02 | 2715 | 1085 | 39 |

Ag = Plata, Al = Aluminio, B = Boro, Ca = Calcio, Cr = Cromo, Cu = Cobre, Fe = Hierro, P = Fósforo, K = Potasio, Mg = Magnesio, Mo ó Moly = Molibdeno, Na = Sodio, Ni = Níquel, Pb = Plomo, S = Sulphur, Si = Silicio, Sn = Estaño, Ti = Titanio, Zn = Zinc, A = Anticongelante, F = Combustible, W = Agua, P = Positivo, N = Negativo, E = Excesivo, NIT = Nitración, OXI = Oxidación, ST = Hollín, SUL = Sulfatación, ISO = Nivel de limpieza, PVI = Indicador de Volumen de Partículas, PQI = Índice de Cuantificador de Partícula, NaW = Agua salada, FL Pt = Punto álgido, TAN = Número Total Acido, TBN = Número Total Básico, H2O = Karl Fisher, V100 = Viscosidad a 100C, V40 = Viscosidad a 40C, VI = Índice de Viscosidad
Nota: El propósito de este análisis es únicamente para detectar desgastes mecánicos. No debe entenderse como garantía expresa o implícita de que no ocurra una falla del equipo o alguno de sus componentes. (01)

Fuente: Laboratorio S.O.S. Análisis de fluidos. Ferreyros - 2018.

FESA Proy. Sider Chimbote
Roberto Espinoza Infantes

CLIENTE : EMPRESA SIDERURGICA DE
NÚMERO DE EQUIPO : 04-66
COMPONENTE : TRANSMISIÓN
NÚMERO DE SERIE : T39A10851
MARCA : CATERPILLAR
MODELO : P33000
LUGAR DE TRABAJO : SIDER PERU - CHIMBOTE MINERIA
NÚMERO DE GARANTÍA :
EXTENDIDA :

ORDEN DE TRABAJO : CHI SD04291CSA
SERIE COMPONENTE :
MODELO DEL COMP. : POWER TRAIN
FABRICANTE DEL COMP. : CATERPILLAR
CONTROLLAB :
MARCA/GRADO ACEITE : CAT/30
TIPO DE FLUIDO : TO-4
FECHA DE TERMINO NUMERO :
GARANTIA EXT :



Laboratorio S.O.S. Análisis de Fluidos
Av. Industrial 675 - LIMA - PERU
6265197, 6264762, 6264209
www.ferreyros.com.pe

FAX:
FONO:
TIPO DE MUESTRA: ACEITE
TIEMPO DE ENVIO: 3

| # CONTROL DE LABORATORIO | FECHA DE MUESTREO | FECHA DE PROCESO | HOROMETRO | HORAS | ¿CAMBIO DE ACEITE? | UNIDAD DE RELLENO | ¿CAMBIO DE FILTROS? |
|-------------------------------|-------------------|------------------|-----------|---------|--------------------|-------------------|---------------------|
| R080-47129-0043 Condiciona | 08-Sep-2018 | 11-Sep-2018 | 9349 HR | 1249 HR | No | | No |
| R080-46341-0374 Condiciona | 02-Sep-2018 | 05-Sep-2018 | 9251 HR | 1251 HR | No | | No |


| Elementos de desgaste (ppm) | Cu | Fe | Cr | Al | Pb | Sn | Si | Na | K | B | Mo | Ni | Ag | Ti | V | Mn | Cd | Ca | Mg | Zn | P | Ba |
|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|-----|----|
| R080-47129-0043 | 20 | 15 | 0 | 2 | 0 | 0 | 4 | 1 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39 | 70 | 31 | 512 | 0 |
| R080-46341-0374 | 16 | 12 | 0 | 2 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35 | 67 | 31 | 500 | 0 |

| Condición de aceite / Conteo Partículas | W | A | V100 | ISO | 4µ | 6µ | 14µ |
|--|---|---|------|---------|-------|------|------|
| R080-47129-0043 | N | N | 12,6 | 24/2018 | 83872 | 9988 | 2749 |
| R080-46341-0374 | N | N | 12,2 | 22/2018 | 59186 | 8819 | 2252 |

Ag = Plata, Al = Aluminio, B = Boro, Ca = Calcio, Cr = Cromo, Cu = Cobre, Fe = Hierro, P = Fósforo, K = Potasio, Mg = Magnesio, Mo or Moly = Molibdeno, Na = Sodio, Ni = Níquel, Pb = Plomo, S = Sulphur, Si = Silicio, Sn = Estaño, Ti = Titanio, Zn = Zinc, A = Anticongelante, F = Combustible, W = Agua, P = Positivo, N = Negativo, E = Excesivo, NIT = Nitración, OXI = Oxidación, ST = Hollin, SUL = Sulfatación, ISO = Nivel de limpieza, PVI = Indicador de Volumen de Partículas, PQI = Índice de Cuantificador de Partícula, NaW = Agua salada, FL Pt = Punto álgido, TAN = Número Total Acido, TBN = Número Total Básico, H2O = Karl Fisher, V100 = Viscosidad a 100C, V40 = Viscosidad a 40C, VI = Índice de Viscosidad
Nota: El propósito de este análisis es únicamente para detectar desgastes mecánicos. No debe entenderse como garantía expresa o implícita de que no ocurra una falla del equipo o alguno de sus componentes. (01)

Fuente: Laboratorio S.O.S. Análisis de fluidos. Ferreyros - 2018.

