

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Trabajo de Suficiencia Profesional

**Control de contaminación de aceite hidráulico en
pala hidráulica 6060BH, a través del sistema de
micro filtrado para reducir costos y aumentar la
disponibilidad del equipo**

Wilson Fabricio Chavez Puma

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2023

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de suficiencia profesional



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

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, WILSON FABRICIO CHAVEZ PUMA, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 42776198, de la E.A.P. de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. El trabajo de suficiencia profesional titulado: "CONTROL DE CONTAMINACIÓN DE ACEITE HIDRÁULICO EN PALA HIDRÁULICA 6060BH, A TRAVÉS DEL SISTEMA DE MICRO FILTRADO PARA REDUCIR COSTOS Y AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial.
2. El trabajo de suficiencia profesional no ha sido plagiado ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. El trabajo de suficiencia profesional es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

04 de Diciembre de 2023.

TSP - CHAVEZ PUMA WILSON FABRICIO

INFORME DE ORIGINALIDAD

33%

INDICE DE SIMILITUD

32%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	8%
2	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	es.scribd.com Fuente de Internet	2%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	proactivo.com.pe Fuente de Internet	1%
6	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	1%
7	mafiadoc.com Fuente de Internet	1%
8	kupdf.net Fuente de Internet	1%
9	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet	1%

10	oa.upm.es Fuente de Internet	1 %
11	www.atlassian.com.rproxy.goskope.com Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	1 %
13	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1 %
14	www.grupoherres.com.mx Fuente de Internet	1 %
15	www.cat.com Fuente de Internet	1 %
16	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	1 %
17	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
18	intra.uigv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	kipdf.com Fuente de Internet	<1 %
20	vdocuments.mx Fuente de Internet	<1 %
21	uvadoc.uva.es	

Fuente de Internet

<1 %

22

fdocuments.es

Fuente de Internet

<1 %

23

repositorio.up.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

www.ifri.es

Fuente de Internet

<1 %

25

www.intertek.es

Fuente de Internet

<1 %

26

Submitted to Universidad Andrés Bello

Trabajo del estudiante

<1 %

27

www.megaslownik.pl

Fuente de Internet

<1 %

28

www.finning.com

Fuente de Internet

<1 %

29

www.ferreyros.com.pe

Fuente de Internet

<1 %

30

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

31

Submitted to Universidad Tecnológica
Centroamericana UNITEC

Trabajo del estudiante

<1 %

32

repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx

Fuente de Internet

<1 %

33

editorialalema.org

Fuente de Internet

<1 %

34

energiminas.com

Fuente de Internet

<1 %

35

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

36

www.bibliotecasdelecuador.com

Fuente de Internet

<1 %

37

dspace.unl.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

38

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

39

alsglobal.blog

Fuente de Internet

<1 %

40

repositorio.usm.cl

Fuente de Internet

<1 %

41

openigo.com

Fuente de Internet

<1 %

42

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

43

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

44	Submitted to unap Trabajo del estudiante	<1 %
45	ecuador.corresponsables.com Fuente de Internet	<1 %
46	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1 %
47	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
48	conexionambiental.pe Fuente de Internet	<1 %
49	ciex.edu.mx Fuente de Internet	<1 %
50	dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
51	www.mineria-pa.com Fuente de Internet	<1 %
52	repositorio.utn.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
53	tesis.ipn.mx Fuente de Internet	<1 %
54	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
55	www.gardnerdenverproducts.es Fuente de Internet	<1 %

56

issuu.com

Fuente de Internet

<1 %

57

Submitted to Tecsup

Trabajo del estudiante

<1 %

58

prezi.com

Fuente de Internet

<1 %

59

www.dspace.espol.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

60

predictiva21.com

Fuente de Internet

<1 %

61

buscador.una.edu.ni

Fuente de Internet

<1 %

62

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

63

www.energiminas.com

Fuente de Internet

<1 %

64

www.linguee.com

Fuente de Internet

<1 %

65

Submitted to Macquarie University

Trabajo del estudiante

<1 %

66

www.chj.es

Fuente de Internet

<1 %

67

repositorio.umsa.bo

Fuente de Internet

<1 %

68	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
69	repositorio.utp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
70	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	<1 %
71	Submitted to University of Wales central institutions Trabajo del estudiante	<1 %
72	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
73	ouci.dntb.gov.ua Fuente de Internet	<1 %
74	pdffox.com Fuente de Internet	<1 %
75	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
76	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
77	repositoriobiblioteca.udp.cl Fuente de Internet	<1 %
78	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
79	www.lared.com.co	

<1 %

80

BEATRÍZ CECILIA LEAL DE RIVAS.
"Metodología para la caracterización de aceites usados en aviación basada en técnicas espectroscópicas", Universitat Politecnica de Valencia, 2014

Publicación

<1 %

81

dspace.ups.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

82

myslide.es

Fuente de Internet

<1 %

83

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

84

repository.unipiloto.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

85

www.futurlab.es

Fuente de Internet

<1 %

86

www.lantek.it

Fuente de Internet

<1 %

87

alam.science

Fuente de Internet

<1 %

88

de.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

docplayer.es

89	Fuente de Internet	<1 %
90	repositorio.uho.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
91	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
92	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
93	www.digitalavmagazine.com Fuente de Internet	<1 %
94	www.gestioncanal.es Fuente de Internet	<1 %
95	www.tecnicsuport.com Fuente de Internet	<1 %
96	Carlos Cacciuttolo, Fernando Valenzuela. "Efficient Use of Water in Tailings Management: New Technologies and Environmental Strategies for the Future of Mining", Water, 2022 Publicación	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

TSP - CHAVEZ PUMA WILSON FABRICIO

INFORME DE GRADEMARK

NOTA FINAL

COMENTARIOS GENERALES

/0

PÁGINA 1

PÁGINA 2

PÁGINA 3

PÁGINA 4

PÁGINA 5

PÁGINA 6

PÁGINA 7

PÁGINA 8

PÁGINA 9

PÁGINA 10

PÁGINA 11

PÁGINA 12

PÁGINA 13

PÁGINA 14

PÁGINA 15

PÁGINA 16

PÁGINA 17

PÁGINA 18

PÁGINA 19

PÁGINA 20

PÁGINA 21

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ix
DEDICATORIA	x
RESUMEN EJECUTIVO.....	xi
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DE LA INSTITUCIÓN	1
1.1 Datos generales de la institución	1
1.2 Actividades principales de la institución	1
1.3 Reseña histórica de la institución	1
1.4 Organigrama de la institución.....	3
1.5 Visión y misión.....	4
1.5.1 Propósito.....	4
1.5.2 Ambición.....	4
1.5.3 Valores.....	4
1.6 Bases legales	5
1.7 Descripción del área	5
1.8 Descripción de cargo y responsabilidades	6
CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL	7
2.1 Diagnostico situacional.....	7
2.2.1 Análisis interno	8
2.2 Identificación de oportunidades	10
2.3 Objetivos de la actividad profesional	12

2.4 Justificación de la actividad profesional.....	13
2.5 Resultados esperados	13
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	15
3.1 Antecedentes.....	15
3.1.1 Antecedentes nacionales.....	15
3.1.2 Antecedentes internacionales.....	17
3.2 Bases teóricas.....	20
3.2.1 Minería.....	20
3.2.2 Yacimientos mineros.	20
3.2.3 Pala hidráulica.	21
3.2.4 Lubricantes.	23
3.2.5 Contaminación de fluidos.	24
3.2.7 Control de contaminación.....	25
3.2.8 Sistema de Microfiltrado.	26
3.2.9 Conteo de partículas.	26
3.2.10 Mantenimiento.....	28
3.2.9 Indicadores económicos.....	28
CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES	31
4.1 Descripción de actividades profesionales	31
4.1.1 Enfoque de las actividades profesionales.	31
4.1.2 Alcance de las actividades profesionales.....	31

4.1.3 Entregables de las actividades profesionales	32
4.2 Aspectos técnicos de la actividad profesional	36
4.2.1 Metodologías.	36
4.2.2 Técnicas.	37
4.2.3 Instrumentos.	38
4.2.4 Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades .	38
4.3 Ejecución de las actividades profesionales.....	39
4.3.1 Cronograma de actividades realizadas.....	40
4.3.2 Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales.	41
CAPITULO V: RESULTADOS.....	43
5.1 Resultados finales	43
5.1.1 Propuesta de mantenimiento.....	43
5.1.2 Propuestas de sistema.	44
5.1.3 Proceso de instalación.....	48
5.1.4 Análisis de aceite.	53
5.1.5 Análisis de costos.	57
5.1.6 Análisis de indicadores.	59
5.2 Logros alcanzados	63
5.3 Dificultades encontradas.....	65
5.4 Planteamiento de mejoras	66
5.5 Análisis de resultados	66

5.5.1 Resultados de lubricante.....	66
5.5.2 Análisis económico.....	70
5.5.3 Resultados de indicadores.....	71
5.6 Aportes.....	72
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos generales.....	1
Tabla 2. Matriz FODA.....	8
Tabla 3. Cantidad requerida de aceite para sistema hidráulico.....	11
Tabla 4. Datos generales de la Pala Hidráulica 6060.	23
Tabla 5. Cronograma	40
Tabla 6. Propuestas de implementación	44
Tabla 7. Especificaciones técnicas del sistema de filtración	49
Tabla 8. Extensión de la vida útil: nivel de limpieza, código ISO	53
Tabla 9. Resultados de análisis de aceite	56
Tabla 10. Costo total anual de cambio de componente	58
Tabla 11. Costo total anual de cambio de aceite.....	59
Tabla 12. Indicadores MTBF y MTTR.....	60
Tabla 13. Disponibilidad	62
Tabla 14. Resultado de muestras	64
Tabla 15. Conteo de partículas según muestra	67
Tabla 16. Tiempo de vida de componente.....	69
Tabla 17. Flujo de caja proyectado.....	70
Tabla 18. Indicadores económicos	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama.....	3
Figura 2. Proyecto AngloAmerican Quellaveco.....	21
Figura 3. Pala Hidráulica CAT 6060.	22
Figura 4. Codificación ISO 4406-99.	27
Figura 5. Indicador MTBF.....	33
Figura 6. Límites de Control MTBF.....	34
Figura 8. Diagrama Jackknife.....	35
Figura 9. Seguimiento Cumplimiento de RCA.....	35
Figura 10. Sistema CJC HD HDU con lista de partes Ficha técnica.....	48
Figura 11. Máquina Caterpillar 6060BH.	48
Figura 12. Sistema de filtración CJC HD HDU 27/54 para aceite hidráulico de la CAT 6060BH (SH006).	49
Figura 13. Diagrama de Operaciones de Proceso.....	52
Figura 14. Indicador MTTR.	60
Figura 15. Indicador MTBF.....	61
Figura 16. Disponibilidad.	62
Figura 17. Extensión del Tiempo de Vida.	68
Figura 18. MTTR, MTTB y Disponibilidad.....	72

AGRADECIMIENTOS

A mi madre,
por brindarme su amor y apoyo en las actividades que he realizado, las cuales me llevaron a realizar y culminar el presente trabajo de suficiencia profesional.

A AngloAmerican Quellaveco,
donde tengo la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos en mi periodo de estudiante y el KnowHow a través de las vivencias en mis previos trabajos.

La experiencia que obtuve desarrollándome en el área de Confiabilidad, me ha posibilitado participar de diversos proyectos que han tenido un efecto enriquecedor en mi conocimiento teórico y técnico.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de suficiencia profesional a mi familia, porque son mi motivación para continuar aprendiendo y desenvolviéndome en la actividad profesional que me apasiona.

También a mi persona, ya que dedique esfuerzo y perseverancia para culminar satisfactoriamente mi preparación académica, buscando convertirme en un ingeniero industrial.

RESUMEN EJECUTIVO

La gestión de mantenimiento es de suma importancia en las actividades que plantea este trabajo de suficiencia profesional, siendo su enfoque en el área de confiabilidad que busca evaluar diversos indicadores para tomar decisiones acerca de mecanismos de mantenimiento y preservación del equipo minero, a fin de asegurar su disponibilidad.

Con el fin de implementar mecanismos que permitan mejorar la disponibilidad de equipos se ha planteado un control de contaminación de aceite hidráulico en pala hidráulica 6060BH, a través del sistema de micro filtrado para reducir costos y aumentar la disponibilidad del equipo, debido a que este equipo requiere combustible diésel y aceite hidráulico para su funcionamiento y estos fluidos están expuestos a partículas contaminantes que pueden generar fallas en los componentes y pérdida de volumen de producción.

Por lo que se implementó un sistema de filtración de los tanques de aceite hidráulico de la pala hidráulica 6060BH, donde se tomaron en cuenta las especificaciones técnicas del equipo, ya que debe respetarse la integridad funcional y estructural de la maquinaria. Una vez que el sistema fue instalado se buscó determinar los niveles de contaminación mediante la técnica de análisis de aceite, se obtuvo el resultado de conteo de partículas presentes antes de la instalación, notándose que tenían un nivel de contaminación elevado; valores que se redujeron considerablemente en las muestras tomadas luego de la instalación del sistema de microfiltrado.

Finalmente, se analizaron los resultados mediante tablas de comparación de niveles de limpieza, estudiando los efectos en el tiempo de servicio del aceite hidráulico, tiempo de vida de los componentes hidráulicos, detenciones por fallas en el

sistema de combustible, costos de mantenimiento en el área y KPI's de mantenimiento actuales.

Los resultados obtenidos revelan que el control de los niveles de contaminación presentes en la Pala hidráulica 6060 ha permitido extender la vida de útil de los componentes hidráulicos en un 60%, manteniendo el código ISO dentro de los parámetros objetivo bajo los cuales se hace el análisis (*Código ISO **/18/15 o mejor*); reducir el costo anual de cambio de componentes y aceite en un 37.5% y 40% respectivamente e incrementar significativamente la disponibilidad de la Pala Hidráulica, manteniendo un promedio de 96.34%, donde el equipo está en funcionamiento y listo para usarse en alguna operación minera. Además, según los indicadores VAN (\$22,548.33), TIR (32.14%) y PRI (3.73 años), la instalación del sistema de microfiltrado es una propuesta rentable que genera valor en su aplicación, ya que sus valores cumplen con los criterios de evaluación.

Siendo así, se concluye que la implementación control de contaminación de aceite hidráulico en pala hidráulica 6060BH mediante el sistema de microfiltro ha cumplido con los objetivos de extender la vida útil de los componentes, incrementar el periodo de cambio de aceite, disminuir la adquisición de componentes en periodos muy cortos y mitigar las fallas de los sistemas, además de incrementar la disponibilidad de los equipos.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, resalta una actividad económica importante: la minería, la cual ha generado gran cantidad de empleos, ingresos al país y desarrollo social a lo largo de los años. Así mismo, se han desarrollado diversos proyectos de inversión, los cuales extraen minerales metálicos y no metálicos.

Uno de los proyectos de inversión más grande que se está desarrollando en nuestro país es el proyecto AngloAmerican Quellaveco, siendo uno de los cinco yacimientos de cobre más grandes del mundo. Este proyecto es el que mayor inversión tiene actualmente en los diferentes rubros como planta beneficio, infraestructura y equipo. En cada uno de estos, se toman en cuenta diversos factores económicos y operativos. Este trabajo de suficiencia profesional se enfocó en el equipo utilizado en el proyecto, específicamente, la Pala Hidráulica 6060, la cual, para su funcionamiento, requiere combustible diésel y aceite hidráulico, teniendo en cuenta que estos fluidos están expuestos a partículas contaminantes que generan diversas problemáticas como fallas en los componentes y pérdida de volumen de producción.

El área de Confiabilidad es la encargada de reducir estos riesgos de falla. Para eso se planteó un control de contaminación bajo la metodología de mejora continua. Para ello, se tomó la decisión de instalar un sistema de filtrado en el sistema hidráulico y de combustible para disminuir el nivel de conteo de estas partículas y, por ende, disminuir los niveles de contaminación.

Teniendo esto en cuenta, se tienen como objetivos extender la vida útil de los componentes, incrementar el periodo de cambio de aceite, disminuir la adquisición de componentes en periodos muy cortos y mitigar las fallas de los sistemas, esto se verá reflejado en la disminución de costos que aplican a estos sistemas.

El conteo de partículas se hizo bajo de las Normas ISO 4406. En ese caso, se determinaron los códigos ISO para las muestras tomadas, antes y después de la implantación del sistema, de esta manera, se evaluó si el sistema de microfiltrado puede disminuir y mantener los códigos dentro de los parámetros establecidos por el fabricante, con los cuales se está evaluando esta aplicación.

La técnica que se usó para determinar los niveles de contaminación fue el análisis de aceite. Se mandó al laboratorio muestras de los fluidos, a través de los cuales se obtuvo el conteo de partículas presentes, notándose que tenían un nivel de contaminación elevado, el cual fue reducido luego de la instalación del sistema de microfiltrado.

Finalmente, se analizaron los resultados mediante tablas de comparación de niveles de limpieza y códigos ISO, estudiando los efectos en el tiempo de servicio del aceite hidráulico, tiempo de vida de los componentes hidráulicos, detenciones por fallas en el sistema de combustible, costos de mantenimiento en el área y KPI's de mantenimiento actuales.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DE LA INSTITUCIÓN

1.1 Datos generales de la institución

AngloAmerican Quellaveco es subsidiaria de AngloAmerican compañía minera global con sede en Londres, Reino Unido.

Tabla 1.

Datos generales

Datos Generales	
Razón Comercial	Anglo American Quellaveco S.A.
Dirección Legal	Cal. Esquilache Nro. 371, San Isidro, Lima
Dirección Proyecto	Mina Quellaveco, Torata, Mariscal Nieto, Moquegua
RUC	20137913250
Actividad Comercial	Extracción de Minerales Metalíferos No Ferrosos
Tipo de Empresa	Sociedad Anónima
Condición	Activa

Fuente: ANGLOAMERICAN. "Proyecto: Así se construye Quellaveco", 2021 [1]

1.2 Actividades principales de la institución

Según AngloAmerican (2020), el proyecto Quellaveco es “una mina a tajo abierto y con proceso de flotación para producir concentrados de cobre, así como molibdeno”.