Anexo 17: Análisis de aceite hidráulico HYDO ADV CAT/10W.

| | | | | | |
|--|--|---------------------------------|---|--|--|
| FESA Proy. Sider Chimbote Roberto Espinoza Infantes | | CLIENTE: EMPRESA SIDERURGICA DE | ORDEN DE TRABAJO: CHISD04291CSA |  <p>Laboratorio S.O.S. Análisis de Fluidos Av. Industrial 675 - LIMA - PERU 6265197, 6264762, 6264209 www.ferreyros.com.pe</p> | |
| FAX: | | NÚMERO DE EQUIPO: 04-66 | SERIE COMPONENTE: | | |
| FONO: | | COMPONENTE: SISTEMA HIDRAULICO | MODELO DEL COMP.: HYDRAULIC | | |
| TIPO DE MUESTRA: ACEITE | | NÚMERO DE SERIE: T39A 10851 | FABRICANTE DEL COMP.: CATERPILLAR | | |
| TIEMPO DE ENVÍO: 3 | | MARCA: CATERPILLAR | # CONTROL LAB: | MARCA/GRADO ACEITE: CAT/10W | |
| | | MODELO: P33000 | LUGAR DE TRABAJO: SIDER PERU - CHIMBOTE MINERIA | TIPO DE FLUIDO: HYDO ADV | |
| | | EXTENDIDA: | NÚMERO DE GARANTÍA | FECHA DE TÉRMINO NÚMERO GARANTÍA EXT: | |

| # CONTROL LABORATORIO | FECHA MUESTREO | FECHA PROCESO | HORÓMETRO | HORAS | ¿CAMBIO ACEITE? | UNIDADES DEL RELLENO | ¿CAMBIO FILTRO? |
|--------------------------------------|----------------|---------------|-----------|---------|-----------------|----------------------|-----------------|
| R080-47053-0130 Condiciona | 16-Set-2018 | 19-Set-2018 | 9500 HR | 3500 HR | No | | No |
| R080-47019-0197 Condiciona | 13-Ago-2018 | 15-Ago-2018 | 9009 HR | 3009 HR | No | | No |
| R080-46363-0370 Condiciona | 07-Jul-2018 | 09-Jul-2018 | 8508 HR | 2508 HR | No | | No |
| R080-46287-0539 Condiciona | 11-Jun-2018 | 13-Jun-2018 | 8004 HR | 2004 HR | No | | No |

| Elementos de desgaste (ppm) | Cu | Fe | Cr | Al | Pb | Sn | Si | Na | K | B | Mo | Ni | Ag | Ti | V | Mn | Cd | Ca | Mg | Zn | P | Ba |
|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|---|----|----|----|----|-----|-----|----|
| R080-47053-0130 | 7 | 7 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 13 | 9 | 900 | 695 | 0 |
| R080-47019-0197 | 6 | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 12 | 8 | 723 | 675 | 0 |
| R080-46363-0370 | 6 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 7 | 611 | 655 | 0 |
| R080-46287-0539 | 5 | 5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 7 | 105 | 605 | 0 |

| Condición de aceite / Conteo Partículas | W | A | V100 | ISO | 4µ | 6µ | 14µ |
|---|---|---|------|----------|-------|------|-----|
| R080-47053-0130 | N | N | 6.9 | 21/19/14 | 14582 | 2724 | 143 |
| R080-47019-0197 | N | N | 6.8 | 20/18/14 | 9985 | 1643 | 93 |
| R080-46363-0370 | N | N | 6.4 | 20/17/13 | 5512 | 1102 | 52 |
| R080-46287-0539 | N | N | 6.1 | 19/17/12 | 2610 | 662 | 35 |

Ag = Plata, Al = Aluminio, B = Boro, Ca = Calcio, Cr = Cromo, Cu = Cobre, Fe = Hierro, P = Fósforo, K = Potasio, Mg = Magnesio, Mo or Moly = Molibdeno, Na = Sodio, Ni = Niquel, Pb = Plomo, S = Sulphur, Si = Silicio, Sn = Estaño, Ti = Titanio, Zn = Zinc, A = Anticongelante, F = Combustible, W = Agua, P = Positivo, N = Negativo, E = Excesivo, NIT = Nitración, OXI = Oxidación, ST = Hollin, SUL = Sulfatación, ISO = Nivel de limpieza, PVI = Indicador de Volumen de Partículas, PQI = Índice de Cuantificador de Partícula, NaW = Agua salada, FL Pt = Punto algido, TAN = Número Total Acido, TBN = Número Total Básico, H2O = Karl Fisher, V100 = Viscosidad a 100C, V40 = Viscosidad a 40C, VI = Índice de Viscosidad

Nota: El propósito de este análisis es únicamente para detectar desgastes mecánicos. No debe entenderse como garantía expresa o implícita de que no ocurra una falla del equipo o alguno de sus componentes. (01)

Fuente: Laboratorio S.O.S. Análisis de fluidos. Ferreyros - 2018.

FESA Proy. Sider Chimbote
Roberto Espinoza Infantes

CLIENTE : EMPRESA SIDERURGICA DE
NÚMERO DE EQUIPO : 04-66
COMPONENTE : SISTEMA HIDRAULICO
NÚMERO DE SERIE : T39A 0851
MARCA : CATERPILLAR
MODELO : P33000
LUGAR DE TRABAJO : SIDER PERU - CHIMBOTE MINERIA
NÚMERO DE GARANTÍA :
EXTENDIDA :

ORDEN DE TRABAJO : CHI SD04291CSA
SERIE COMPONENTE :
MODELO DEL COMP. : HYDRAULIC
FABRICANTE DEL COMP. : CATERPILLAR
CONTROLLAB :
MARCA/GRADO ACEITE : CAT/10W
TIPO DE FLUIDO : HYDO ADV
FECHA DE TERMINO NUMERO :
GARANTIA EXT :



Laboratorio S.O.S. Análisis de Fluidos
Av. Industrial 675 - LIMA - PERU
6265197, 6264762, 6264209
www.ferreyros.com.pe

FAX:
FONO:
TIPO DE MUESTRA: ACEITE
TIEMPO DE ENVIO : 3

| # CONTROL LABORATORIO | FECHA MUESTREO | FECHA PROCESO | HORÓMETRO | HORAS | ¿CAMBIO ACEITE? | UNIDADES DEL RELLENO | ¿CAMBIO FILTRO? |
|--------------------------------------|----------------|---------------|-----------|---------|-----------------|----------------------|-----------------|
| R080-47129-0027 Condiciona | 24-Oct-2018 | 26-Oct-2018 | 10248 HR | 4248 HR | No | | No |
| R080-47097-0350 Condiciona | 11-Oct-2018 | 14-Oct-2018 | 10003 HR | 4003 HR | No | | No |
| R080-47019-0199 Condiciona | 28-Set-2018 | 01-Oct-2018 | 9752 HR | 3752 HR | No | | No |

| Elementos de desgaste (ppm) | Cu | Fe | Cr | Al | Pb | Sn | Si | Na | K | B | Mo | Ni | Ag | Ti | V | Mn | Cd | Ca | Mg | Zn | P | Ba |
|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|---|----|----|-----|----|------|------|----|
| R080-47129-0027 | 21 | 15 | 0 | 2 | 4 | 2 | 5 | 3 | 4 | 4 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 702 | 26 | 1195 | 1007 | 0 |
| R080-47097-0350 | 19 | 14 | 0 | 2 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 4 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 506 | 20 | 1164 | 1000 | 0 |
| R080-47019-0199 | 10 | 9 | 0 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 416 | 14 | 1105 | 954 | 0 |

| Condición de aceite / Conteo Partículas | W | A | V100 | ISO | 4µ | 6µ | 14µ |
|--|---|---|------|----------|-------|-------|------|
| R080-47129-0027 | N | N | 7.5 | 23/21/18 | 52883 | 11213 | 1806 |
| R080-47097-0350 | N | N | 7.1 | 22/20/17 | 34872 | 8502 | 959 |
| R080-47019-0199 | N | N | 6.8 | 22/19/16 | 23855 | 4653 | 452 |

Ag = Plata, Al = Aluminio, B = Boro, Ca = Calcio, Cr = Cromo, Cu = Cobre, Fe = Hierro, P = Fósforo, K = Potasio, Mg = Magnesio, Mo04 or Moly = Molibdeno, Na = Sodio, Ni = Níquel, Pb = Plomo, S = Sulphur, Si = Silicio, Sn = Estaño, Ti = Titanio, Zn = Zinc, A = Anticongelante, F = Combustible, W = Agua, P = Positivo, N = Negativo, E = Excesivo, NIT = Nitración, OXI = Oxidación, ST = Hollín, SUL = Sulfatación, ISO = Nivel de limpieza, PVI = Indicador de Volumen de Partículas, PQI = Índice de Cuantificador de Partícula, NaW = Agua salada, FL Pt = Punto álgido, TAN = Número Total Acido, TBN = Número Total Básico, H2O = Karl Fisher, V100 = Viscosidad a 100C, V40 = Viscosidad a 40C, VI = Índice de Viscosidad
Nota: El propósito de este análisis es únicamente para detectar desgastes mecánicos. No debe entenderse como garantía expresa o implícita de que no ocurra una falla del equipo o alguno de sus componentes. (01)

Fuente: Laboratorio S.O.S. Análisis de fluidos. Ferreyros - 2018.