[1]

1.3 Reseña histórica de la institución

El proyecto dio inicio diciembre de 1992, con la privatización de Hierro Perú a Shougang Corporation. Quellaveco, fue el segundo activo en ser privatizado en un concurso realizado el 19 de diciembre de 1992 a la filial de Anglo American. Poco tiempo

después Anglo American vendió el 18.1 % del proyecto a la japonesa Mitsubishi. En el periodo actual encontramos en mina con prestripping y en planta con la construcción y el ensamble de equipos de planta. [1]

1.4 Organigrama de la institución

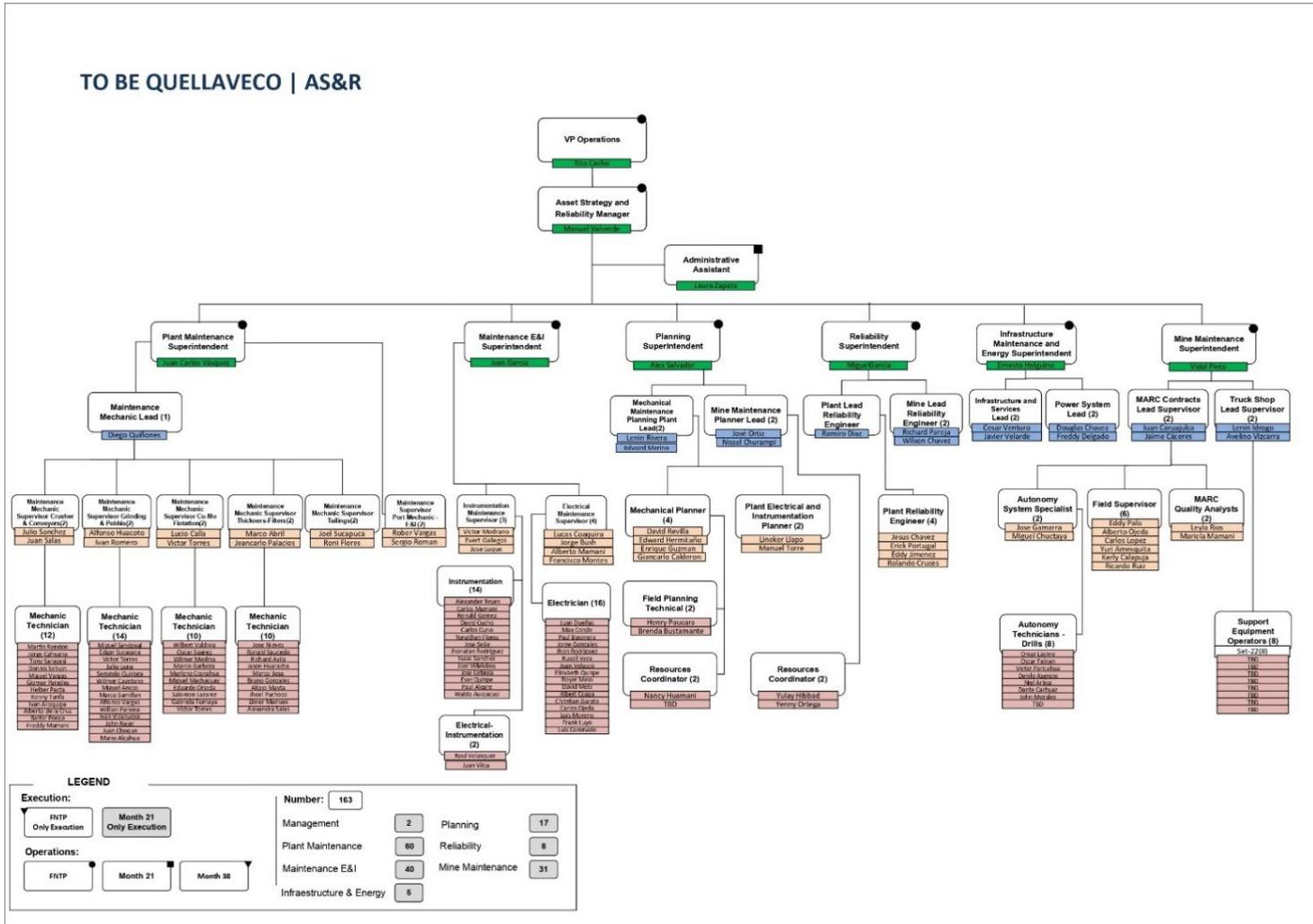


Figura 1. Organigrama.

Fuente: Elaboración propia

1.5 Visión y misión

El propósito, la ambición y los valores que se plantean para el proyecto Quellaveco, según AngloAmerican Quellaveco, se detallan en los siguientes incisos.

1.5.1 Propósito.

Reimaginar la minería para mejorar la vida de las personas. [2]

1.5.2 Ambición.

Lograr la compañía minera más valorada de aquí al 2023: la más valorada por nuestros empleados, nuestros accionistas y nuestros grupos de interés. [3]

1.5.3 Valores.

- A. Seguridad.** Ponemos todo de nuestra parte para eliminar las lesiones, pues valoramos la vida y optamos sin reserva por la seguridad, la salud y el bienestar en el trabajo y el hogar.
- B. Preocupación y Respeto.** Creemos en la humanidad y, por lo tanto, cuidamos y respetamos a todas las personas y no cerraremos los ojos ante lo que no está bien.
- C. Integridad.** Siempre actuamos de manera honesta, justa, ética y transparente.
- D. Responsabilidad.** Nos responsabilizamos de nuestras decisiones, acciones y desempeño y tenemos la capacidad de optar y aprender de nuestras experiencias.
- E. Colaboración.** Colaboramos con nuestros colegas y grupos de interés en busca de un propósito común y en pos de resultados excepcionales.
- F. Innovación.** Cuestionamos los supuestos, buscamos otras perspectivas y aprovechamos oportunidades innovadoras para transformar la empresa. [3]

1.6 Bases legales

- DECRETO SUPREMO N.º 024-2016-EM
- Ley 29783 _ Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo
- DL N.º 109 Ley General de Minería
- DS N.º 014-92-EM TUO Ley General de Minería
- DS N.º 018-92 Reglamento de Procedimientos Mineros
- Resolución Directoral N.º 0024-2019-MEM/DGM - Aprobar el Estudio de Factibilidad y el Cronograma de Inversión para ejecutar el Proyecto “Quellaveco”
- Norma Internacional ISO 4406:1999 Energía en fluidos hidráulicos - Fluidos - Método para la codificación del nivel de contaminación por partículas sólidas en fluidos hidráulicos.

1.7 Descripción del área

El proyecto Quellaveco cuenta con cinco áreas principales, el área en la que se desempeñan las actividades profesionales es la número 2000, siendo una zona de tajo abierto de la mina, donde se da extracción del mineral.

El área 2000 tiene tres gerencias principales: Gerencia de Operaciones Mina, Gerencia de Servicios Técnicos y Gerencia de Mantenimiento (AS&R).

La Gerencia de Mantenimiento Mina se encarga de mantener los equipos con sus parámetros normales de funcionamiento y con la disponibilidad necesaria para que la operación de mina pueda extraer material.

Dentro del parque de máquinas, se tienen equipos de carguío (Palas eléctricas e hidráulicas), equipos de acarreo (Camiones mineros) y equipos auxiliares de movimiento de tierra (Tractor de orugas, tractor de ruedas, etc.).

El área donde se desempeñan las actividades profesionales es la de Mantenimiento, la cual busca mantener un monitoreo de las condiciones de equipos mineros, establecer planes de optimización y mejora, que lleven a garantizar la fiabilidad y confiabilidad de los equipos de mina y superficie, cumpliendo los objetivos estratégicos de seguridad, cuidado del medio ambiente, salud y producción. [1]

1.8 Descripción de cargo y responsabilidades

El cargo a desempeñar es Ingeniero Senior de Confiabilidad de Mina, las funciones de este cargo son las siguientes:

1. Implementación de estrategias de mantenimiento y cambio de componentes.
2. Gestión de indicadores de mantenimiento, específicamente los KPIs de disponibilidad, MTBF y MTTR.
3. Gestión de garantías y fallas operacionales.
4. Dirigir reuniones de Top Five por flotas (cinco fallas principales del mes que afecten el MTTR y MTBF), creación de planes de acción, seguimiento y control.
5. Dirigir reuniones mensuales de socios estratégicos y seguimiento de los acuerdos con 3W (What, When, Who).
6. Desarrollo de análisis causa raíz de eventos que impactan en disponibilidad y costos, creación de planes de acción, seguimiento y control.
7. Gestión de monitoreo de condición, fluidos, elementos de desgaste (gets), carrilería (undercarriage).
8. Gestión de seguimiento a implementación de mejoras.

CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL

En este capítulo, se detallan el diagnóstico situacional del área y se identifican las oportunidades de mejora en la misma. Además, se describen los objetivos, la justificación y los resultados esperados de la actividad profesional.

2.1 Diagnostico situacional

El área de mantenimiento se encarga de brindar al área de operaciones altos niveles de disponibilidad y confiabilidad en los principales KPI establecidos para los equipos mineros, a fin de cumplir con el presupuesto y los plazos de producción, además de optimizar los costos de mantenimiento. Siendo así se busca no tener eventos que interrumpan o perjudiquen a las operaciones, seguridad, salud y medio ambiente.

En cuanto a seguridad, se debe dirigir, implementar y hacer cumplir la política, incluyendo los procedimientos de seguridad para garantizar un ambiente de trabajo seguro; mayor concientización y comportamiento sobre seguridad de los empleados.

Por otro lado, es necesario dirigir y garantizar el cumplimiento del Sistema de Gestión de Salud y Seguridad establecido, a través de un programa de mitigación de accidentes de reactivo a proactivo. Así mismo, se administran todas las actividades de mantenimiento de mina para cumplir con todas las leyes y regulaciones ambientales.

En cuando a las operaciones, es fundamental que se administre el mantenimiento general de los equipos mineros, las actividades programadas y no programadas; con calidad y seguridad a un costo óptimo Esto implica el presupuesto de mantenimiento de la mina, a través del control de estrategias: semanales, mensuales y anuales, además de desarrollar y actualizar estrategias de los activos de mantenimiento para mantener la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

2.2.1 Análisis interno

Para realizar una evaluación interna, utilizamos el análisis FODA, con el objetivo de identificar las fortalezas, las oportunidades, las debilidades y las amenazas del área de mantenimiento de la minera AngloAmerican.

Tabla 2.

Matriz FODA

	<u>Fortalezas</u>	<u>Debilidades</u>
	<p>F1: La empresa posee el respaldo de una casa matriz con presencia internacional.</p> <p>F2: Cuenta con sólidos índices de solvencia, liquidez y rentabilidad financiera.</p> <p>F3: Convenios con empresas internacionales.</p> <p>F4: Cultura de mejora continua en los procesos productivos y actualización tecnológica.</p>	<p>D1: Costos altos de mantenimiento para equipos mineros.</p> <p>D2: Deficiencias en los procesos de planeamiento.</p> <p>D3: Poco conocimiento de tribología de los técnicos mecánicos que impide cumplir con el procedimiento de muestreo.</p> <p>D4: Almacén temporal de lubricantes.</p> <p>D5: Falta de experiencia por personal que abastece lubricantes.</p>
<u>Oportunidades</u>	<p>-O1, O3, O4, F2, F4-</p> <p>Elaboración de un estudio de factibilidad para implementar mejoras en los procesos y operaciones de mantenimiento.</p> <p>-O1, O2, O3, F1, F3-</p> <p>Generación de contratos comerciales a nivel internacional en el sector minero.</p>	<p>-O1, O3, O4, D1, D2, D5-</p> <p>Reducción de costos de mantenimiento mediante la aplicación de sistemas de control en los lubricantes de los equipos mineros.</p> <p>-O1, O3, O4, D1, D2-</p>

	<p>-O3, O4, F3, F2, F4-</p> <p>Adquisición de equipos y sistemas de información de mantenimiento de equipos a costo menor que el ofrecido en el mercado.</p>	<p>Eliminación de cuellos de botella por medio del mantenimiento proactivo enfocado en fallas críticas de los sistemas de mantenimiento.</p> <p>-O1, O4, D2, D4, D5-</p> <p>Implementación de un nuevo sistema de almacenaje de lubricantes.</p> <p>-O3, D3, D4, D5-</p> <p>Capacitaciones constantes sobre aspectos técnicos del proceso de mantenimiento y operativo a los colaboradores del área.</p>
<p><u>Amenazas</u></p> <p>A1: Revisión de las concesiones mineras por parte del Estado como consecuencia de la presión de las comunidades.</p> <p>A2: Variación de los precios de los minerales metálicos a nivel internacional.</p> <p>A3: NTP con valores de limpieza de combustible muy permisibles.</p>	<p>-A3, A4, F3, F4-</p> <p>Posibilidad de reducir la contaminación de fluidos mediante la aplicación de mejora tecnológica vigente en los equipos de mina.</p> <p>-A3, F2, F3, F4-</p> <p>Aplicación de mejora continua en procesos que son evaluados bajo la NTP, a fin de no alejarse de los valores estándar de manera permanente.</p>	<p>- A1, A3, D3, D4, D5-</p> <p>Implantación de mecanismos y procesos que permitan mejorar la disponibilidad de equipos.</p> <p>- A3, D3, D1, D4, D5-</p> <p>Elaboración de un nuevo plan de mantenimiento que este enfocado en el cumplimiento de los NTP.</p>

Fuente: Elaboración propia

2.2 Identificación de oportunidades

Mediante el análisis FODA, se identificó una oportunidad de mejora, donde se busca una reducción de costos de mantenimiento y mejorar la disponibilidad mediante la aplicación de sistemas de control de la contaminación de aceite, en este caso el lubricante que es usado para el sistema hidráulico de los equipos mineros, ya que si este presenta una alta concentración de partículas contaminantes puede generar fallas en el proceso operativo y comprometer la integridad del equipo minero.

Siendo así es necesario realizar un estudio donde se aplique el sistema de control al equipo que requiera acción inmediata en cuanto a la contaminación del aceite hidráulico, ya que si este se ve comprometido genera costos elevados y reducción en la disponibilidad de los equipos mineros.

Entre los equipos mineros utilizados en el área de operaciones de la minera son los siguientes:

1. Flota de Carguío y Perforación

- Palas Eléctricas Caterpillar Modelo 7495
- Pala Hidráulica Caterpillar Modelo 6060BH
- Cargador Frontal Caterpillar Modelo 992
- Perforadora Epiroc Modelo PV351D
- Perforadora Epiroc Modelo D65

2. Flota de Acarreo

- Camiones Mineros Caterpillar Modelo 794AC (Autonomos)
- Camiones Mineros Caterpillar Modelo 777G

3. Flota Auxiliar

- Tractores de Oruga Caterpillar Modelo D11 y D10T2
- Tractores sobre Ruedas Caterpillar Modelo 834K

- Excavadoras Caterpillar Modelo 6015B
- Motoniveladora 24 y 16M
- Cable Reeler Caterpillar Modelo 988K
- Water Truck Caterpillar Modelo 777G

Dentro de estos equipos se ha identificado que la Pala Hidráulica Caterpillar Modelo 6060BH requiere una gran cantidad de lubricante para su sistema hidráulico en comparación a los otros equipos.

Tabla 3.

Cantidad requerida de aceite para sistema hidráulico

Equipos Mineros	Cantidad Requerida (gal)
Palas Eléctricas Caterpillar Modelo 7495	1000
<i>Pala Hidráulica Caterpillar Modelo 6060BH</i>	2485
Cargador Frontal Caterpillar Modelo 994K	292.4
Perforadora Epiroc Modelo PV351D	360
Perforadora Epiroc Modelo D65	125
Camiones Mineros Caterpillar Modelo 794AC	385
Camiones Mineros Caterpillar Modelo 777G	36.6
Tractores de Oruga Caterpillar Modelo D11	42.2
Tractores sobre Ruedas Caterpillar Modelo 834K	63.4
Excavadoras Caterpillar Modelo 6015B	252.5
Motoniveladora 24M	37.5
Cable Reeler Caterpillar Modelo 988K	125.5
Water Truck Caterpillar Modelo 777G	117.3

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 3, la Pala Hidráulica Caterpillar Modelo 6060BH requiere 2485 gal de aceite, específicamente Shell Tellus 52 VX 46, que es el lubricante en uso para mantener el funcionamiento de su sistema hidráulico, esta cantidad supera por mucho al aceite utilizado en otros equipos como camiones Mineros Caterpillar Modelo 777G y

Motoniveladora 24M que son los que utilizan una mínima cantidad para la lubricación. Por ello, se va trabajar con este equipo, siendo que utiliza una cantidad de lubricante mayor y es susceptible a altos niveles de contaminación por efecto de las partículas presentes en el área.

La cantidad de lubricante utilizado no representa un problema para los costos del área de mantenimiento ni para la disponibilidad ofrecida del equipo al área de operaciones en cuanto cumpla con su función y tiempo de vida.

Sin embargo, la zona de trabajo de los equipos mineros presenta alta polución en cuanto a partículas contaminantes, además que el mantenimiento que se realiza en el campo y no en un taller, lo que puede causar una contaminación de fluidos al lubricante y combustible.

Esto se traduce posibles paradas por indisponibilidad del equipo y aumento en el costo de mantenimiento por parada, cambio de lubricante, cambio de repuestos y otros elementos.

Siendo así se ha identificado la posibilidad de reducir los niveles de contaminación de la Pala Hidráulica Caterpillar Modelo 6060BH a fin de reducir el costo de mantenimiento, además de incrementar la disponibilidad y confiabilidad de este equipo, con el objetivo a largo plazo de implementarlo en otros equipos que utiliza la minera AngloAmerican.

2.3 Objetivos de la actividad profesional

El Ingeniero Senior de Confiabilidad Mina brinda de manera sostenible la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de minería a un costo óptimo, a través de:

- La correcta administración de los recursos humanos y activos.
- El liderazgo en seguridad, medio ambiente y asuntos sociales.
- Control de presupuesto y KPI establecidos para el mantenimiento de equipos.
- Cumplimiento de normativa y estándares de mantenimiento.
- Servicios especializados (contratos MARC) y su control presupuestario.
- Mejora continua.

2.4 Justificación de la actividad profesional

El área de mantenimiento se encarga de brindar al área de operaciones altos niveles de disponibilidad y confiabilidad en los principales KPI establecidos para los equipos mineros, a fin de cumplir con el presupuesto y plazos de producción, además de optimizar los costos de mantenimiento.

Siendo así se busca no tener eventos que interrumpan o perjudiquen a las operaciones, seguridad, salud y medio ambiente.

En cuanto a seguridad se debe dirigir, implementar y hacer cumplir la política, incluyendo los procedimientos de seguridad para garantizar un ambiente de trabajo seguro; mayor concientización y comportamiento sobre seguridad de los empleados.

Por otro lado, es necesario dirigir y garantizar el cumplimiento del Sistema de Gestión de Salud y Seguridad establecido, a través de un programa de mitigación de accidentes de reactivo a proactivo.

Así mismo, se administran todas las actividades de mantenimiento de mina para cumplir con todas las leyes y regulaciones ambientales.

En cuando a las operaciones, es fundamental que se administre el mantenimiento general de los equipos mineros, actividades programadas y no programadas; con calidad, seguridad a un costo óptimo, esto implica el presupuesto de mantenimiento de la mina, a través del control de estrategias, semanal, mensual y anual; además de desarrollar y actualizar estrategias de los activos de mantenimiento para mantener la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

2.5 Resultados esperados

Los resultados que se esperan con la implementación del sistema son:

1. Extender tiempo de servicio del aceite hidráulico.

2. Extender tiempo de vida de los componentes hidráulicos.
3. Disminuir y/o eliminar detenciones por fallas en el sistema de hidráulico y de combustible.
4. Reducir los costos de mantenimiento en el área.
5. Mejorar los KPI's de mantenimiento actuales.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo, se detallan los antecedentes que se tienen como referencia para desarrollar este trabajo, además se explican las bases teóricas necesarias para comprender la aplicación y estudio realizado.

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes nacionales.