Anexo 18: Guía de la condición de aceite para equipos Caterpillar.

| S-O-S Services - Oil Analysis Guidelines | | | | | | | 28 April 2011 | |
|---|-----------------------|----|----|------------------------|----|----|-------------------|--------------------------|
| Diesel Engine Oils | | | | Gas Engine Oils | | | | |
| Test | Parameters | | | | | | Guideline | |
| Wear Elements | Fe | Cr | Cu | Si | Al | Sn | Pb | Wear Tables ¹ |
| Additive Elements | Ca | Mg | Zn | P | Mo | Ba | B | Help Sheet ² |
| Coolant (monitor) | Na or K | | | | | | 25 ppm to 250 ppm | |
| Coolant (action required) | Na or K | | | | | | >250 ppm | |
| Oxidation UFM | | | | | | | 34 max | |
| Sulfate UFM | | | | | | | 34 max | |
| Soot UFM | Absorbance | | | | | | 60 | |
| Soot TGA | %weight of soot | | | | | | 1.50% | |
| Viscosity change | cSt @ 100 C | | | | | | +/- 3 cSt | |
| Fuel Dilution - Positive ³ | viscosity decrease | | | | | | below SAE Grade | |
| | GC fuel dilution | | | | | | >4% | |
| Water - Positive | | | | | | | >0.5% | |
| Water - Trace | | | | | | | 0.1% to 0.5% | |
| Glycol - Positive (optional) | | | | | | | 0.1% max | |
| Transmission Oils, Hydraulic Oils, & Gear Oils | | | | | | | | |
| Test | Parameters | | | | | | Guideline | |
| Wear Elements | Fe | Cr | Cu | Si | Al | Sn | Pb | Wear Tables ¹ |
| Additive Elements | Ca | Mg | Zn | P | Mo | Ba | B | Help Sheet ² |
| Coolant (monitor) | Na or K | | | | | | 25 ppm to 250 ppm | |
| Coolant (action required) | Na or K | | | | | | >250 ppm | |
| Oxidation UFM | | | | | | | 17 max | |
| Viscosity change | cSt @ 100 C | | | | | | +/- 2 cSt | |
| Water - Positive | | | | | | | >0.5% | |
| Water - Trace | | | | | | | 0.1% to 0.5% | |
| Glycol - Positive (optional) | | | | | | | 0.1% max | |
| Particle Analysis | ISO code or cap image | | | | | | Trend Analysis | |
| Caterpillar: Confidential Yellow | | | | | | | | |

| Test | Parameters | | | | | | Guideline | |
|------------------------------|-------------|----|----|----|----|----|-------------------|--------------------------|
| Wear Elements | Fe | Cr | Cu | Si | Al | Sn | Pb | Wear Tables ¹ |
| Additive Elements | Ca | Mg | Zn | P | Mo | Ba | B | Help Sheet ² |
| Coolant (monitor) | Na or K | | | | | | 25 ppm to 250 ppm | |
| Coolant (action required) | Na or K | | | | | | >250 ppm | |
| Oxidation UFM | | | | | | | 20 max | |
| Nitration UFM | | | | | | | 12 max | |
| Viscosity change | cSt @ 100 C | | | | | | +/- 3 cSt | |
| Water - Positive | | | | | | | >0.5% | |
| Water - Trace | | | | | | | 0.1% to 0.5% | |
| Glycol - Positive (optional) | | | | | | | 0.1% max | |

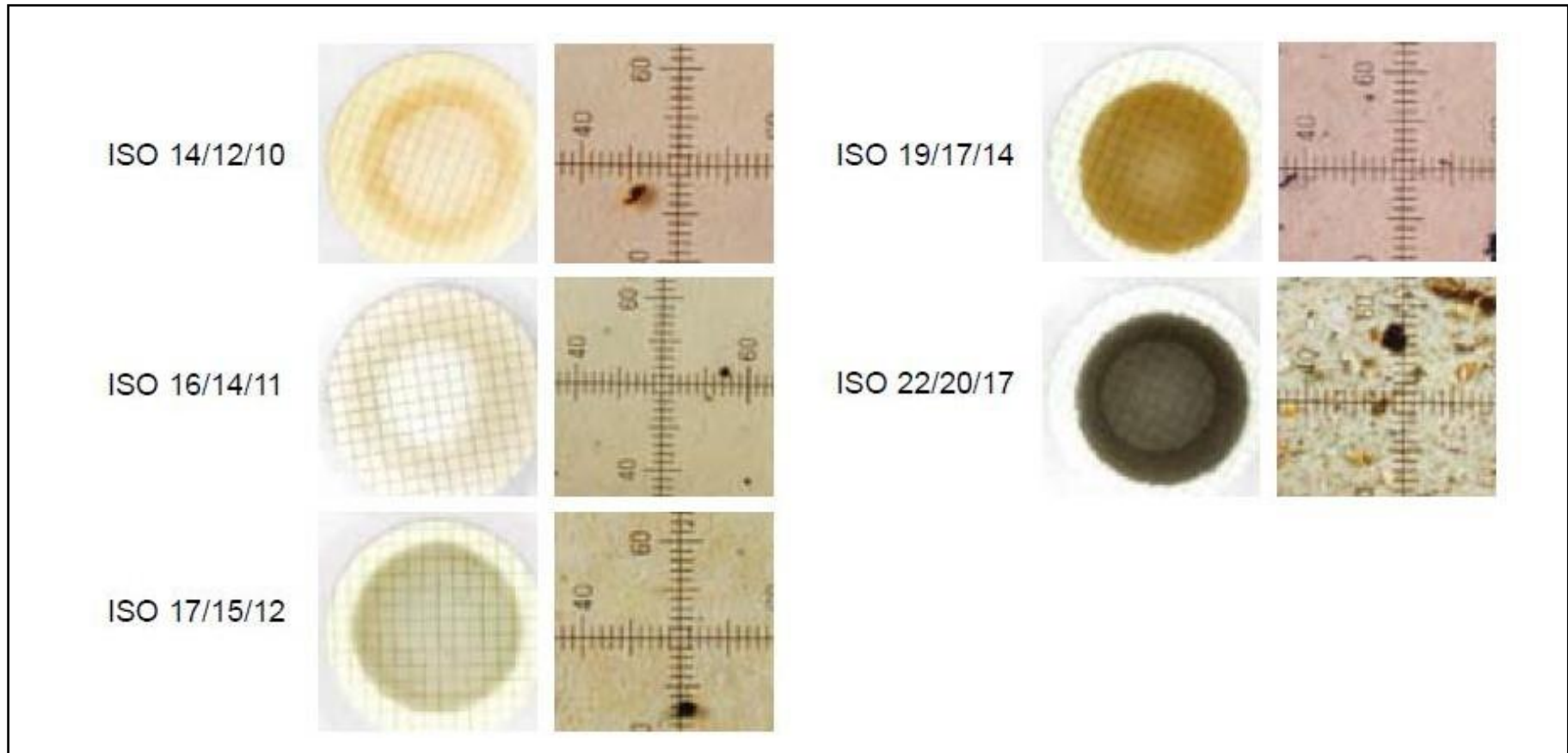
1. Wear Tables are written into SOS Services Manager, and are available on the SOS Services Knowledge Network
2. Help Sheets are available on the SOS Services Knowledge Network that provide typical ranges for additive elements
3. Confirmation of positive fuel dilution requires a viscosity decrease, and fuel dilution in excess of 4%. Specific fuel dilution guidelines are available on the SOS Services Knowledge Network

These guidelines are intended for use by a trained interpreter of oil sample test results. Exceeding any of these guidelines does not indicate imminent failure of the component. Likewise, operating within all of these guidelines does not assure that component will not fail, or wear out prematurely.



Fuente: Caterpillar

Anexo 19. Niveles de limpieza ISO 4406:99 máximo permisible para el aceite del sistema hidráulico y transmisión.



Fuente: Organización Internacional para la estandarización de solido en suspensión de los aceites.

Anexo 20. Parámetros del grado de viscosidad de los aceites a 100 °C.

| Registered Visc. Grade | Measured Viscosity | PFC | Fuel Dilution | Alert Level | Interpretation for Cat Off-Highway Diesel Engines |
|------------------------|--------------------|-----|---------------|-------------|--|
| none | 11.0 to 12.4 | <4 | N | NAR | (No comment regarding viscosity or fuel dilution) Confirm the viscosity grade of the oil. |
| none | 11.0 to 12.4 | ≥4 | P | MC | Oil viscosity and the fuel test indicate fuel dilution. Confirm the viscosity grade of the oil. Intervention is not needed at this time. Consider sampling at half the normal interval. |
| none | 9.0 to 11.0 | ≥4 | P | AR | The fuel test indicates a high level of fuel dilution. Intervention is needed. At your earliest convenience, inspect engine. Possible causes of fuel dilution are: leaking injectors, injector o-rings, failed injectors, fuel transfer pump, and engine over fueling. Resample after repairs. |
| none | <9.0 | ≥4 | P | AR | Low oil viscosity and the fuel test indicate a high level of fuel dilution. Intervention is needed. Stop machine and inspect engine. Possible causes of fuel dilution are: leaking injectors, injector o-rings, failed injectors, fuel transfer pump, and engine overfueling. |
| 15W-40 | 11.0 to 12.4 | <4 | N | NAR | Viscosity is low for a 15W-40 oil. Confirm the viscosity grade of the oil. Continue normally scheduled sampling. |
| 15W-40 | 11.0 to 12.4 | ≥4 | P | MC | Low oil viscosity and the fuel test indicate a moderate level of fuel dilution. Intervention is not needed at this time. Consider sampling at half the normal interval. |
| 15W-40 | 9.0 to 11.0 | ≥4 | P | AR | Low oil viscosity and the fuel test indicate a high level of fuel dilution. Intervention is needed. At your earliest convenience, inspect engine. Possible causes of fuel dilution are: leaking injectors, injector o-rings, failed injectors, fuel transfer pump, and engine over fueling. |
| 15W-40 | <9.0 | ≥4 | P | AR | Low oil viscosity and the fuel test indicate a high level of fuel dilution. Intervention is needed. Stop machine and inspect engine. Possible causes of fuel dilution are: leaking injectors, injector o-rings, failed injectors, fuel transfer pump, and engine over fueling. |
| 10W-30 | 8.0 to 9.2 | <4 | N | NAR | Viscosity is low for a 10W-30 oil. Confirm the viscosity grade of the oil. Continue normally scheduled sampling. |
| 10W-30 | 8.0 to 9.2 | ≥4 | P | MC | Low oil viscosity and the fuel test indicate a moderate level of fuel dilution. Intervention is not needed at this time. Consider sampling at half the normal interval. |
| 10W-30 | 7.0 to 8.0 | ≥4 | P | AR | Low oil viscosity and the fuel test indicate a high level of fuel dilution. Intervention is needed. At your earliest convenience, inspect engine. Possible causes of fuel dilution are: leaking injectors, injector o-rings, failed injectors, fuel transfer pump, and engine overfueling. |
| 10W-30 | <7.0 | ≥4 | P | AR | Low oil viscosity and the fuel test indicate a high level of fuel dilution. Intervention is needed. Stop machine and inspect engine. Possible causes of fuel dilution are: leaking injectors, injector o-rings, failed injectors, fuel transfer pump, and engine overfueling. |

Page 24

Fuente: Caterpillar.