Según Villanueva (2020), en la investigación regeneración del aceite usado en los camiones Komatsu 930 ES, a través del sistema de micro filtrado con la finalidad de reducir los costos en la Compañía Minera Antamina Huaraz, donde se realizó un análisis situacional según información técnica del sistema hidráulico de los camiones Komatsu 930ES, para luego someter al aceite hidráulico a un estudio a partir de valores límites y normales de desgaste, identificando el problema y su posible solución con la implementación de un sistema de microfiltrado. De esta manera, se procedió a hacer un costeo del mantenimiento del aceite antes y después de la instalación y, como resultado, se obtuvo que en cada mantenimiento de cambio de aceite, el costo por los 250 galones disminuye a S/ 163, asimismo, el costo de mano de obra en cambio de aceite a S/ 20 y el costo por parada de cambio para cambio de aceite a S/ 500, dando un total de S/ 683 en comparación con los costos sin la regeneración del aceite que superaban los S/ 5500, siendo esto la validación de la aplicación del sistema y su impacto en la reducción de costos de mantenimiento de la Compañía Minera Antamina Huaraz. [36]

En la investigación de Egoávil (2019), se implementó un programa de lubricación para aumentar la disponibilidad de los scoops Caterpillar R1600G en la Compañía Minera Casapalca, el cual detalla desde un análisis situacional de la empresa con respecto a sus

prácticas actuales en lubricación y posteriormente con la implementación del programa; así mismo, presenta de manera concisa los recursos necesarios para su implementación y el análisis económico-financiero, logrando incrementar la disponibilidad de los scoops Caterpillar R1600G de 89 % a 94 % en los primeros tres meses de ejecutado el programa, además de un cambio del costo promedio anual por reemplazo de lubricantes en un scoop R1600G, el cual era de S/ 15 937,48 cuando se utilizaban lubricantes Mobil y, actualmente, con el cambio a Chevron el costo promedio anual es de S/ 15 273,92, lo que se traduce en un ahorro de S/ 663,55 por equipo y de S/ 6 635,52 por la flota de 10 scoops. [33]

Valcárcel y Peláez mencionan en la investigación el análisis de la implementación de un sistema de microfiltrado, mediante Weibull de tres parámetros, en flota de palas en el sector minas, resultando en una reducción de costo en mantenimiento en las palas Hitachi de un S/ 82 071.12 desde 2016 hasta un S/ 41 035.56, mediante el método Weibull. Se demuestra que las horas de reparación han disminuido considerablemente, obteniendo así un óptimo nivel de fiabilidad y disponibilidad. [35]

Según Medina, en su análisis y monitoreo del aceite lubricante en la anticipación de fallas de maquinaria pesada, como herramienta de mantenimiento proactivo, tuvo como objetivo anticipar las fallas producidas en los equipos Volvo mediante la implementación de un programa de mantenimiento proactivo que permita un control de contaminación en las unidades y, de esta manera, aumentar la disponibilidad y disminuir costos de mantenimiento de los equipos de maquinaria pesada. Para ello se realizó un análisis de criticidad, de los equipos presentan más fallas, de los cuales se realizará una toma de muestras de aceite, para así planificar los mantenimientos preventivos y predictivos que nos permitan llevar un control de contaminación del aceite. Como resultado del análisis y el monitoreo, se redujeron los costos de materiales y repuestos en los equipos Volvo VM de \$ 76 437.276 a \$ 41 158.5 con la implementación del análisis de aceite, logrando de esta manera un beneficio para la empresa

de 46.15 % del presupuesto al poder ahorrar \$ 35 278.778 en lo que va del año, además se lograron disminuir los tiempos de reparación por paradas correctivas, aumentando la disponibilidad de los equipos A 97.38 %. [26]

Inti y Álvarez, en su investigación “*Mantenimiento predictivo por análisis de aceite, para optimizar costos operativos por disponibilidad, montacargas P33000. Siderúrgica del PERÚ S.A.A.*”, cuyo objetivo fue aplicar el mantenimiento predictivo por análisis de aceite con el fin de optimizar los costos operativos por disponibilidad de los montacargas, logran 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 %, concluyendo que la aplicación optimiza los costos operativos por disponibilidad. [22]

3.1.2 Antecedentes internacionales

Según Colíndres, en su investigación “*Diseño de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite con aplicación de la norma ISO 4406:17 en la planta de pastas de una mina extractora de plata en Guatemala*”, busca estudiar el historial de fallas y fichas técnicas el control y los tipos de mantenimientos realizados a la unidad a hidráulica, determinar la contaminación permitida por los componentes típicos hidráulicos a resguardar y evaluar los beneficios que tiene la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo, para uso una verificación de los historiales de mantenimiento y fichas de control, así como de las fallas más recurrentes de los componentes críticos del sistema hidráulico. Como resultado, se analizaron muestras de aceite utilizando la técnica adecuada de recolección y monitoreo en la unidad hidráulica, para determinar el grado de contaminación existente en cada uno de los tamaños de partículas y compararlas con el permitido, siendo este de 19/16/13, lo que indica la

prolongación de la vida útil del aceite por medio de la filtración y evitando, con ello, falla en los componentes hidráulicos a largo plazo. [12]

Ávila, en su investigación *“Determinación del desgaste de los elementos mecánicos del motor mediante el análisis del aceite usado”*, analiza los materiales de desgaste evaluados en partes por millón (ppm) presentes en función del kilometraje recorrido, en las muestras tomadas a cada unidad motriz y en qué grado se encuentran estas y, por ende, determina el posible elemento con desgaste. También se observa el estado del lubricante como su viscosidad, número básico total (TBN). Todos estos análisis según normalización ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales), con el objetivo de establecer un programa de mantenimiento predictivo y preventivo para evitar paradas inesperadas en este caso de las unidades de la flota de camiones, como resultado se obtuvo que la viscosidad presenta un valor de 14.49 cSt, a un kilometraje de servicio de 7.767 Km esta propiedad se ve afectado por procesos químicos reduciendo a 12.8 cSt a un kilometraje de servicio de 8.703 Km. Por esta razón, la vida útil del lubricante en función del kilometraje no es apta para seguir en funcionamiento. Por otro lado, el análisis de la basicidad del aceite del motor (TBN) en las muestras de aceite analizadas, tomadas de la flota de camiones permiten concluir que el aceite utilizado el Ursa TDX 15w40, mantiene los niveles aceptables de operatividad, el lubricante está apto para continuar su servicio a un kilometraje de 7.000 Km y no existe problemas asociados a la corrosión. [5]

Jaramillo y Redrován, en su investigación *“Análisis técnico de la vida útil de un lubricante de aceite mineral, para motores de combustión interna a gasolina de los vehículos de servicio de taxis de la ciudad de Cuenca”*, realizó un diagnóstico del estado de cada uno de los motores para hacer efectivas las garantías, luego procedió a realizar un plan de control en donde se registraba el seguimiento a los automotores, que incluía mantenimientos preventivos, controles técnicos y diagnósticos en el motor de cada vehículo, con el objetivo de extender en

un 100 % los periodos de cambio de aceite lubricante de base mineral para motores combustión interna a gasolina, logrando disminuir la contaminación ambiental por desechos automotrices sólidos y líquidos generados en los periodos de cambio de aceite lubricante y, además, a economizar gastos a los propietarios por mantenimientos de motor. Como resultado, se obtuvo que el lubricante puede durar hasta 7000 km de recorrido (en condiciones severas de operación) sin comprometer la integridad y la vida útil del motor, utilizando un lubricante debidamente certificado, pudiendo extenderse aún más este período al aplicar un mantenimiento y mayor seguimiento técnico. [23]

Pesantez y Veintimilla, en el trabajo de investigación “Análisis y diagnóstico de la degradación del aceite móvil 2500 Turbo Diesel”, tuvieron como objetivo principal la identificación y cuantificación de las partículas de desgaste, determinando la degradación y la contaminación del aceite, para esto analizaron un vehículo de prueba en dos condiciones (con y sin carga), del cual se colectaron muestras de aceite extrayendo 10 ml cada 500 Km hasta los 3000 Km dando como resultado un aceite dentro de las especificaciones de un 15W-40, esto produjo la prolongación en el muestreo hasta los 7500 Km siendo este sus límites definitivos, concluyendo que el análisis de los datos de las muestras sin carga sufren mayor deterioro por factores como altas revoluciones y la forma de conducción del vehículo. [31]

Espinoza, en el estudio “*Degradación de los lubricantes utilizados en el motor y la transmisión de los vehículos recolectores a diésel de la EMAC EP*”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del uso de los aceites de motor y transmisión de la flota vehicular. Por eso, se realizó un muestreo de los lubricantes considerando la etapas de evaluación, donde los resultados reflejan una descenso en la viscosidad de motor en la flota de vehículos Volkswagen 31370, siendo que solo un 11 % de los valores de la muestra se encuentra en el margen de seguridad, también el análisis de las cajas de cambios muestran que hay niveles de desgaste

fueran de rango. Finalmente se concluyó que extendiendo el intervalo de intercambio de aceite hasta 45000 km se obtendrán mejores resultados en los análisis. [16]

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Minería.

El Perú es un país que ha desarrollado actividad minera desde hace muchos años, esto se debe a su potencial geológico, donde hay zonas exploradas y sin explotar; dentro de la riqueza geológica destaca principalmente la cordillera de los andes, la cual presenta gran cantidad de recursos minerales. En nuestro país, hay oportunidades de explotación minera metálica y no metálica, siendo uno de los países más atractivos para impulsar esta actividad. Habiendo una gran cantidad de empresas nacionales e internacionales que han invertido altos capitales para comenzar sus actividades extractivas. A continuación, se muestra una gráfica con la producción minera metálica, donde se consignan los metales más predominantes en este rubro.

3.2.2 Yacimientos mineros.

Según Westreicher, los yacimientos de minerales son “una formación dentro de la corteza terrestre con una concentración estadísticamente significativa de minerales. Esto, como consecuencia de procesos geológicos que han producido la acumulación de materia prima”. [37]

Los yacimientos son producto de un proceso geológico, ya que, a medida que transcurren los años, se produce una concentración de minerales en lugares específicos que, luego, son una oportunidad de inversión para empresas nacionales e internacionales, las cuales pueden realizar actividades de explotación, generando ingresos por décadas.

El proyecto Quellaveco es uno de los cinco yacimientos de cobre más grandes del mundo. Está localizado en la región Moquegua, al sur del Perú, y como proyecto viene siendo desarrollado por Anglo American, compañía minera global y diversificada, en sociedad con la Corporación Mitsubishi. Actualmente, está en etapa de construcción y se espera la primera producción de cobre en el 2022. Es actualmente la mayor inversión minera en el Perú. [1]

Este proyecto ha tenido una inversión global de \$ 5300 millones, siendo el proyecto con más inversión en diferentes rubros como planta beneficio, con una participación del 24.8 %, y en infraestructura participando en un 28.4 %. AngloAmerican Quellaveco se ha destacado en la cartera de proyectos mineros del Perú, ya que, al enfocar sus actividades en la extracción de cobre, incrementan la producción del mismo, siendo que este mineral tiene gran participación en el PBI minero metálico, lo cual, genera efectos positivos en la economía peruana.



Figura 2. Proyecto AngloAmerican Quellaveco.

Fuente: AngloAmerican. “Proyecto: Así se construye Quellaveco”, 2020. [1]

3.2.3 Pala hidráulica.

La pala hidráulica es un equipo usado comúnmente en sector minero, que cuenta con un brazo hidráulico, mediante el cual se puede hacer excavaciones, cargar y desplazar materia. Perteneciente a la maquinaria pesada, este equipo presenta un sistema de ruedas y cadenas que

permiten un desplazamiento por terrenos llanos y accidentados, así como, giro de 360° alrededor de su eje, permitiéndole efectuar las diversas operaciones de trabajo. (13)

La Pala Hidráulica para Minería 6060 es una pala productiva que trabaja más arduamente y tiene una vida útil más prolongada. Con una carga útil nominal de 61 toneladas métricas (67 tons EE.UU.), la 6060 está fabricada a medida para minas con camiones de acarreo de 227 toneladas métricas (250 tons EE.UU.). Esto proporciona una solución eficiente de 4 pasadas para satisfacer la capacidad de producción en estos entornos. La Pala 6060 actual presenta mejoras en la durabilidad y la confiabilidad para ofrecer el tiempo de trabajo que necesita. Como resultado, obtiene una mayor productividad y menores costos de posesión y operación. [10]



Figura 3. Pala Hidráulica CAT 6060.

Fuente: “Pala Hidráulica para Minería | 6060”, *Caterpillar*, 2020. [10]

Tabla 4.

Datos generales de la Pala Hidráulica 6060.

PESO EN ORDEN DE TRABAJO		
Pala frontal	569 toneladas métricas	627 tons EE.UU.
Retroexcavadora	570 toneladas métricas	628 tons EE.UU.
SALIDA DEL MOTOR SAE J1995		
Cat 3512C	2.240 kW	3.000 hp
CAPACIDAD DEL CUCHARÓN ESTÁNDAR		
Pala frontal (colmada de 2:1)	34,0 m ³	44,5 yd ³
Retroexcavadora (colmada de 1:1)	34,0 m ³	44,5 yd ³

Fuente: "6060/6060 FS Pala hidráulica", Caterpillar, 2014. [10]

Según Caterpillar, la Pala Hidráulica para Minería 6060 presenta las siguientes características:

- Accesorio de pala TriPower
- Sistema de enfriamiento de aceite independiente
- Sala de máquinas con gran espacio para caminar
- Sistema hidráulico de 5 circuitos
- Sistema electrónico incorporado: plataforma de control y monitoreo (CAMP)
- Sistema de panel de control (BCS)
- Control de par en circuito de rotación de circuito cerrado
- Sistema de lubricación central automática
- Luz de trabajo LED [10]

3.2.4 Lubricantes.

Los aceites hidráulicos son lubricantes elaborados a partir de una base que, por lo general, es mineral y una serie de aditivos convirtiéndolo en el aceite apropiado según la tarea, las condiciones y el ámbito en cual se van a desempeñar.

Su principal función es transmitir la energía hidráulica que se genera dentro de un motor (bomba) al resto de los componentes del sistema hidráulico. Transforman, transmiten y controlan el esfuerzo mecánico dependiendo de la variación de presión o de flujo.

Además de su función principal, cumple con las tareas de la mayoría de los lubricantes: disipan el calor, brindan protección anticorrosiva, lubrican, enfrían y limpian las partes del sistema hidráulico. [21]

3.2.5 Contaminación de fluidos.

“Contaminación es cualquier elemento extraño en un fluido. Los contaminantes incluyen polvo, salpicadura de soldadura, pintura, fibras de trapos, partículas metálicas de desgaste, grasa, agua, aire y muchos más”. [18]

Esta contaminación que se da en fluidos hidráulicos como diésel, proviene del entorno de trabajo, donde, se evidencia la presencia de diversas partículas contaminantes, las cuales se abren paso a través de los sistemas de filtración causando efectos negativos en el funcionamiento e integridad del equipo. Estos efectos pueden ser:

1. Reducción de la potencia del motor
2. Incremento de la tasa de desgaste
3. Disminución de la eficiencia de combustible
4. Fallas en el sistema del equipo
5. Atascamiento de válvulas

Estos efectos tienen consecuencias más allá del funcionamiento del equipo, como, aumento de costos de mantenimiento y disminución de productividad actual, lo cual, no beneficia a la actividad profesional.

3.2.7 Control de contaminación.

El control de contaminación está enfocado en analizar, evaluar e inspeccionar los niveles de contaminación en determinada área de trabajo.

Un adecuado control de contaminación en los fluidos combustibles, extenderá la vida útil de los motores, siendo que, estarán protegidos de sus motores contra: condiciones severas altas temperaturas y contaminaciones abrasiva, de igual manera, se ahorra combustible y se protegen los sistemas hidráulicos, transmisiones y sistemas de inyección. [17]

Una de las técnicas de control de contaminación que se usa en la industria, es el análisis de contaminación de aceites y fluidos, el cual detecta si la contaminación está a niveles de trazas o si es inferior. Los contaminantes analizados y detectados incluyen trazas de metales del motor y partes de la maquinaria, las cuales proveen una información clave del grado de desgaste y de degradación del equipo. [19]

Según Caterpillar, existen cuatro formas de entrada de contaminantes en los sistemas de las máquinas:

1. Los contaminantes pueden entrar durante las operaciones de fabricación y armado.
2. Los contaminantes pueden entrar en el sistema durante los procedimientos de servicio y mantenimiento.
3. Los contaminantes pueden entrar con los nuevos fluidos.
4. Los contaminantes pueden introducirse durante el funcionamiento de la máquina a través de varillas picadas, respiraderos rotos, sellos desgastados y otros puntos débiles. [20]

3.2.8 Sistema de Microfiltrado.

Un SMF se utiliza para quitar partículas suspendidas de una solución difícil de limpiar, con el fin de garantizar la máxima limpieza del aceite evitando problemas que están originados por la existencia de partículas contaminantes, a su vez se busca la optimización y máxima eficiencia en los recursos que emplea, ya que la limpieza en la producción de lubricantes a partir de la microfiltración, se convierte en una pieza clave para garantizar la durabilidad en los equipos hidráulicos. [24]

3.2.9 Conteo de partículas.

“El propósito de este código es simplificar la forma de reportar el conteo de partículas convirtiendo el número de partículas en rangos amplios o códigos, donde el incremento en un código es generalmente el doble del nivel de contaminación”. [38]

El grado de contaminación por partículas suspendidas en fluidos se codifica con la norma ISO 4406. El valor de este código puede ayudar a determinar el nivel general de limpieza de un sistema bajo monitoreo.

Para identificar y entender cómo funciona esta codificación ISO se presenta la figura que está a continuación.

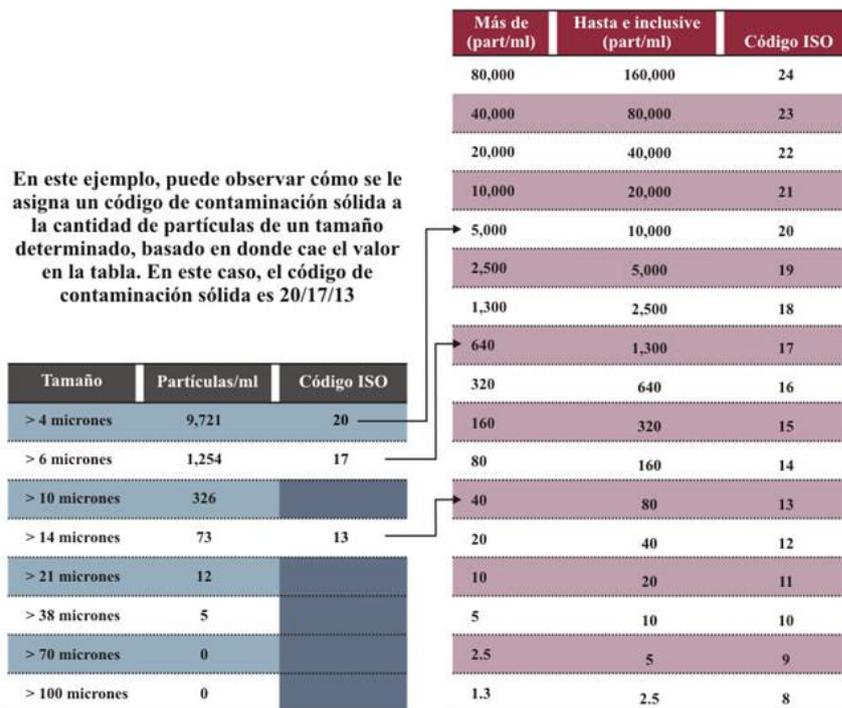


Figura 4. Codificación ISO 4406-99.