Anexo 21. Datos técnicos del límites máximos permisibles de nivel de contaminación en el aceite motor 15w40.

| UFM # | Absorbance | %T | Soot % Allow. |
|----------------|--------------------|-----------|---------------|
| 2 | 0.02 | 95 | 10 |
| 6 | 0.06 | 87 | 26 |
| 13 | 0.13 | 74 | 52 |
| 20 | 0.2 | 63 | 74 |
| 30 | 0.3 | 50 | 100 |
| 35 | 0.35 | 45 | 110 |
| 40 | 0.4 | 40 | 120 |
| 45 - 46 | 0.45 - 0.46 | 35 | 130 |
| 52 - 53 | 0.52 - 0.53 | 30 | 140 |
| 60 - 61 | 0.60 - 0.61 | 25 | 150 |
| 69 - 70 | 0.69 - 0.70 | 20 | 160 |
| 81 - 83 | 0.81 - 0.83 | 15 | 170 |
| 98 - 102 | 0.98 - 1.02 | 10 | 180 |
| 126 - 134 | 1.26 - 1.34 | 5 | 190 |
| 231 | 2.31 | 0 | 200 |

| Component | Compartment | UFM Guidelines |
|---------------|------------------------|----------------|
| Soot | Diesel Engine | 30 |
| Oxidation | Diesel Engine | 34 |
| Oxidation | Nat. Gas Engine | 20 |
| Oxidation | Hydraulic & Non-engine | 17 |
| Nitration | Nat. Gas Engine | 12 |
| Sulfate / COC | Diesel Engine | 34 |

* - Please note that this model does not include UFM guidelines for soot, nitration and sulfation in non-engine compartments. Those components do not provide crucial information for non-engine compartments.

| Water Screen | % Water | UFM # |
|--------------|---------|-------|
| Possible | 0.10% | 31 |
| Probable | 0.50% | 35 |

The UFM values for oxidation, sulfation, and nitration are not directly related to the absorbance value obtained at the instrument level. Absorbance is a single – point measurement, whereas our new method of FT-IR analysis actually measures the peak area in a specific wavenumber range. Because this new measurement is no longer a single point, we are not able to directly correlate previous % allowable values with the UFM values you will see on your reports. Shown above is a table summarizing the values for oxidation, sulfation, and nitration to be used as guidelines during oil interpretation. Please refer to the technical paper listed above for more details.

Fuente: Caterpillar

Anexo 22. Especificaciones técnicas del aceite SAE 30 usado en el sistema de transmisión.

Cat[®] TDTO[™]

Aceite para la transmisión y el tren de impulsión para transmisiones **Cat**, mandos finales y compartimientos de frenos húmedos. **SAE 10W, SAE 30, SAE 50**



Uso recomendado

- Lubricante preferido para servotransmisiones **Cat** y la mayoría de los compartimientos de mandos finales y de frenos húmedos.
- Compartimientos de máquinas **Cat** donde se recomiendan aceites de especificación **TO-4** y **TO-4M**.
- Máquinas de otros fabricantes que recomiendan **TO-4**, **TO-4M** o aceites de especificación para los compartimientos de transmisiones, mandos finales y frenos húmedos (Para obtener más información, consulte "Características típicas" en la página 2).

Descubre la diferencia

- El aceite **Cat TDTO** fue desarrollado, probado y aprobado por **Caterpillar**[®] para cumplir con los mismos altos estándares requeridos en los repuestos originales **Cat**.
- **Llenado en fábrica:** usado como el aceite estándar con el que salen equipados de la fábrica los compartimientos de las máquinas **Cat** donde se especifican aceites **TO-4**.
- **Vida útil prolongada de los embragues:** prolonga la vida útil de los discos de los embragues hasta en un 45%.
- **Vida útil óptima:** asegura larga vida útil y excelente rendimiento de los engranajes, cojinetes y material de disco de fricción.
- **Fórmula ajustada al sistema:** diseñado como parte integral de las servotransmisiones **Cat**, la mayoría de los compartimientos de frenos húmedos y los sistemas hidrostáticos.



Fuente: Caterpillar

Anexo 23. Especificaciones técnicas del aceite HYDO 10 usado para el sistema hidráulico.

Cat[®] HYDO[™] Advanced 10



Caterpillar[®] introduce un aceite hidráulico nuevo a la línea de productos de fluidos, **Cat HYDO Advanced 10**. Este nuevo aceite es una combinación de aditivos de primera calidad y aceites de base especialmente seleccionados y con un control de calidad superior, está diseñado para proporcionar intervalos de drenaje extendidos y protección adicional a los componentes del sistema hidráulico.

Cat HYDO Advanced 10 representa un importante avance en cuanto al rendimiento de la tecnología del aceite hidráulico. Este aceite se desarrolló con una fórmula optimizada que se sometió a estrictas pruebas de calificación en el campo y en el laboratorio durante miles de horas. El resultado es el mejor producto disponible para los sistemas hidráulicos de las máquinas **Cat**.



Fuente: Caterpillar

Anexo 24. Especificaciones de técnicas del aceite de motor Cat DEO 15w40.

Cat® DEO-ULS™

Aceite del Motor API CK-4 SAE 15W-40 y SAE 10W-30



Diseñado para ofrecer una protección y un rendimiento óptimos en los motores de servicio pesado

Cat DEO-ULS esta exclusivamente formulado y optimizado para proporcionar el más alto nivel de protección y rendimiento en una amplia variedad de aplicaciones de motor, incluidas aquellas que requieren los sistemas de postratamiento.

Cat DEO-ULS:

- Se puede usar en todos los motores que requieran API CK-4 o categoría de API de aceite para motor diesel anterior (consulte su OMM).
- Supera los requisitos de rendimiento de la API CK-4.
- Es compatible con las categorías de aceite API previas.
- Proporciona rendimiento, durabilidad y optimiza la vida útil del motor.

| BENEFICIOS | |
|-------------------------------------|--|
| Depósitos del motor minimizados | La oxidación y la estabilidad térmica mejoradas minimizan los depósitos del motor y proporcionan protección constante durante todo el intervalo de drenaje de aceite. |
| Aireación reducida | La reducción de la aireación da como resultado una protección mejorada contra la descomposición del aceite, la cavitación y corrosión. |
| Características de cizalla mejorada | Las propiedades mejoradas de cizallamiento permiten que el aceite mantenga una viscosidad constante bajo altas cargas, proporcionando una mejor lubricación y protección para los componentes móviles. |
| Protección prolongada | Los aditivos especialmente diseñados y el aceite básico superior ofrecen una óptima protección y durabilidad del motor al tiempo que ayuda a un rendimiento constante de emisiones. |

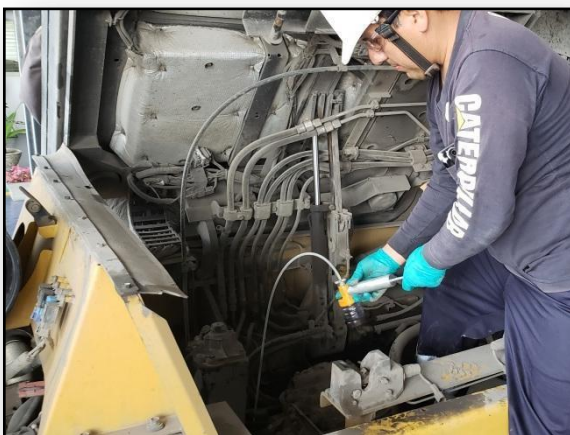


Fuente: Caterpillar.

Anexo 25. Flota de unidades de Montacargas Caterpillar P33000 de la empresa Siderúrgica del Perú



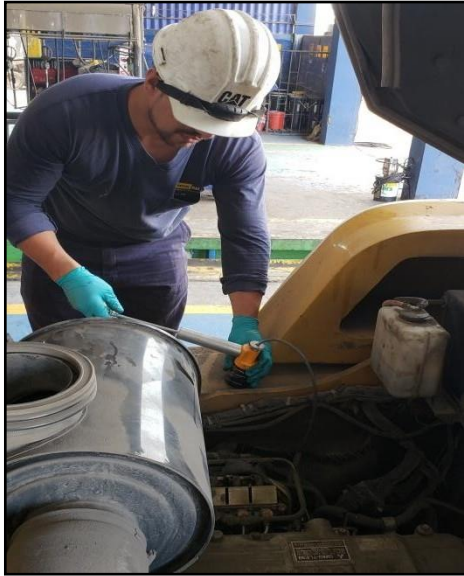
Anexo 26. Muestreo de aceite para análisis de laboratorio realizada por personal de la empresa Ferreyros S.A



Muestreo de aceite de transmisión



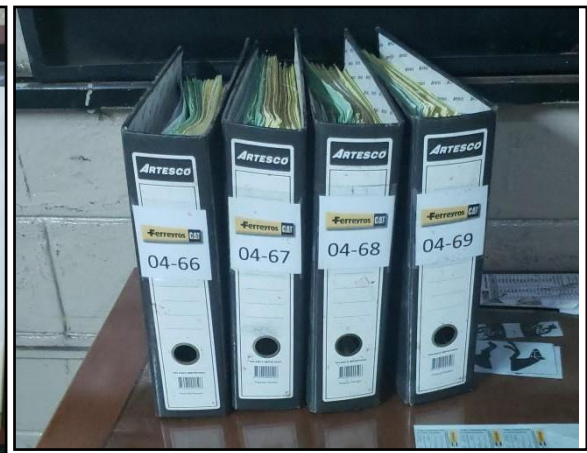
Muestreo de aceite hidráulico



Muestreo de aceite motor

Muestras etiquetadas para envío al laboratorio

Anexo 27. Historial de mantenimiento de la flota de montacargas P33000 de la empresa Siderúrgica del Perú.