Fuente: Noria. *¿Qué tan importante es el código de contaminación sólida ISO 4406:99?*, 2013 [29]

La base del código que indica la Norma ISO 4406, describe que para niveles de contaminación usando contadores de partículas automáticos comprende tres escalas numéricas que permiten la diferenciación de la dimensión y la distribución de partículas como sigue:

1. La primera escala numérica representa el número de partículas de igual o mayor longitud a 4 $\mu\text{m}(\text{c})$ por mililitro de fluido.
2. La segunda escala numérica representa el número de partículas de igual o mayor longitud a 6 $\mu\text{m}(\text{c})$ por mililitro de fluido.
3. La tercera escala numérica representa el número de partículas de igual o mayor longitud a 14 $\mu\text{m}(\text{c})$ por mililitro de fluido.

El código para conteo con microscopio comprende dos escalas numéricas que usan 5 μm y 15 μm . [15]

3.2.10 Mantenimiento.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es un proceso sistemático de mejora continua, mediante el cual se logra optimizar la confiabilidad y las técnicas de mantenimiento basados en un enfoque operacional.

MTBF. El MTBF (tiempo medio entre fallos) es la media de tiempo entre fallos reparables de un producto tecnológico. La métrica se utiliza para controlar tanto la disponibilidad como la fiabilidad de un producto. Cuanto mayor sea el tiempo entre fallos, más fiable será el sistema. [4]

El objetivo de la mayoría de las empresas es mantener el MTBF lo más alto posible, es decir, que transcurran cientos de miles de horas (o incluso millones) entre las incidencias.

MTTR. El MTTR (tiempo medio de recuperación o tiempo medio de restauración) es la media de tiempo que se tarda en recuperarse de un fallo de un producto o sistema. Esto incluye todo el tiempo de la interrupción, desde el momento en que el sistema o el producto falla hasta que vuelve a funcionar por completo. [4]

Disponibilidad. La disponibilidad propiamente dicha es el cociente entre el tiempo disponible para producir y el tiempo total de parada. Para calcularlo, es necesario obtener el tiempo disponible, como resta entre el tiempo total, el tiempo por paradas de mantenimiento programado y el tiempo por parada no programada.

3.2.9 Indicadores económicos.

Los “Indicadores Económicos” son estadísticas, serie estadística o cualquier forma de pronóstico que nos facilita estudiar dónde estamos y hacia dónde nos dirigimos con respecto a determinados objetivos y metas, así como evaluar programas específicos y determinar su impacto.

TIR. La tasa interna de retorno (TIR) es la rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión para comprobar la viabilidad de una inversión. Permite comparar inversiones entre ellas. Cuanto mayor sea la TIR mejor será la inversión VAN.

El criterio de selección será el siguiente donde “k” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.

Si $TIR = k$, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.

Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

VAN. El valor actual neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. También se conoce como valor neto actual (VNA), valor actualizado neto o valor presente neto (VPN).

$VAN > 0$: El valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.

$VAN = 0$: El proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.

$VAN < 0$: El proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

[27]

PRI. El período de recuperación de la inversión (PRI) es un indicador que mide en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente. Puede revelarnos con precisión, en años, meses y días, la fecha en la cual será cubierta la inversión inicial. [15]

CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

En este capítulo, se desarrollan la descripción general, accesos técnicos y ejecución de las actividades profesionales realizada en la minera AngloAmerican.

4.1 Descripción de actividades profesionales

Como parte de la descripción de las actividades profesionales se va a detallar el enfoque, alcance y entregables que se manejan en el puesto de Ingeniero Senior de Confiabilidad de Mina.

4.1.1 Enfoque de las actividades profesionales.

El enfoque de la actividad profesional dentro de AAQ, monitorear las condiciones de los equipos de mina, a través de una revisión de estados vitales bajo Minestar Health, la aplicación de NDT a puntos críticos de los equipos mina y la interpretación de análisis de lubricante.

Por otro lado, se da revisión de los principales eventos correctivos que afectan la disponibilidad y el MTBF a través del TOP 5 de fallas mensuales; además de gestionar y dirigir los análisis de falla de las principales detenciones de los equipos mina (RCA).

4.1.2 Alcance de las actividades profesionales.

El área de mantenimiento busca mantener un monitoreo de las condiciones de los equipos mineros, establecer planes de optimización y mejora, que lleven a garantizar la fiabilidad y confiabilidad de los equipos de mina y superficie, cumpliendo los objetivos estratégicos de seguridad, cuidado del medio ambiente, salud y producción.

El Ingeniero Senior de Confiabilidad Mina brinda de manera sostenible la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de minería a un costo óptimo, a través de:

- La correcta administración de los recursos humanos y activos.
- El liderazgo en seguridad, medio ambiente y asuntos sociales.
- Control de presupuesto y KPI establecidos para el mantenimiento de equipos mineros.
- Servicios especializados (contratos MARC) y su control presupuestario.
- Mejora continua.

4.1.3 Entregables de las actividades profesionales .

Dentro del desarrollo y consecución de las actividades realizadas se trabajan los siguientes entregables:

- I. Top 5.** Es un dashboard donde se muestran de los impactos correctivos más relevantes, divididos en sistema, subsistema y componentes, a fin de poner nuestros esfuerzos en los que mayor impacto nos generan relaciono a la duración y la frecuencia (MTBF + MTTR) por ende la disponibilidad del equipo. (Anexo 2)
- II. Comité Llantas.** Es una reunión con las áreas involucradas, siendo operaciones, mantenimiento, servicios técnicos, supply, entre otras. En estas sesiones se revisan punto como:
 - Proyección de desgaste de neumáticos.
 - Stock y almacenamiento de neumáticos.
 - Sistema MEMs
 - Estudio de vías.
 - Eventos correctivos
 - Proyectos de mejora

En estas sesiones de recopilan las ideas y acuerdos tratados para tenerlo como registro y guía en el cumplimiento de tareas y actividades.

III. Desviaciones de Plan Semanal. Es un dashboard donde se registra las desviaciones por plan de trabajo y su clasificación. El objetivo de la revisión de las desviaciones del plan es evidenciar los gaps que hay entre lo que se planea y programa vs lo real. De lo que se encuentra se generar planes de acción para mitigar y minimizar los impactos en la disponibilidad de los equipos. (Anexo 3)

En el desarrollo de los entregables de la actividad profesional se trabajan los ciertos indicadores y parámetros, los cuales fueron evaluados y considerados por gerencia. (Anexo 4)

I. MTBF. Este es evaluado por semana y mes, precisamente los ciclos de inicio y corte, para luego ser graficados en plataforma XHQ, donde al tener puntos fuera de los límites o son causas especiales; se debe investigar la causa y proponer recomendaciones acerca del problema.

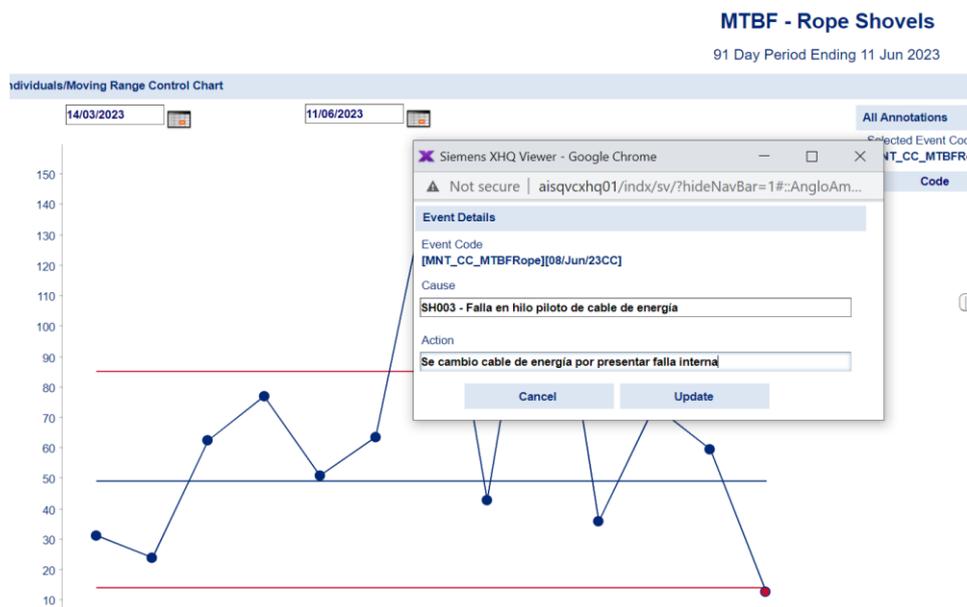


Figura 5. Indicador MTBF.

Fuente: Elaboración propia.

A su vez, las llamadas causas especiales obedecen a las siguientes indicaciones del gráfico:

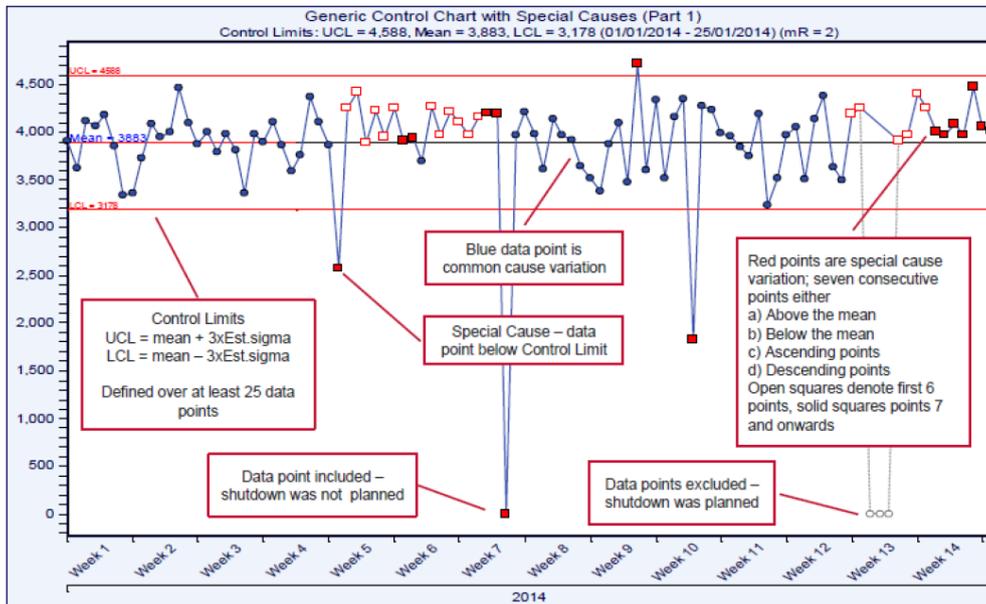


Figura 6. Límites de Control MTBF.

Fuente: Elaboración propia.

II. % Cantidad de desviaciones. Se realizó un “Triger Action Response Plan” (TARP), a fin de tener un enfoque de que se debe investigar y el equipo responsable de esta investigación. Esa es una rutina semanal, donde se revisan los principales eventos que afectaron la disponibilidad y el MTBF.

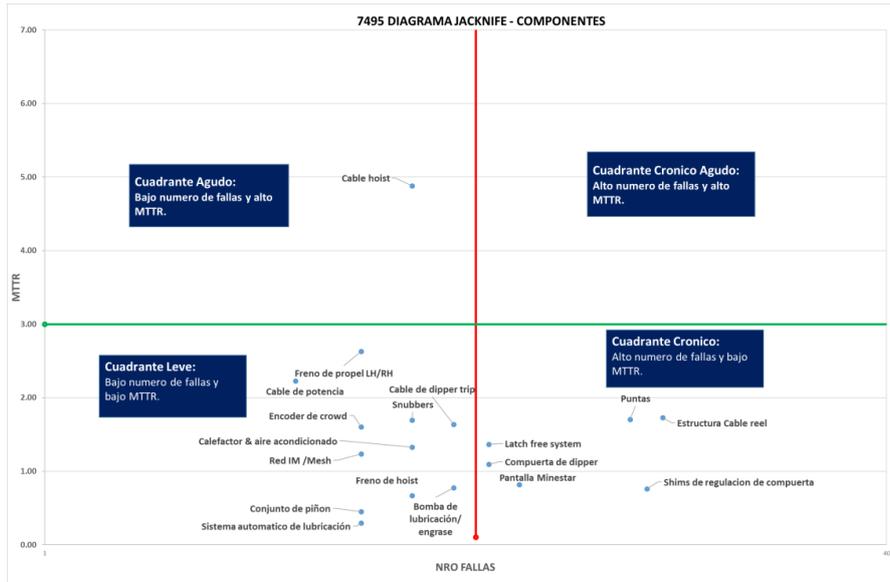


Figura 7. Diagrama Jacknife

Fuente: Elaboración propia.

III. % Cumplimiento de los RCA. Del punto previo, como entregable son los planes de acción para las no repeticiones, estos planes de acción son reflejos en un cuadro 3W (What, Who, When) y se les realiza seguimiento a su debido cumplimiento.

Avance de planes de acción

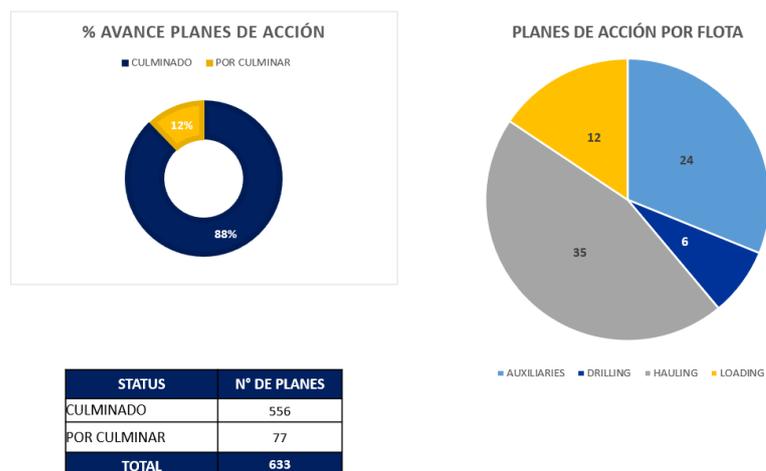


Figura 8. Seguimiento Cumplimiento de RCA.

Fuente: Elaboración propia.

IV. Vida de neumáticos. Se realizar un Balaced Scorecard, el cual se emite semanalmente para identificar los principales indicadores de neumáticos de la flota 794AC. (28 camiones autónomos). A fin de controlar y revisar el presupuesto que se remite para un plazo de 5 años, este presupuesto está basado en análisis de confianza y regresión lineal. (Anexo 4)

4.2 Aspectos técnicos de la actividad profesional

A continuación se presentan las metodologías, técnicas, instrumentos, equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades profesionales.

4.2.1 Metodologías.

La metodología aplicada en la realización de la actividad es el Mantenimiento Productivo Total, el cual es un nuevo enfoque administrativo de gestión del mantenimiento industrial, que permite establecer estrategias para el mejoramiento continuo de las capacidades y procesos actuales de la organización, para tener equipos de producción siempre listos. Siendo así la implementación de la propuesta se basa en los principios fundamentales del TPM.

- KOBETSU-KAISEN – Mejora Enfocada
 - Extensión de PCR y lubricante.
- JISHU-HOZEN – Mantenimiento Autónomo
 - Operador interactúa con la puesta en marcha y la inspección diaria.
- KEIKAKU HOZEN – Mantenimiento Planificado
 - Estrategia de cambio de filtros por periodo de tiempo.
- HINSHITSU HOZEN -Mantenimiento de Calidad
 - Reducción de fallos por contaminación.
- Gestión Temprana de equipos

- El proyecto es una mejora en etapa temprana, a fin de optimizar los recursos.
- Capacitación: Formación y practicas
 - Se realizó y se realiza constantes capacitaciones sobre el Control de Contaminación de los lubricantes.
- Seguridad, higiene y protección del entorno de trabajo
 - Tener menos cambios de componentes es tener menos exposición del personal por lo tanto más seguro.
- TPM en Oficinas Eficacia operativa en los departamentos de administración
 - Se tiene medición de indicadores de mantenimiento y de limpieza de los fluidos, donde se toma planes de acción si estos salen de los objetivos.

4.2.2 Técnicas.

Las técnicas usadas en la realización de la actividad profesional son las siguientes:

Análisis de Aceite. Es un conjunto de pasos y procesos de monitoreo e inspección que brindan información sobre la condición y el estado del aceite lubricante de los equipos mineros.

Ferrografía Analítica. Permite determinar la presencia, tamaño, concentración, composición, morfología y condición superficial de las partículas ferrosas y no ferrosas en el rango de 0.1 a 500 micras en lubricantes, clasificándolas según la forma y el tamaño, determinando el tipo de desgaste.

Ensayos no destructivos. Permite detectar indicaciones en una etapa temprana a fin de reparar y/o cambiar componentes antes de su falla funcional. Los tipos de ensayos que utilizamos son Análisis Vibracional, Ultrasonido, Termografía, Partículas y Tintes penetrantes.

4.2.3 Instrumentos.

Los instrumentos usados en la realización de la actividad profesional son las siguientes:

SQCPack. Es una aplicación de control estadístico de procesos que permite analizar datos, con el fin de comprender los procesos del área y así comunicar información importante para la toma de decisiones.

Minestar. Es un sistema de gestión de equipos más amplio e integrado de la industria minera, configurado según necesidades y características de cada operación. Permite brindar información en tiempo real a los operadores de las máquinas, para controlar y mejorar su operación, sino también al personal de administración de la mina, para el monitoreo, el análisis del movimiento de flota, el estado de las máquinas y su productividad.

XHQ. Es un software para inteligencia de operaciones, utilizado para agregar, integrar, analizar y visualizar información comercial y de activos de múltiples fuentes de datos de back-end.

4.2.4 Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades .

La minera AngloAmerican tienen un contrato tipo MARC (Maintenance and Repair Contract) con Caterpillar, mediante el cual la minera accede un plan de mantención integral de sus máquinas, asegurando la confiabilidad, disponibilidad y continuidad operacional de las mismas.

Los contratos MARC son aquellos donde el prestador de servicios se hace responsable de otorgar una mantención y reparación integral de una determinada flota de equipos, garantizando la disponibilidad de los equipos según las horas pactadas con el cliente.

Siendo así todos los equipos y materiales usados en el área de mantenimiento de equipos son manejados y proporcionados por Caterpillar en cumplimiento del contrato MARC, gestionado la mantención del activo, lo que incluye coordinar todas las mantenciones, proveer

los repuestos originales y llevar los técnicos expertos a la faena para que lleven a cabo los trabajos de mantención.

4.3 Ejecución de las actividades profesionales

A continuación, se muestra el cronograma, proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales realizadas.

4.3.1 Cronograma de actividades realizadas..

Las actividades que se desarrollan como Ingeniero Senior de Confiabilidad siguen el siguiente cronograma:

Tabla 5.

Cronograma

ACTIVIDADES	2019	2020												2021							
	DIC	ENE	FEB	MA	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MA	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Firma del Contrato	X																				
Onboarding & Presentación	X																				
Cumplimiento de tareas de Seguridad		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Proyección de Consumo de Neumáticos 5 años							x												x		
Proyección de Consumo de lubricantes 5 años							x												x		
Monitoreo de Condición		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Reporte de elementos de desgaste		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Reporte de carrilería		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Top5 fallas		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Comité de Llantas		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fuente. Elaboración propia

4.3.2 Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales.

Parte del trabajo que se desempeña en la minera AngloAmerican es administrar el mantenimiento general de los equipos mineros, principalmente a través de la administración de los respectivos contratos MARC.

En primer lugar, se trabaja la implementación de estrategias de mantenimiento y cambio de componentes, haciendo reuniones y una revisión de compra mensual. Además de deben de administrar actividades programadas y no programadas; con calidad, seguridad y a un costo óptimo, promover la cultura de mejora continua, a través de participación en proyectos específicos de mejora y optimización para cumplir con el presupuesto, optimizar costos y disponibilidad de equipos. Esto incluye la capacidad para analizar planes de mantenimiento y desafiar al personal de mantenimiento para garantizar la ejecución de los planes, maximizar la disponibilidad y confiabilidad de la flota al menor costo.

Como parte del proceso de debe hacer una presentación de los resultados de los "KPI", específicamente disponibilidad, MTBF y MTTR los cuales se presentan semanal y mensualmente mediante una reunión de área. En adición la gestión de garantías y fallas operacionales, donde se busca reducir costos; las reuniones de Top Five por flotas (5 fallas principales del mes que afecten el MTTR y MTBF), creación de planes de acción, seguimiento y control, el análisis causa raíz de eventos que impactan en disponibilidad y costos y creación de planes de acción, seguimiento y control se registran de mensualmente.

Como actividades y reportes que se trabajan y comparten con el equipo de área se tiene el análisis de las cinco primeras paradas y sus planes de acción efectivos, actualización los datos maestros (ubicación funcional) en el software ERP y análisis de criticidad de acuerdo con las políticas de activos.

Finalmente, como se trabaja el presupuesto de mantenimiento de la mina, a través del control de estrategias, semanal, mensual y anual, siendo responsable del desarrollo y actualización de las estrategias de los activos de mantenimiento semanalmente.

CAPITULO V: RESULTADOS

En este capítulo, se detallan los resultados y logros obtenidos en la actividad profesional, además de las dificultades encontradas en el proceso, se presenta también un análisis de los resultados y las propuestas de mejora aplicadas.

5.1 Resultados finales

A continuación, se presentan los resultados finales de las actividades profesionales, desde la propuesta de mantenimiento, proceso de implementación, análisis ferrográfico, de aceite y de desviaciones.

5.1.1 Propuesta de mantenimiento.

Anglo American Quellaveco S.A., en preparación para el inicio de actividades de pre - minado, y conforme a los objetivos de su plan de control de contaminación, buscó alternativas para implementar un control del sistema hidráulico para su flota de maquinaria pesada Caterpillar. Siendo así, tomó la oportunidad de implementar un este control en uno de los equipos de operaciones mineras, Pala Hidráulica CAT 6060; debido a que la contaminación en su sistema se debe principalmente a las severas condiciones ambientales, ocasionando elevada concentración de partículas.

En el aceite, este efecto se agrava debido al desgaste interno entre superficies de trabajo. En el combustible, la contaminación genera daños en los inyectores del motor y sus bombas. Sin un sistema para el control de contaminación, es usual encontrar códigos de limpieza ISO por encima de 22/20/17, inadecuados para operación. Un alto grado de contaminación se traduce en un mayor desgaste de componentes, reducción de la vida útil

del aceite y paradas no programadas más frecuentes. Todo esto eleva los gastos de operación y deriva en un alto impacto ambiental. [9]

De esta manera, evaluando los tipos de mantenimiento disponibles, se optó por el mantenimiento productivo total, donde se busca controlar los factores causantes de fallas en los equipos, siendo uno de los que más destaca la contaminación de fluidos, ya que, según FMS International Inc., 2020; el 75% de las fallas hidráulicas son causadas por este factor, tomando esto en cuenta se requiere evitar que el aumento de nivel de contaminación genere fallas a largo plazo. [18]

En base a lo antes mencionado, se toma la decisión implementar un sistema de microfiltración para filtración de sus tanques de aceite hidráulico, siendo así se plantea pedir una propuesta de la instalación a dos proveedores del mercado, a fin de escoger uno que se ajuste a los requerimientos de los equipos mineros y al presupuesto estimado.

5.1.2 Propuestas de sistema.

Para la instalación del sistema de microfiltrado, se optó por la propuesta de instalación de dos empresas:

1. C.C Jensen
2. Kleenoil

Estas empresas fueron escogidas por recomendación del corporativo y por haber formado parte como proveedor de una instalación anterior, siendo así se les pidió que manden una propuesta detallada junto con la cotización para proceder a evaluar la mejor opción para la implementación del sistema de microfiltrado.

Tabla 6.

Propuestas de implementación

	
<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 02 filtros B27/27 ✓ Retención: 4 kg de partículas, 2000 ml de agua y 4 litros de barnices ✓ Capacidad retención total: 8 kg partículas, 4000 ml de agua. ✓ 0,8 micras nominal y 3 micras absolutas ✓ Motor / Bomba: Leeson 24VDC HD / MZ-21, 1.260 l/h ✓ Flujo: 1260 l/hr (5.6 Gal/min) ✓ Ratio de circulación: 18% <p>Tipo de Instalación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Off Line (Fuera de línea) ○ Flujo y presión son controlados por una bomba de bajo consumo ○ Se instala la succión y retorno en tanque hidráulico <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Mayor ratio de circulación ○ Mayor eficiencia en filtración. ○ Instalación y mantenimiento rápidos y simples. ○ Operación continua <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Mantenimiento de Bomba de paletas (Incluye filtro magnético antes de la bomba) 	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 06 filtros ADCCFCS ✓ Retención: 2.5 kg de partículas y 750 ml de agua ✓ Capacidad retención total: 15 kg partículas, 4500 ml de agua. ✓ 1 micra nominal y 3 micras absolutas ✓ Motor / Bomba: Usa la presión de la bomba del sistema hidráulico. ✓ Flujo: Hasta 720 l/hr (3.2 Gal/min) depende de presión del sistema. ✓ Ratio de circulación: 10% <p>Tipo de Instalación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ By-Pass (Derivación del sistema hidráulico) ○ Flujo y presión utiliza del 5 al 10% de la presión y flujo del sistema. ○ Se instala en la parte presurizada del sistema hidráulico. <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ No tiene bomba ni motor <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Filtración depende de la presión del sistema. ○ Pulsaciones de presión desprenden las partículas retenidas previamente. 7 ○ Menor ratio de circulación origina reducción en la eficiencia de filtrado

Precio: US\$ 6941

Intervalo servicio: 5 años



Filtros CJC

Capacidad por filtro (B27/27):

- Material: Celulosa
- 4 kg de partículas
- 2000 ml de agua
- 4 litros de barnices
- 0,8 micras nominal
- 3 micras absolutas
- 3 micras Beta 200 (99.5%) y 10 micras Beta 1000 (99.9%)

Retención de partículas

Alta eficiencia de retención de partículas debido a los filtros de celulosa y la gran área de superficie, donde las partículas se capturan en la malla de celulosa.

La retención de partículas no se ve afectada por las pulsaciones de flujo debido a la construcción de los insertos

Retención de agua

La estructura de fibra abierta del filtro CJC permite absorber bastante agua antes de la saturación.

- Equipo destinado a sistemas de pequeña capacidad (Motores)
- Mayor costo de filtrado

Precio: US\$ 8290

Intervalo servicio: N/D



Filtros Kleenoil

Capacidad por filtro (ADCCFC):

- Material: Celulosa y propileno
- 2,5 kg de partículas
- 750 ml de agua
- No indica barnices
- 1 micra nominal
- 3 micras absolutas
- 3 micras Beta 200 (99.5%) y 10 micras Beta 1000 (99.9%)

Retención de partículas

La eficiencia de retención de partículas es menor debido a la densa construcción, donde las partículas se capturan entre capas.

Cuando se producen pulsaciones de presión (Bypass, derivación y al iniciar o detener el sistema), las partículas retenidas son propensas a desprenderse.

Retención de agua

El agua bloquea muy rápidamente los filtros Kleenoil, ya que la estructura densa de la celulosa se hinchará, cerrando los agujeros entre las fibras.

<p>Precio: US\$ 264 la unidad Cambio: Por saturación 1 o 2 veces al año.</p> 	<p>El agua en grandes cantidades removerá las partículas retenidas en los filtros</p> <p>Precio: US\$ 120 la unidad Cambio: Cada 1000 horas</p> 
---	---

Fuente: Adaptado de Ficha técnica Filtro Fino CJC, 2020 [11]

Una vez definidas las propuestas de instalación, se evalúan las características generales, tipo de instalación, retención de partículas, precio y tiempo de cambio de componentes, para lo cual se realizó una matriz, que se encuentra en la tabla X, para evaluar cada característica que proporcionan las propuestas y escoger el proveedor del sistema de microfiltrado.

Primero se detalló las características generales de los equipos propuestos, ventajas, desventajas, precio, intervalo de servicio, retención de partículas y componentes.

Una vez terminado se procede a evaluar punto por punto para determinar que propuesta tiene la mejor oferta del sistema, siendo uno de los factores determinantes para la elección el intervalo de servicio y la retención de partículas; de manera se determina que la propuesta elegida es el sistema de microfiltración C.C. Jensen, ya que ofrece mejores características para el sistema y el equipo.

5.1.3 Proceso de instalación.

C.C. JENSEN S/A (CJC) ofreció a Anglo American Quellaveco S.A. sistemas de microfiltración fuera de línea para instalación a bordo de la Pala Hidráulica CAT 6060, a fin de implementar un sistema de filtración de sus tanques de aceite hidráulico (Filtro Fino CJC HD HDU 27/54 MZM-DL1P).

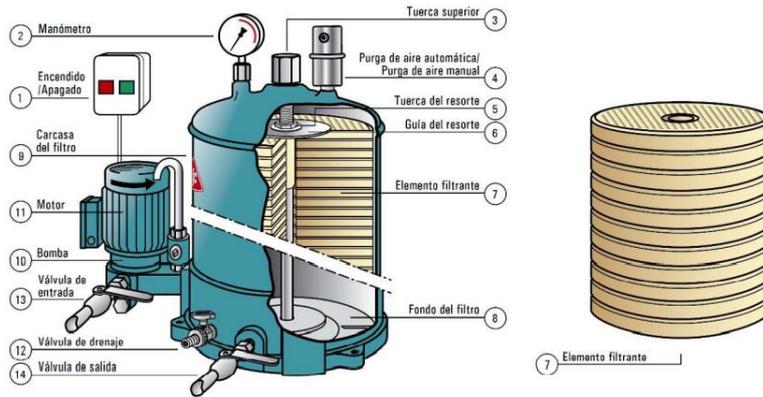


Figura 9. Sistema CJC HD HDU con lista de partes

Fuente: Ficha técnica Filtro Fino CJC, 2020 [11]

Para la instalación del sistema de microfiltración C.C. Jensen, se tomaron en cuenta las especificaciones técnicas del equipo, Pala Hidráulica CAT 6060, siendo que debe respetarse la integridad funcional y estructural de la maquinaria.



Figura 10. Máquina Caterpillar 6060BH. [11]

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.

Especificaciones técnicas del sistema de filtración

MODELO	HD HDU 27/54 MZM-DL1PV
LOTE	890078119
ELEMENTO FILTRANTE	2 x B 27/27
BOMBA	MZM-21, 785 L/h
SELLO	Vitón
MOTOR	Penta 7MA 24 V DC, 550 W, 29 A, 1500 rpm
CAMBIO DE FILTRO	1.8 bar
PRESIÓN DE CORTE	2.3 bar
BASE	Antivibratoria
PESO EN OPERACIÓN	107 kg
FABRICACIÓN (AÑO / MES)	2020 / 08
FABRICANTE	C.C. Jensen A/S
PAÍS DE ORIGEN	Dinamarca

Fuente: Adaptado de Ficha técnica Filtro Fino CJC, 2020 [11]

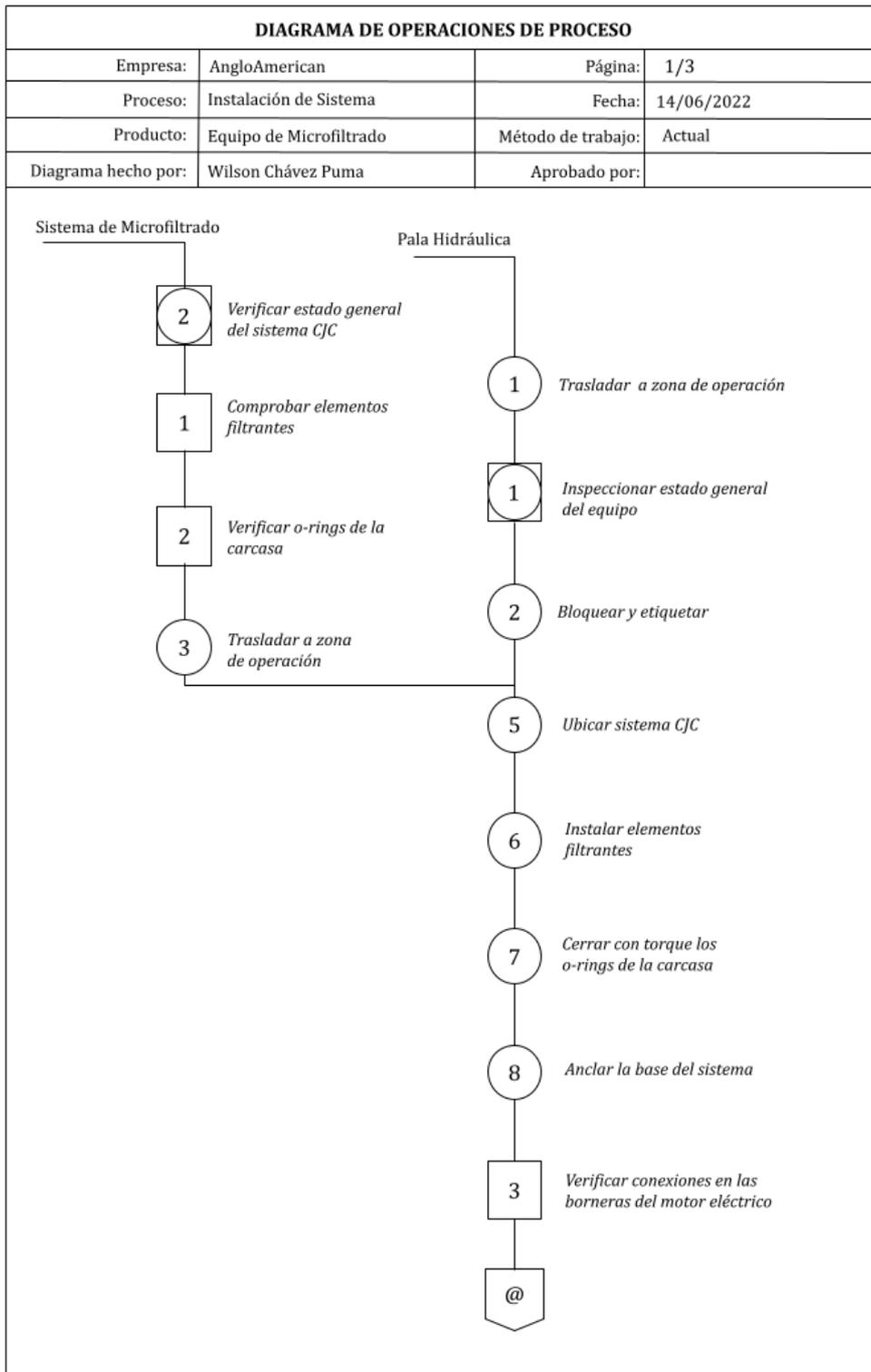


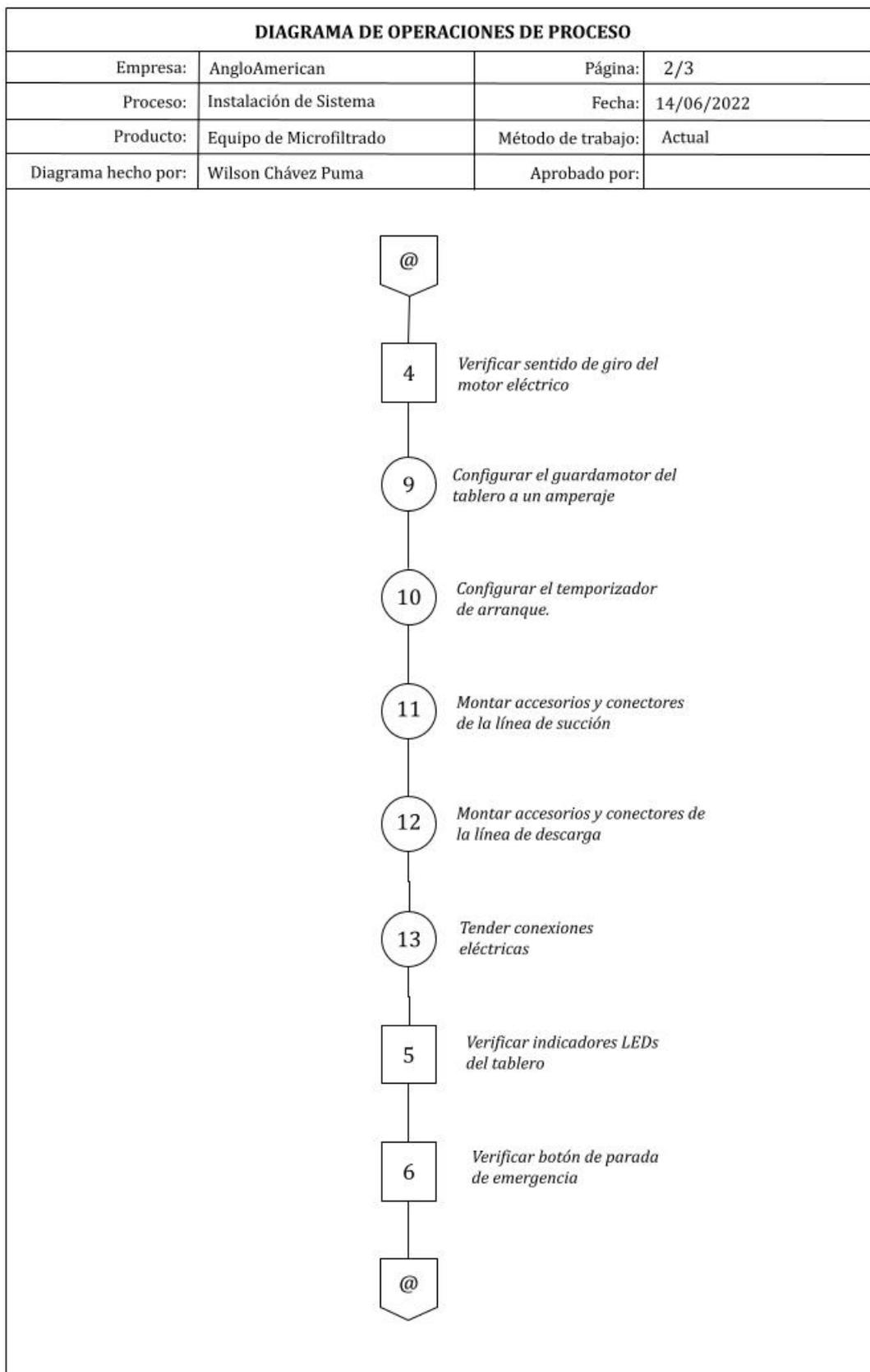
Figura 11. Sistema de filtración CJC HD HDU 27/54 para aceite hidráulico de la CAT 6060BH (SH006). [11]

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran mediante un DOP la instalación del sistema CJC, el cual se cumplió en todos los sistemas instalados para Anglo American Quellaveco.

El procedimiento se divide en los pasos que a seguir durante el montaje (previos al arranque del sistema de filtración) y tras el arranque.





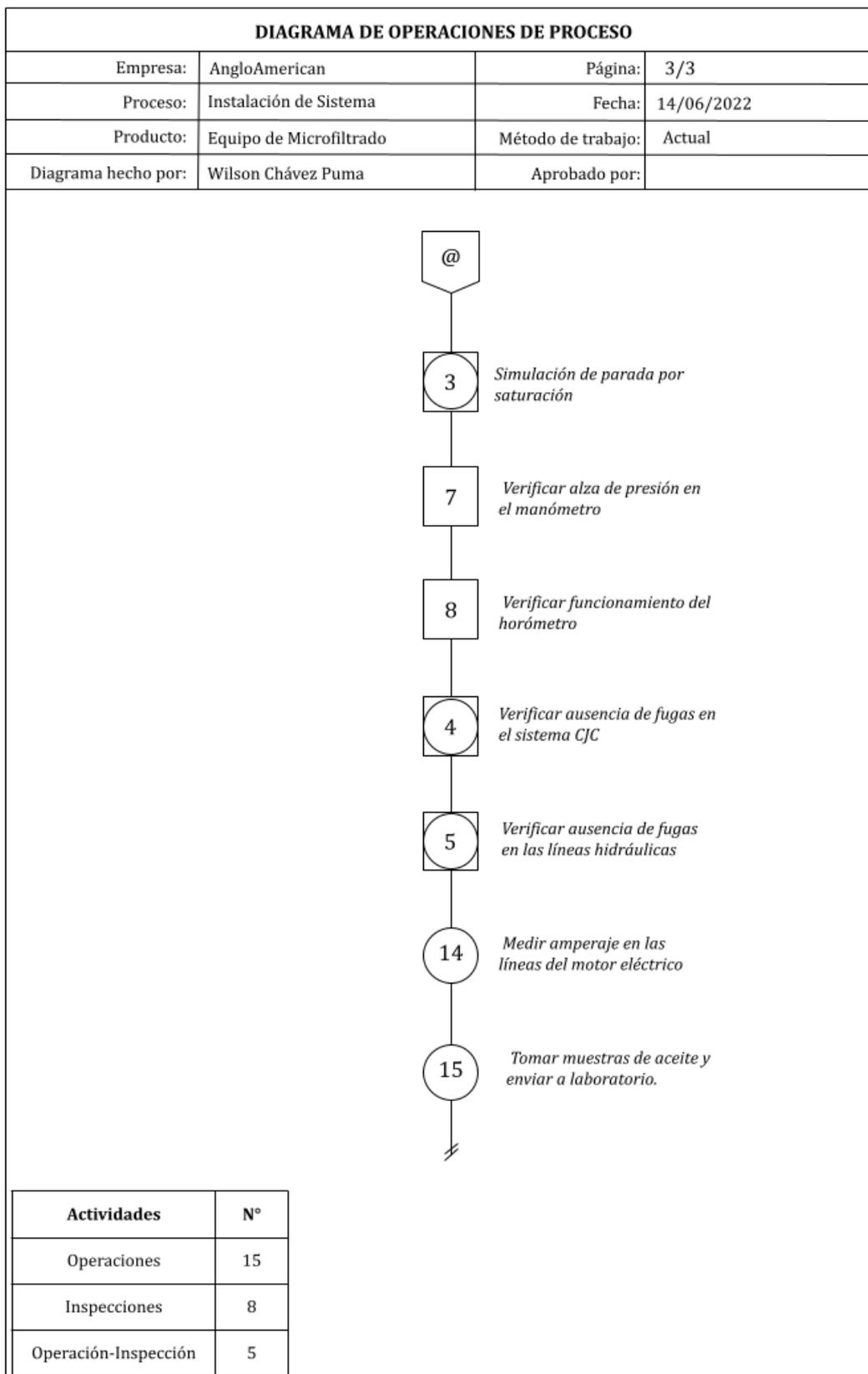


Figura 12. Diagrama de Operaciones de Proceso

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Análisis de aceite.

Los resultados del análisis de aceite hidráulico que fueron tomadas de la Pala Hidráulica CAT 6060, serán evaluadas mediante el cambio en el código ISO, siendo que este se diferencia por sistema hidráulico y motores diésel, rodamientos de elementos rodante, lisos y maquinaria turbo, también cajas de cambio y otros.

Tabla 8.

Extensión de la vida útil: nivel de limpieza, código ISO

Tabla de extensión de la vida útil: nivel de limpieza, códigos ISO																				
	21/19/16		20/18/15		19/17/14		18/16/13		17/15/12		16/14/11		15/13/10		14/12/9		13/11/8		12/10/7	
24/22/19	2	1,6	3	2	4	2,5	6	3	7	3,5	8	4	>10	5	>10	6	>10	7	>10	>10
	1,8	1,3	2,3	1,7	3	2	3,5	2,5	4,5	3	5,5	3,5	7	4	8	5	10	5,5	>10	8,5
23/21/18	1,5	1,5	2	1,7	3	2	4	2,5	5	3	7	3,5	9	4	>10	5	>10	7	>10	10
	1,5	1,3	1,8	1,4	2,2	1,6	3	2	3,5	2,5	4,5	3	5	3,5	7	4	9	5,5	10	8
22/20/17	1,3	1,2	1,6	1,5	2	1,7	3	2	4	2,5	5	3	7	4	9	5	>10	7	>10	9
	1,2	1,05	1,5	1,3	1,8	1,4	2,3	1,7	3	2	3,5	2,5	5	3	6	4	8	5,5	10	7
21/19/16			1,3	1,2	1,6	1,5	2	1,7	3	2	4	2,5	5	3	7	4	9	6	>10	8
			1,2	1,1	1,5	1,3	1,8	1,5	2,2	1,7	3	2	3,5	2,5	5	3,5	7	4,5	9	6
20/18/15					1,3	1,2	1,6	1,5	2	1,7	3	2	4	2,5	5	3	7	4,6	>10	6
					1,2	1,1	1,5	1,3	1,8	1,5	2,3	1,7	3	2	3,5	2,5	5,5	3,7	8	5
19/17/14							1,3	1,2	1,6	1,5	2	1,7	3	2	4	2,5	6	3	8	5
							1,2	1,1	1,5	1,3	1,8	1,5	2,3	1,7	3	2	4	2,5	6	3,5
18/16/13									1,3	1,2	1,6	1,5	2	1,7	3	2	4	3,5	6	4
									1,2	1,1	1,5	1,3	1,8	1,5	2,3	1,8	3,7	3	4,5	3,5
17/15/12	Sistema hidráulico y motores diésel				Rodamientos de elementos rodantes						1,3	1,2	1,6	1,5	2	1,7	3	2	4	2,5
											1,2	1,1	1,5	1,4	1,8	1,5	2,3	1,8	3	2,2
16/14/11	Rodamientos lisos y maquinaria turbo				Cajas de cambio y otros								1,3	1,3	1,6	1,6	2	1,8	3	2
													1,3	1,2	1,6	1,4	1,9	1,5	2,3	1,8
15/13/10															1,4	1,2	1,8	1,5	2,5	1,8
													1,2	1,1	1,6	1,3	2	1,6		

Fuente: Noria ¿Qué tan importante es el código de contaminación

En la tabla 8, se aprecia la extensión de la vida útil según los códigos ISO, mediante esta se indicará la mejora estimada en la vida útil de los componentes del sistema filtrado; de esta manera se evalúa si la implementación del control de contaminación de Palas Hidráulicas CAT 6060 cumple con los resultados esperados.

En las tablas de resultados de análisis de aceite hidráulico, se detalla el estado de la condición de la muestra, información general del equipo evaluado, indicadores de salud del lubricante y combustible, condición de aditivos, elementos de desgaste, contaminación y conteo de partículas, de donde obtendremos el código ISO para evaluar las condiciones

actuales. Esta norma no establece valores máximos de contaminación tolerables, debido a esto, en la industria se han elaborado diversas metodologías y tablas referenciales de valores recomendados según aplicación, tipos de componentes, fluido, presión máxima, entre otros. Al no existir un consenso, la práctica vigente sigue siendo que cada OEM (Original Equipment Manufacturer) establezca sus propios estándares de limpieza para asegurar sus condiciones de diseño. Es debido a ello que los objetivos de código de limpieza deben proceder de documentación del OEM, en este caso, de Caterpillar. Para el análisis, se considera el siguiente objetivo de limpieza:

*Código ISO **/18/15 o mejor (** no considera partículas < 6 µm)*

De esta manera, el análisis de aceite se realizó para evaluar los efectos que tiene el sistema de microfiltrado en las propiedades de los fluidos, tanto aceite hidráulico como combustible diésel.

Del análisis de las muestras de aceite hidráulico, tomadas antes y después del filtro CJC, se determinó que el proceso de filtración:

- ✓ La viscosidad se mantuvo constante, teniendo una variación de 3.46%.
- ✓ La relación entre el porcentaje de partículas de contaminación retiradas y el de aditivos retirados durante la filtración fue de 6.26 a 1.
- ✓ El código ISO de 18/17/13 a 18/16/12. La filtración de partículas tuvo la siguiente efectividad:
 - Partículas > 4 µm: el filtro CJC retuvo el 5.95% de las partículas.
 - Partículas > 6 µm: el filtro CJC retuvo el 13.57% de las partículas.
 - Partículas > 14 µm: el filtro CJC retuvo el 51.72% de las partículas.

Según los resultados obtenidos se continuó monitoreando los niveles de contaminación, específicamente evaluando la codificación ISO, como parte de la ejecución del proyecto. Las

muestras fueron tomadas en diferentes periodos, mediante las cuales, se evaluará la efectividad del sistema implementado.

Tabla 9.

Resultados de análisis de aceite

Tipo	Campo	Q1174	Q1425	Q1870	Q2024	Q2648	Q3311	Q4598	Q4987	Q5852	Q6226	Q8948	Q12747
Condición de muestra	Estado	PRECAUCION	PRECAUCION	PRECAUCION	PRECAUCION	NORMAL							
Información del Equipo	Fecha de Muestreo	13/10/2020	20/11/2020	23/03/2021	05/04/2021	24/05/2021	04/07/2021	30/08/2021	17/09/2021	24/10/2021	07/11/2021	13/02/2022	29/05/2022
	Tipo de Muestra	(U)											
	Producto	TELLUS S2 VX 46											
Conteo de Partículas	Código ISO	17/15/11	18/16/11	18/17/13	17/15/12	15/15/9	15/12/8	16/15/12	15/13/9	16/14/11	14/11/9	16/14/11	15/14/11
	4 um	1025	1360	1948	969	326	176	585	281	442	153	546	246
	6 um	266	490	663	233	264	29	221	66	147	19	158	85
	14 um	11	17	58	28	5	2	35	5	18	5	12	11
	21 um	0	6	22	8	2	2	12	3	8	2	3	2
	38 um	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	2
	70 um	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ISO 4406 > 4 um	17	18	18	17	15	15	16	15	16	14	16	15
	ISO 4406 > 6 um	15	16	17	15	15	12	15	13	14	11	14	14
	ISO 4406 > 14 um	11	11	13	12	9	8	12	9	11	9	11	11

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 9, se observan los resultados de la determinación del nivel de limpieza del lubricante en este caso el aceite TELLUS S2 VX 46, para esto se tomaron un total de 12 muestras desde el octubre de 2020 hasta mayo de 2022. Los resultados del conteo de partículas han sido codificados conforme a la norma ISO 4406, clasificando en partículas con tamaño mayor a 4 μm , 6 μm y 14 μm .

De esta manera se hizo muestreo antes después de la implementación del sistema de microfiltrado (instalado en junio del 2021), a fin de analizar sus efectos en la extensión del tiempo de servicio del lubricante y extensión de la vida útil de los componentes hidráulicos.

Siendo así, se destaca como la condición de las muestras tomadas antes de la implementación del sistema estaban en estado de precaución (muestras Q1174, Q1425, Q1870 y Q2024) ya que presentan altos niveles de contaminación por partículas, sobre todo de 4 μm y 6 μm ; a diferencia de las muestras tomadas después de instalar el sistema, que presentan un estado normal (muestras Q2648, Q3311 , Q4598, Q4987, Q5852, Q6226, Q8948 y Q12747) las cuales presentan una mejoría en relación al conteo de partículas contaminantes de 4 μm y 6 μm presentes en el aceite hidráulico.

5.1.5 Análisis de costos.

Así mismo la implementación del sistema de microfiltrado ha tenido efecto en el costo promedio total del cambio de componente y lubricante, siendo así se demuestra una relación causa – efecto con respecto a la implementación y su incidencia en la reducción de costos de mantenimiento para la Pala Hidráulica 6060H.

Tabla 10.*Costo total anual de cambio de componente*

Costo Total de Cambio de Componente (\$)		
Componentes	Sistema de Microfiltrado	
	No	Si
BB Giro 1 LH	20628.96	12893.10
BB Giro 1 RH	20628.96	12893.10
BB Giro 2 LH	20628.96	12893.10
BB Giro 2 RH	20628.96	12893.10
BB Hidráulica Piloto 1 LH	1763.98	1102.49
BB Hidráulica Piloto 1 RH	1763.98	1102.49
BB Hidráulica Piloto 2 LH	1763.98	1102.49
BB Hidráulica Piloto 2 RH	1763.98	1102.49
BB Hidráulica Principal 1 LH	68872.75	43045.47
BB Hidráulica Principal 1 RH	68872.75	43045.47
BB Hidráulica Principal 2 LH	68872.75	43045.47
BB Hidráulica Principal 2 RH	68872.75	43045.47
BB Ventilador Enfriador Aceite Hyd 1 LH	6216.79	3885.49
BB Ventilador Enfriador Aceite Hyd 1 RH	6216.79	3885.49
BB Ventilador Enfriador Aceite Hyd 2 LH	6216.79	3885.49
BB Ventilador Enfriador Aceite Hyd 2 RH	6216.79	3885.49
Motor Hyd Enfriador Aceite Inf LH	4586.69	2866.68
Motor Hyd Enfriador Aceite Inf 1 RH	4586.69	2866.68
Motor Hyd Enfriador Aceite Sup 2 LH	4586.69	2866.68
Motor Hyd Enfriador Aceite Sup 2 RH	4586.69	2866.68
MOTOR HIDR GIRO FRONTAL LH	4662.55	2914.09
MOTOR HIDR GIRO FRONTAL RH	4662.55	2914.09
MOTOR HIDR GIRO POSTERIOR LH	4662.55	2914.09
MOTOR HIDR GIRO POSTERIOR RH	4662.55	2914.09
MOTOR HIDR PROPULSION FRONTAL LH	8358.94	5224.34
MOTOR HIDR PROPULSION FRONTAL RH	8358.94	5224.34
MOTOR HIDR PROPULSION POSTERIOR LH	8358.94	5224.34
MOTOR HIDR PROPULSION POSTERIOR RH	8358.94	5224.34
Motor Hyd Enfriador Motor LH	5064.26	3165.16
Motor Hyd Enfriador Motor RH	5064.26	3165.16
VÁLVULA CONTROL PPAL 1 Y 2 LH	12619.33	7887.08
VÁLVULA CONTROL PPAL 1 Y 2 RH	12619.33	7887.08
Total	495729.76	309831.10

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 10, se puede observar los resultados del costo total anual de cambio de componentes en la Pala Hidráulica 6060, donde antes de la implementación se tiene un monto total del \$ 495 729.76 para cambiar los componentes principales en el periodo de un año, por otro lado, después de la implementación estos costos totales se reducen en un 37.5 %, dejando un monto total necesario de S/ 309 831.10.

Tabla 11.

Costo total anual de cambio de aceite

Costo Total de Cambio de Aceite (\$)		
Lubricante	Sistema de Microfiltrado	
	No	Si
TELLUS S2 VX 46	21867.12	13120.27

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10, se detallan los costos en los que se incurre en el periodo de un año para el cambio de aceite o lubricante para la Pala Hidráulica 6060, donde antes de la implementación del sistema el costo total es de \$21 867.12 llegando a reducirse en un total de \$ 8 746.85, después de la instalación del sistema de microfiltrado.

5.1.6 Análisis de indicadores.

Se presentarán los resultados obtenidos de la implementación del sistema de microfiltrado y cómo este ha influido en los indicadores MTBF, MTTR y disponibilidad de la Pala Hidráulica 6060BH.

Tabla 12.

Indicadores MTBF y MTTR

Año	Mes	MTTR	MTBF
2021	may	3.47	28.5
	jun	2.17	27.6
	jul	1.36	33.0
	ago	1.32	54.0
	sep	2.10	40.6
	oct	1.57	42.4
	nov	1.75	51.4
	dic	1.46	36.5
2022	ene	1.63	41.5
	feb	1.41	34.0
	mar	1.90	55.9
	abr	1.80	43.5
	may	1.23	41.2
	jun	1.53	33.7

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados recopilados acerca de los indicadores MTTR y MTBF desde mayo de 2021 hasta junio de 2022, los cuales serán evaluados según la tendencia una vez que se instaló el sistema de microfiltrado en la Pala Hidráulica 6060H.

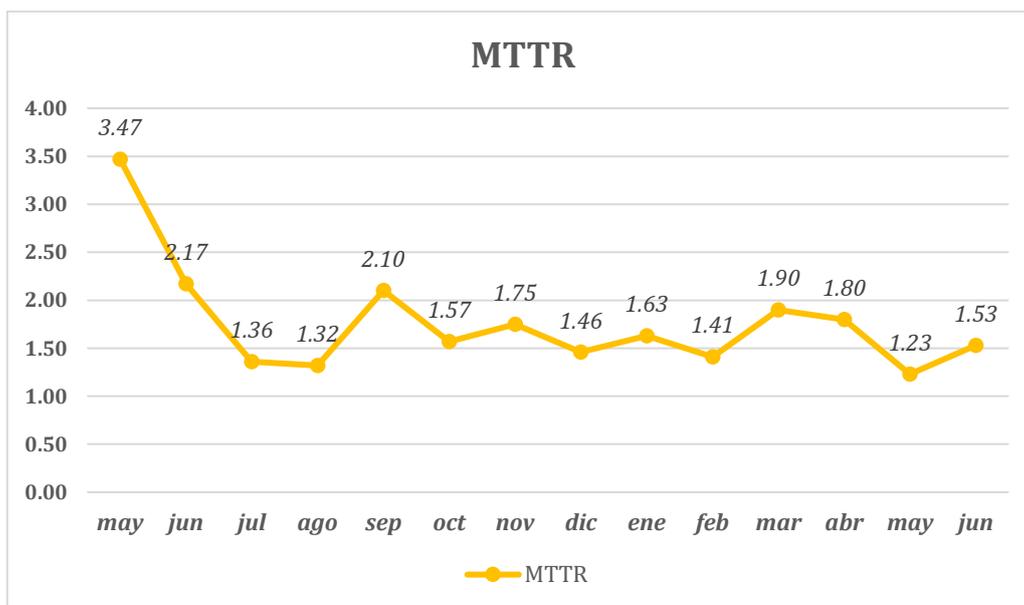


Figura 13. Indicador MTTR.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6, podemos observar que hay una reducción significativa entre el tiempo medio de reparación que presenta la Pala Hidráulica 6060H, con una disminución del tiempo de reparación de fallos y averías en un 60.8% hasta el mes de julio 2021, para luego mantener un indicador MTTR promedio de 1.61 hasta el mes de junio de 2022.

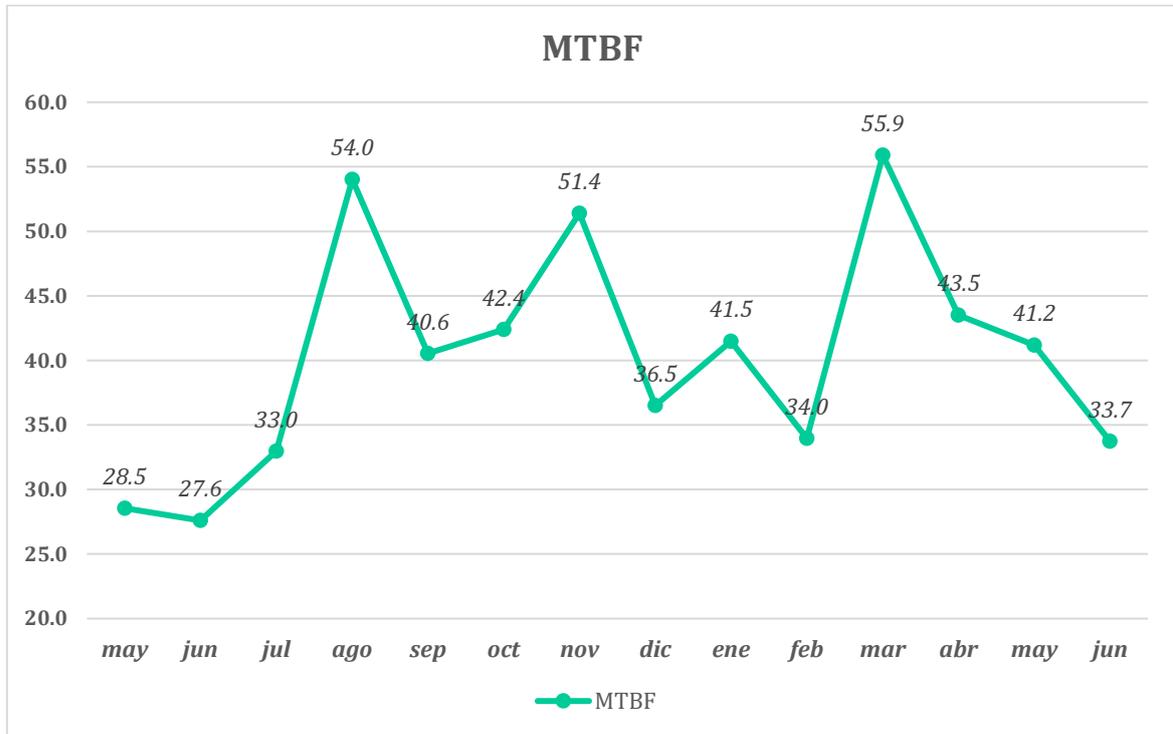


Figura 14. Indicador MTBF.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 7, podemos observar que hay un aumento significativo entre el tiempo medio entre fallas que presenta la Pala Hidráulica 6060H, con un incremento del tiempo donde funciona correctamente el equipo en un 15.5% hasta el mes de julio 2021, para luego mantener un indicador MTBF promedio de 43.15 hasta el mes de junio de 2022.

Tabla 13.

Disponibilidad

Año	Mes	Disponibilidad (%)
2021	May	89.16
	Jun	92.71
	Jul	96.04
	Ago	97.61
	Sep	95.08
	Oct	96.43
	Nov	96.71
	Dic	96.15
2022	Ene	96.22
	Feb	96.01
	Mar	96.71
	Abr	96.03
	May	97.10
	Jun	95.66

Fuente. Elaboración propia

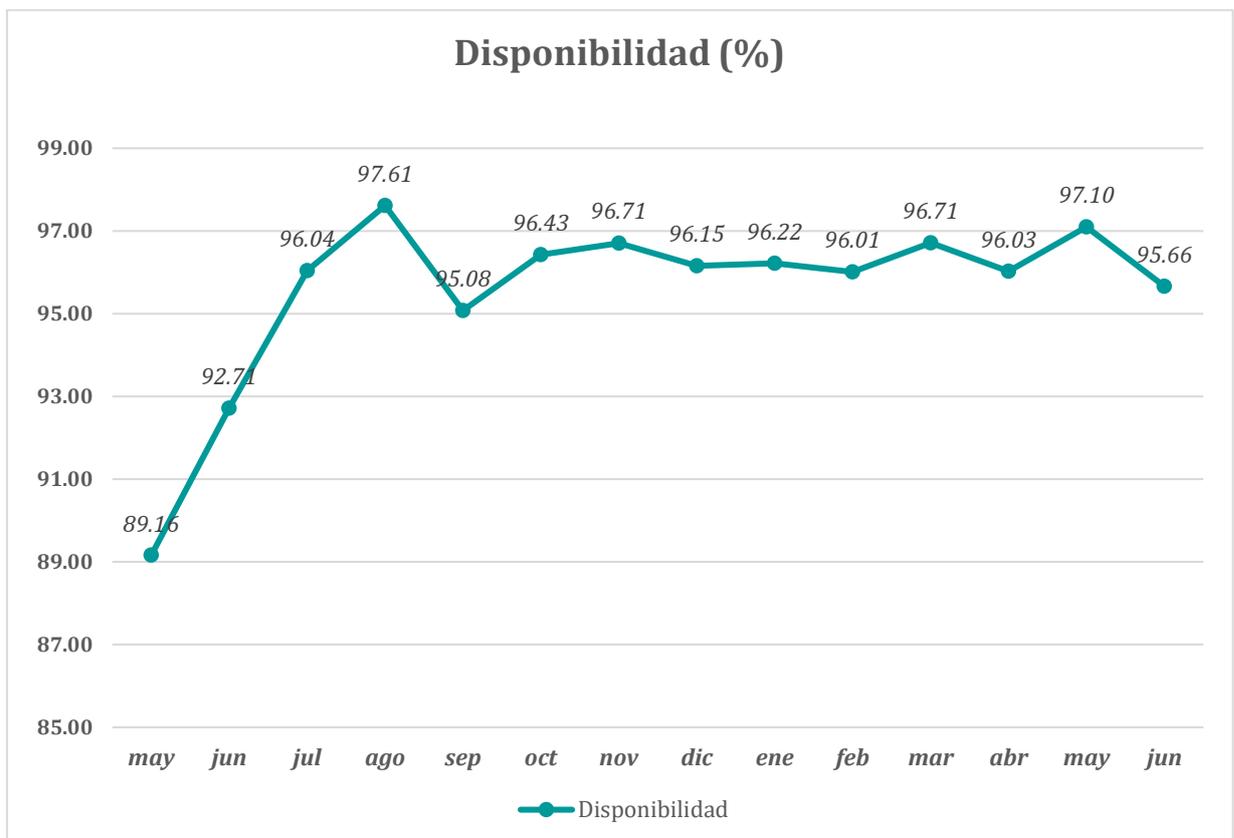


Figura 15. Disponibilidad.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8, realizada en función de los datos recopilados de la disponibilidad del equipo desde mayo 2021 hasta junio 2022 registrados en la tabla 10, podemos observar que hay un aumento significativo en la probabilidad de que la Pala Hidráulica 6060H esté en funcionamiento y lista para usarse, con un incremento de 7.7 % hasta el mes de julio 2021, para luego mantener una disponibilidad promedio de 96.34 hasta el mes de junio de 2022.

5.2 Logros alcanzados

Entre los logros que se alcanzaron desempeñando la actividad profesional se encuentran la elaboración y la gestión de una propuesta de mejora sobre la instalación de un sistema que permite mejora la condición de la Pala Hidráulica, estudiando el estado y necesidades del área de mantenimiento, para luego proponer una solución y coordinar las acciones necesarias para su aplicación, esta solución implicaba la instalación de un sistema de microfiltrado de la marca C.C Jensen, el cual ofreció las mejores características para el proyecto.

Una vez instalado el sistema siguiendo las especificaciones técnicas del equipo, además de la integridad funcional y estructural de la pala hidráulica, se tomaron muestras para evaluar el cambio en el código ISO. Según los resultados obtenidos se ha conseguido extender el tiempo de vida de los componentes y lubricante del sistema hidráulico, que fue resultado de la disminución de los códigos ISO, representa la reducción de los niveles de contaminación logrados mediante la instalación de un sistema de microfiltrado en la Pala Hidráulica 6060.

Tabla 14.

Resultado de muestras

Muestra	Código ISO
Q1174	17/15/11
Q1425	18/16/11
Q1870	18/17/13
Q2024	17/15/12
Q2648	15/15/9
Q3311	15/12/8
Q4598	16/15/12
Q4987	15/13/9
Q5852	16/14/11
Q6226	14/11/9
Q8948	16/14/11
Q12747	15/14/11

Fuente. Elaboración propia

Como se observa en la tabla 14, la condición de las muestras tomadas antes de la implementación del sistema presentaba un nivel alto de partículas contaminantes (muestras Q1174, Q1425, Q1870 y Q2024), los cual difieres del resultado de las muestras tomadas una vez dada la instalación de equipo (muestras Q2648, Q3311, Q4598, Q4987, Q5852, Q6226, Q8948 y Q12747).

De esta manera se puede determinar una extensión estimada de 1.6 veces la vida útil de los componentes hidráulicos, esta extensión del tiempo de vida ha permitido contribuir al cumplimiento del KPI principal; que es la disponibilidad de los equipos, donde se dio un aumento significativo del 7.7 % hasta el mes de julio 2021, para luego mantener un promedio de 96.34 hasta el mes de junio de 2022.

Por otro lado, se logró reducir el costo anual de mantenimiento por cambio de componentes y aceite, siendo que el costo total anual de cambio de componentes, donde antes de la implementación es de \$ 495 729.76 y luego de la implementación estos costos totales se reducen en un 37.5 %, dejando un monto total de \$ 309 831.10.

En cuanto a los costos anuales de cambio de aceite o lubricante, antes de la implementación del sistema el costo total es de \$ 21 867.12 se redujo a un total de S/8 746.85, después de la instalación del sistema de microfiltrado, demostrando que la propuesta, su aplicación y resultados han contribuido en las operaciones del proyecto.

5.3 Dificultades encontradas

Para controlar la contaminación de los fluidos la primera dificultad encontrada fue la selección de una propuesta adecuada, ya que se estudiaron otras propuestas de solución para reducir los costos e incrementar la disponibilidad de la Pala Hidráulica 6060.

En cuanto la instalación del sistema de microfiltración de CJC, se tomó en cuenta la estructura de la Pala Hidráulica 6060, ya que la instalación debía respetar la integridad estructural y funcional del equipo, a fin de permitir una correcta filtración sin comprometer el funcionamiento del equipo., así que se tuvo que coordinar reuniones y acuerdos, acerca de la ubicación del sistema, tipo de conexión eléctrica e hidráulica para que, al ser instalado, el sistema actúe como agente positivo en el control de la contaminación que se produce en el equipo minero.

Por otro lado, para el análisis ferrográfico, se tuvo un periodo de espera más extenso de lo esperado, ya que la empresa encargada de entregar los resultados no los envió en el tiempo indicado, lo que resulto en retrasos para la evaluación del funcionamiento de la implementación, adicionalmente es necesario tomar un periodo considerable de evaluación para tener en cuenta como fluctúa la disponibilidad del equipo para tener una visión general de los efectos del sistema de microfiltrado.

5.4 Planteamiento de mejoras

La mejora integral que se plantea en la actividad profesional es la reducción de los niveles de contaminación a través de un sistema de microfiltrado que permita una reducción de costos en el área de mantenimiento y permita incrementar la disponibilidad de la Pala Hidráulica.

5.5 Análisis de resultados

A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos en el estudio de lubricante e indicadores, además de un análisis económico-financiero acerca de la implementación del proyecto.

5.5.1 Resultados de lubricante.

Los resultados del lubricante revelan que hubo un nivel de conteo de partículas menor una vez se ha instalado el sistema de microfiltrado, siendo que las muestras que se obtuvieron de la Pala Hidráulica tuvieron una reducción significativa en cuanto a la contaminación por factores externos, resultado de la limpieza y mantenimiento continuo que ofrece el sistema de microfiltrado a los lubricantes y otros fluidos presentes en el equipo minero.

Tabla 15.*Conteo de partículas según muestra*

Muestra	Condición de muestra	Fecha de Muestreo	Conteo de Partículas
Q1174	PRECAUCION	13/10/2020	17/15/11
Q1425	PRECAUCION	20/11/2020	18/16/11
Q1870	PRECAUCION	23/03/2021	18/17/13
Q2024	PRECAUCION	05/04/2021	17/15/12
Q2648	NORMAL	24/05/2021	15/15/9
Q3311	NORMAL	04/07/2021	15/12/8
Q4598	NORMAL	30/08/2021	16/15/12
Q4987	NORMAL	17/09/2021	15/13/9
Q5852	NORMAL	24/10/2021	16/14/11
Q6226	NORMAL	07/11/2021	14/11/9
Q8948	NORMAL	13/02/2022	16/14/11
Q12747	NORMAL	29/05/2022	15/14/11

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 15, se muestran el conteo de partículas según la muestra, estas se tomaron desde diciembre del 2020 hasta abril del 2022, a fin de analizar el estado inicial de la contaminación en los fluidos de equipo minero y evaluar el funcionamiento del sistema de microfiltrado instalado.

De esta manera, es posible ver el cambio en los niveles de contaminación desde el mes de mayo en adelante, donde el cambio más notable es la reducción de partículas de 4 um, donde el conteo bajo en un 66.37 %.

Tabla de extensión de la vida útil: nivel de limpieza, códigos ISO													
	21/19/16	20/18/15	19/17/14	18/16/13	17/15/12	16/14/11	15/13/10	14/12/9	13/11/8	12/10/7			
24/22/19	2 1,6 1,8 1,3	3 2 2,3 1,7	4 2,5 3 2	6 3 3,5 2,5	7 3,5 4,5 3	8 4 5,5 3,5	>10 5 7 4	>10 6 8 5	>10 7 10 5,5	>10 >10 8,5			
23/21/18	1,5 1,5 1,5 1,3	2 1,7 1,8 1,4	3 2 2,2 1,6	4 2,5 3 2	5 3 3,5 2,5	7 3,5 4,5 3	9 4 5 3,5	>10 5 7 4	>10 7 9 5,5	>10 10 10 8			
22/20/17	1,3 1,2 1,2 1,05	1,6 1,5 1,5 1,3	2 1,7 1,8 1,4	3 2 2,3 1,7	4 2,5 3 2	5 3 3,5 2,5	7 4 5 3	9 5 6 4	>10 7 8 5,5	>10 9 10 7			
21/19/16		1,3 1,2 1,2 1,1	1,6 1,5 1,5 1,3	2 1,7 1,8 1,5	3 2 2,2 1,7	4 2,5 3 2	5 3 3,5 2,5	7 4 5 3,5	9 6 7 4,5	>10 8 9 6			
20/18/15			1,3 1,2 1,2 1,1	1,6 1,5 1,5 1,3	2 1,7 1,8 1,5	3 2 2,3 1,7	4 2,5 3 2	5 3 3,5 2,5	7 4,6 5,5 3,7	>10 6 8 5			
19/17/14				1,3 1,2 1,2 1,1	1,6 1,5 1,5 1,3	2 1,7 1,8 1,5	3 2 2,3 1,7	4 2,5 3 2	6 3 4 2,5	8 5 6 3,5			
18/16/13					1,3 1,2 1,2 1,1	1,6 1,5 1,5 1,3	2 1,7 1,8 1,5	3 2 2,3 1,8	4 3,5 3,7 3	6 4 4,5 3,5			
17/15/12	Sistema hidráulico y motores diésel	Rodamientos de elementos rodantes				1,3 1,2 1,2 1,1	1,6 1,5 1,5 1,4	2 1,7 1,8 1,5	3 2 2,3 1,8	4 2,5 3 2,2			
16/14/11	Rodamientos lisos y maquinaria turbo	Cajas de cambio y otros					1,3 1,3 1,3 1,2	1,6 1,6 1,6 1,4	2 1,8 1,9 1,5	3 2 2,3 1,8			
15/13/10								1,4 1,2 1,2 1,1	1,8 1,5 1,6 1,3	2,5 1,8 2 1,6			

Figura 16. Extensión del Tiempo de Vida.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, según los códigos ISO, hay una extensión estimada de 1.6 veces la vida útil de los componentes hidráulicos, ya que, se pasa de un código ISO 17/15/12 a 15/15/9, estos valores permanecen dentro de los parámetros objetivo bajo los cuales se hace el análisis, tomando como base un código ISO **/18/15, además esta extensión reduce la tasa de cambio de aceite e incrementa la vida útil del equipo.

Tabla 16.*Tiempo de vida de componente*

Componentes	Tiempo de Vida de Componente (horas)	
	Sistema de Microfiltrado	
	No	Si
BB Giro 1 LH	10000	16000
BB Giro 1 RH	10000	16000
BB Giro 2 LH	10000	16000
BB Giro 2 RH	10000	16000
BB Hidráulica Piloto 1 LH	7500	12000
BB Hidráulica Piloto 1 RH	7500	12000
BB Hidráulica Piloto 2 LH	7500	12000
BB Hidráulica Piloto 2 RH	7500	12000
BB Hidráulica Principal 1 LH	10000	16000
BB Hidráulica Principal 1 RH	10000	16000
BB Hidráulica Principal 2 LH	10000	16000
BB Hidráulica Principal 2 RH	10000	16000
BB Ventilador Enfriador Aceite Hyd 1 LH	15000	24000
BB Ventilador Enfriador Aceite Hyd 1 RH	15000	24000
BB Ventilador Enfriador Aceite Hyd 2 LH	15000	24000
BB Ventilador Enfriador Aceite Hyd 2 RH	15000	24000
Motor Hyd Enfriador Aceite Inf LH	15000	24000
Motor Hyd Enfriador Aceite Inf 1 RH	15000	24000
Motor Hyd Enfriador Aceite Sup 2 LH	15000	24000
Motor Hyd Enfriador Aceite Sup 2 RH	15000	24000
MOTOR HIDR GIRO FRONTAL LH	15000	24000
MOTOR HIDR GIRO FRONTAL RH	15000	24000
MOTOR HIDR GIRO POSTERIOR LH	15000	24000
MOTOR HIDR GIRO POSTERIOR RH	15000	24000
MOTOR HIDR PROPULSION FRONTAL LH	20000	32000
MOTOR HIDR PROPULSION FRONTAL RH	20000	32000
MOTOR HIDR PROPULSION POSTERIOR LH	20000	32000
MOTOR HIDR PROPULSION POSTERIOR RH	20000	32000
Motor Hyd Enfriador Motor LH	15000	24000
Motor Hyd Enfriador Motor RH	15000	24000
Válvula Control PPAL 1 Y 2 LH	30000	48000
Válvula Control PPAL 1 Y 2 RH	30000	48000

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16, se aplica la extensión esperada de la vida útil de los componentes de la Pala Hidráulica, donde todos tienen un incremento del 60% en el número de horas del tiempo de vida después de que tendrán una vez instalado el sistema de microfiltrado.

5.5.2 Análisis económico.

El análisis de la rentabilidad del proyecto se evaluó mediante el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de retorno de inversión (PRI), lo cual permitió proyectar el valor final de la inversión inicial, ver el valor de proyecto a través del tiempo y saber en que periodo se recuperará el total invertido en la implementación del proyecto.

Se ha determinado el beneficio económico anual que se obtiene gracias al impacto positivo de la implementación del sistema de microfiltrado, ya que extiende la vida útil de los componentes y aceite.

Tabla 17.

Flujo de caja proyectado

Año 0	Año1	Año2	Año3	Año4	Año5	Año6	Año7	Año8
\$ (29,120.00)			\$ (29,120.00)			\$ (29,120.00)		
	\$ 32,059.22	\$ 32,059.22	\$ 32,059.22	\$ 32,059.22	\$ 32,059.22	\$ 32,059.22	\$ 32,059.22	\$ 32,059.22
	\$ (10,730.00)							
\$ (29,120.00)	\$ 21,329.22	\$ 21,329.22	\$ (7,790.78)	\$ 21,329.22	\$ 21,329.22	\$ (7,790.78)	\$ 21,329.22	\$ 21,329.22

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 17, se muestra el flujo de caja proyectado, donde se contemplan los ingresos que genera el uso del sistema proyectado a 5 años, incluyendo los costos de mantenimiento de los componentes hidráulicos y el cambio de aceite. (Anexo 1)

Los valores resultantes se usarán para evaluar según indicadores económicos el proyecto de implementación, buscando reconocer si este ofrece rentabilidad y genera valor para el área de mantenimiento.

Tabla 18.

Indicadores económicos

VAN	\$22,548.33
TIR	32.14%
PRI	3.73

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18, se detalla el valor de VAN, TIR y PRI calculados según el flujo de caja neto, siendo que el valor de VAN es de \$22,548.33, tomando como base una tasa de descuento de 6.76 %, según el interés que brinda el BCRP de 7.5 % [6]. El criterio de decisión que se toma es que el valor de VAN sea mayor a 0, esto significa que el proyecto sí genera valor en su aplicación.

En cuanto al valor de la TIR, se tiene como resultado 32.14 %, que se evalúa en función a la tasa de descuento, es decir si la TIR es superior el proyecto rinde más de lo esperado, tomando la tasa de descuento mencionada anteriormente, se considera que esta implementación es rentable.

Por otro lado, el valor de PRI permite saber el tiempo total en que se recupera la inversión que se hizo al momento de implementar del sistema de microfiltrado en la Pala Hidráulica, dando como periodo de recuperación 3.73 años.

5.5.3 Resultados de indicadores.

En cuanto a los indicadores de mantenimiento que se evalúan para estudiar la disponibilidad de la Pala Hidráulica, ha habido mejoras significativas en cuanto al MTTR, MTTB y disponibilidad del equipo, a fin de lograr el objetivo de mantener una disponibilidad promedio superior al 90% que es el estándar que se maneja en el área de mantenimiento.

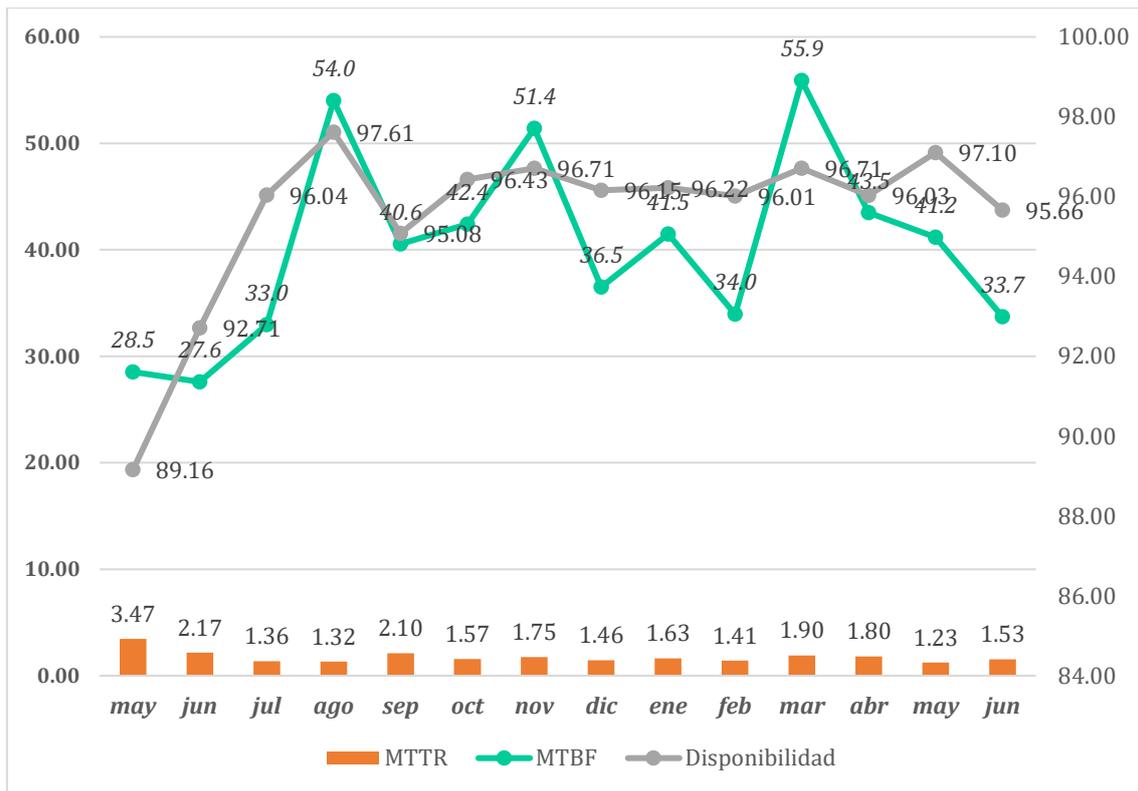


Figura 17. MTTR, MTTB y Disponibilidad.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10, se muestra un resumen de los valores obtenidos en los indicadores de mantenimiento de la Pala Hidráulica, antes y después de la instalación del sistema de microfiltrado.

5.6 Aportes

Los aportes en las actividades realizadas en el proyecto AngloAmerican Quellaveco son las siguientes:

1. Diagnostico situacional de la empresa, donde se identificó una oportunidad de aplicación en el control de contaminación en la Pala Hidráulica 6060.
2. Implementación de un control de contaminación proactivo, el cual, se ejecutará mediante la instalación de un sistema de filtración CJC.

3. Planificación, instalación y evaluación de un sistema de filtración CJC en maquinaria pesada Caterpillar.
4. Evaluación de resultados de la aplicación de la propuesta, la cual, tuvo resultado favorables, como extensión de vida útil de componentes y aceite, reducción de costos de mantenimiento e incremento de disponibilidad del equipo.

CONCLUSIONES

El mantenimiento del equipo en los diferentes proyectos mineros es de vital importancia, porque estos son indispensables para desarrollar actividades de exploración, carga y desplazamiento dentro de su campo de acción, por esto es necesario prever de mecanismos necesarios para mantener un correcto mantenimiento y preservación del equipo minero, ya que así, esta maquinaria estará disponible en el momento, lugar y para la actividad que se requiera.

El control de la contaminación en la Pala Hidráulica aplicado, proviene de un diagnóstico situacional del proyecto en mención, donde se busca evitar un nivel de contaminación alto, es decir, que no esté dentro de los parámetros establecidos por normas y/o especificaciones de mantenimiento.

El control de los niveles de contaminación presentes en la Pala hidráulica 6060, se trabajó mediante la instalación un sistema de micro filtrado, el cual ha permitido extender la vida de útil de los componentes hidráulicos en un 60 %, manteniendo el código ISO dentro de los parámetros objetivo bajo los cuales se hace el análisis.

La implementación del sistema de microfiltrado ha reducido el costo anual de cambio de componentes y aceite en un 37.5 % y 40 % respectivamente, además ha permitido incrementar significativamente la disponibilidad de la Pala Hidráulica, manteniendo un promedio de 96.34%, donde el equipo está en funcionamiento y listo para usarse en alguna operación minera.

Según los indicadores VAN (\$22,548.33), TIR (32.14%) y PRI (3.73 años), la instalación del sistema de microfiltrado es una propuesta rentable que genera valor en su aplicación, ya que sus valores cumplen con los criterios de evaluación.

RECOMENDACIONES

Se requiere una difusión sobre los beneficios de la instalación de sistemas de microfiltrado en otros equipos mineros, específicamente, para los fluidos hidráulicos y de combustible, ya que representa una manera óptima de disminuir los niveles de contaminación causado por partículas contaminantes.

Es necesaria una capacitación acerca del código de limpieza ISO 4406 al personal de toma de muestra de fluidos, para que pueda registrar, evaluar e interpretar los resultados del análisis de aceite.

Se recomienda hacer análisis de aceite periódicamente, ya que es necesario continuar con el control de la efectividad del sistema y evaluar su funcionamiento en el futuro.

Catalogar partes de recambio del sistema de microfiltrado es fundamental para evitar daños estructurales y/o funcionales en los equipos mineros, siendo que estos pueden ser afectados por el sistema de filtración, si no se respetan las recomendaciones y parámetros de la maquinaria.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANGLOAMERICAN. El Proyecto: Así se construye Quellaveco. 2021 [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. <https://peru.angloamerican.com/es-es/quellaveco/el-proyecto>.
2. ANGLOAMERICAN. Nuestro enfoque. 2021 [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. <https://peru.angloamerican.com/es-es/anglo-american/nuestro-enfoque>.
3. ANGLOAMERICAN. Nuestro propósito. 2021 [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. <https://chile.angloamerican.com/acerca-de-nosotros/nuestro-proposito.aspx>.
4. ATLISSIAN. MTBF, MTTR, MTTA y MTTF. Comprensión de algunas de las métricas sobre incidentes más habituales, 2020 [fecha de consulta: 20 de agosto de 2021]. <https://www.atlassian.com/es/incident-management/kpis/common-metrics>.
5. AVILA H. Juan. Determinación del desgaste de los elementos mecánicos del motor mediante el análisis del aceite usado. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8281/1/14004.pdf>.
6. BANCO Central de Reserva del Perú (BCRP). Estadística, 2022 [fecha de consulta: 20 de agosto de 2021]. <https://www.bcrp.gob.pe/145-publicaciones/reporte-de-inflacion.html>.
7. CATERPILLAR. *6060/6060 FS Pala hidráulica* [en línea]. USA: Caterpillar, 2014, p. 24 [fecha de consulta: 19 de agosto de 2021]. <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10270938>.
8. CATERPILLAR. *Caterpillar Machine Fluids Recommendations* [en línea]. USA: Caterpillar, 2016 [fecha de consulta: 23 de agosto de 2021]. <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/completing-the-curve>.

9. CATERPILLAR. *Control de Contaminación* [en línea]. USA: Caterpillar, 2014, p. 3 [fecha de consulta: 19 de agosto de 2021]. <https://www.gentrabelize.com/archivos/2014/03/Brochure-sobre-Control-de-Contaminaci%C3%B3n.pdf>.
10. CATERPILLAR. Palas Hidráulica para Minería 6060. 2021 [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/hydraulic-mining-shovels/hydraulic-mining-shovels/104540.html.
11. CJC. Ficha técnica Filtro Fino CJC, 2020 [fecha de consulta: 31 de agosto de 2021]. <https://www.cjc.dk/es/productos/filtros-finos/hdu-27/>.
12. COLINDRES W. Diseño de un plan de Mantenimiento Predictivo basado en Análisis de aceite con aplicación de la Norma ISO 4406:17 en la Planta de Pastas de una mina Extractora de Plata en Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019 [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12636/1/William%20Giovanni%20Col%C3%A9ndres%20Velasquez.pdf>.
13. CRANES and Machinery. Excavadora Hidráulica. 2021 [fecha de consulta: 19 de agosto de 2021]. <https://economipedia.com/definiciones/yacimiento-mineral.html>.
14. ECONOMIPEDIA. Valor actual neto (VAN) 2014 [fecha de consulta: 20 de agosto de 2021]. <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>.

15. ESAN. El PRI: uno de los indicadores que más llama la atención de los inversionistas, 2017 [fecha de consulta: 20 de agosto de 2021]. <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-pri-uno-de-los-indicadores-que-mas-llama-la-atencion-de-los-inversionistas#:~:text=El%20per%C3%ADodo%20de%20recuperaci%C3%B3n%20de,ser%C3%A1%20cubierta%20la%20inversi%C3%B3n%20inicial.>
16. ESPINOZA SEGARRA Victor. Estudio de la degradación de los lubricantes utilizados en motor y transmisión de los vehículos recolectores a Diesel de la EMAC EP. Tesis (Título Profesional de Mecánica Automotriz). Ecuador: Universidad de Azuay [fecha de consulta: 15 de mayo de 2022]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/1428>.
17. FINNING. Contaminación en los sistemas de fluidos de tu máquina. 2017 [fecha de consulta: 19 de agosto de 2021]. https://www.finning.com/es_CL/company/news-events/product-customer-stories/contaminacio-en-los-sistemas-de-fluidos-de-tu-maquina.html.
18. FMS International Inc. Hydraulic Productiven 100%, 2021 [fecha de consulta: 20 de agosto de 2021]. <https://fms-filtration.com/manejo-de-aceite-hidr%C3%A1ulico>.
19. GESTIÓN. La tasa interna de retorno 2010 [fecha de consulta: 20 de agosto de 2021]. <http://blogs.gestion.pe/deregresoalobasico/2010/10/la-tasa-interna-de-retorno-fac.html>.
20. GRUPO HERRES. Qué es el aceite hidráulico y cómo elegir el ideal, 2019 [fecha de consulta: 20 de agosto de 2021]. <http://www.grupoherres.com.mx/aceite-hidraulico/>.
21. INTERKET Group. Análisis de Contaminación en Lubricantes y Fluidos. 2020 [fecha de consulta: 19 de agosto de 2021]. <https://www.intertek.es/analisis-aceites/contaminacion/>.

22. INTI D. y ÁLVAREZ F. Mantenimiento Predictivo por Análisis de Aceite, para optimizar Costos operativos por disponibilidad, Montacargas P33000. Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018. Tesis (Título Profesional de Ingeniería Industrial). Chimbote: Universidad César Vallejo, 2019 [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/27573/Inti_MD_M-Alvarez_CFR.pdf?sequence=4&isAllowed=y.
23. JARAMILLO S. Diego. “Análisis técnico de la vida útil de un lubricante de aceite mineral, para motores de combustión interna a gasolina de los vehículos de servicio de taxis de la ciudad de Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1500/14/UPS-CT002022.pdf>.
24. LENNTECH. Sistemas de microfiltración (SMF), 2022 [fecha de consulta: 20 de agosto de 2021]. <https://www.lenntech.es/sistemas-de-microfiltracionsmf.htm#:~:text=Un%20SMF%20se%20utiliza%20para,de%20enzimas%20y%20de%20levaduras>.
25. *MARTICORENA MANUEL*. Quellaveco, historia de un desafío. Revista *ENERGIMINAS* [en línea]. Setiembre, 2018, N.º 65, pp. 43-44 [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. <https://www.energiminas.com/wp-content/uploads/2018/11/Energiminas-65.pdf>.

26. MEDINA J. Análisis y Monitoreo del Aceite Lubricante en la Anticipación de fallas de Maquinaria Pesada, como Herramienta de mantenimiento Proactivo. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Mecánico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2016 [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9278>.
27. MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS (MEF). Principales Indicadores Macroeconómicos, 2022 [fecha de consulta: 20 de agosto de 2021]. https://www.mef.gob.pe/es/?option=com_content&language=es-ES&Itemid=101106&lang=es-ES&view=article&id=131.
28. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM). Boletín Estadístico Minero [en línea]. Lima: MINEM, 2021, N° 04, p. 4 [fecha de consulta: 19 de agosto de 2021]. http://www.minem.gob.pe/archivos/BEM_04-2021-b1k4tf88.pdf.
29. NORIA. ¿Qué tan importante es el código de contaminación sólida ISO 4406:99? 2013 [fecha de consulta: 20 de agosto de 2021]. <https://noria.mx/lublearn/que-tan-importante-es-el-codigo-decontaminacion-solida-iso-440699/>.
30. NORMA Internacional ISO. *ISO 4406-99*. USA: ISO, 1999, pp. 3-5 [fecha de consulta: 24 de agosto de 2021]. https://www.linkedin.com/pulse/como-contamina%C3%A7%C3%A3o-do-flu%C3%ADdo-hidr%C3%A1ulico-pode-reduzir-vida-cattozzi?trk=portfolio_article-card_title.
31. PEZANTEZ OCHOA Jorge. Análisis y Diagnostico de la degradación del aceite móvil 15W40 utilizado en un motor Isuzu Turbo Diesel. Tesis (Título Profesional de Mecánica Automotriz). Ecuador: Universidad de Azuay [fecha de consulta: 15 de mayo de 2022]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6610>.

32. RELIABILITYWEB.COM. Completar la Curva, 2026-2018. [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/completing-the-curve>.
33. RENGIFO A. Guillermo. Implementación de un programa de lubricación para aumentar la disponibilidad de los Scoops Caterpillar R1600G en la Compañía Minera Casapalca. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Mecánico). Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2019 [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2417/Diego%20Egoavil_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y.
34. TELLO G. y ESPINOZA E. Implementación del programa de Tribología centrada en la Confiabilidad para mejorar la Productividad de las Palas PC4000 en la minera Miski Mayo. Tesis (Título Profesional de