Archivo de historial de mantenimiento de los equipos montacarga de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A.

Anexo 29. Acta de aprobación de originalidad de tesis.

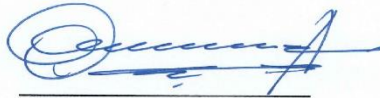
| | | |
|--|--|---|
|  UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS | Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 07 Fecha : 31-03-2017 Página : 1 de 7 |
|--|--|---|

ACTA N° 001 – 2C - 2019 - EII/UCV/CH

Yo, Jaime Eduardo Gutiérrez Ascón, docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad César Vallejo filial Chimbote, revisor de la tesis titulada: "MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE ACEITE PARA OPTIMIZAR COSTOS OPERATIVOS POR DISPONIBILIDAD, MONTACARGAS P33000. SIDERURGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE 2018", de los estudiantes INTI MORALES DARWIN MILTON / ALVAREZ CESPEDES FREDY RONALD, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 8 % verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Chimbote, 11 de febrero del 2019



Ing. Jaime Eduardo Gutiérrez Ascón
DNI: 17810336

| | | | | | |
|---------|----------------------------|--------|---|--------|-----------|
| Elaboró | Dirección de Investigación | Revisó | Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad | Aprobó | Rectorado |
|---------|----------------------------|--------|---|--------|-----------|

Anexo 31. Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional UCV.

| | | |
|--|--|--|
|  UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV | Código : F08-PP-PR-02.02 Versión : 07 Fecha : 31-03-2017 Página : 2 de 14 |
|--|--|--|

Yo, INTI MORALES DARWIN MILTON, identificado con DNI N° 45126857, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad César Vallejo, autorizo (), no autorizo () la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE ACEITE PARA OPTIMIZAR COSTOS OPERATIVOS POR DISPONIBILIDAD, MONTACARGAS P33000. SIDERURGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE 2018."; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....


FIRMA

DNI: 45126857

FECHA: 15 de febrero del 2019



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE
TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL**
UCV

Código : F08-PP-PR-02.02
Versión : 07
Fecha : 31-03-2017
Página : 1 de 14

Yo, ALVAREZ CESPEDES FREDY RONALD, identificado con DNI Nº 40813012, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad César Vallejo, autorizo (X), no autorizo () la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE ACEITE PARA OPTIMIZAR COSTOS OPERATIVOS POR DISPONIBILIDAD, MONTACARGAS P33000. SIDERURGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE 2018."; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

FIRMA

DNI: 40813012 .

FECHA: 15 de febrero del 2019

Anexo 32. Autorización de la versión final del trabajo de investigación.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

INTI MORALES DARWIN MILTON

INFORME TÍTULADO:

MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE ACEITE PARA OPTIMIZAR COSTOS OPERATIVOS POR DISPONIBILIDAD, MONTACARGAS P33000. SIDERURGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE 2018.

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

SUSTENTADO EN FECHA: 15/02/2019

NOTA O MENCIÓN: 16

Ms. RUTH M. QUILICHE CASTELLARES
ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE E.P. INGENIERÍA INDUSTRIAL





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

ALVAREZ CESPEDES FREDY RONALD

INFORME TÍTULADO:

MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE ACEITE PARA OPTIMIZAR COSTOS OPERATIVOS POR DISPONIBILIDAD, MONTACARGAS P33000. SIDERURGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE 2018.

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

SUSTENTADO EN FECHA: 15/02/2019

NOTA O MENCIÓN: 16

Ms. RUTH M. QUILICHE CASTELLARES
ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE E.P. INGENIERÍA INDUSTRIAL



ABSTRACT

The following research project entitled PREDICTIVE MAINTENANCE BY OIL ANALYSIS, TO ENHANCE THE OPERATING COSTS BY AVAILABILITY, P33000 FORK LIFT TRUCKS. SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE 2018. The company owns four P33000 Caterpillar fork lift trucks, which are highly critique equipment that provides service in the finished product dispatch area.

The company was carrying out oil changes in different systems and equipment compartments without having exact data that determines the lifespan of these basics, which leads to high operating costs due to availability, fluid change, and materials that are involved in the traditional maintenance.

The objective was to apply the predictive maintenance on oil analysis in order to optimize operating costs for the availability of forklifts trucks. Antón, D'Alessio, Mora, Montilla and Tormos' theoretical foundations were used. The sample was formed by a unit of 04-66 forklift trucks. The implementation began with the data compilation through the different formats that were validated by experts who are connoisseur of the subject, the guide of maximum permissible limits provided by the manufacturer and the analysis of oil samples. Based on this information, statistical tables of trends in contaminants that determine the lifetime of these elements to establish new ideal changes were made. Reaching results of savings in operating costs of \$ 34 393.88 annually, increasing the availability by 1.11%. It is concluded that the application optimizes the operational costs by availability.

Key words: *Oil analysis, Costs, Availability, Fork lift truck.*

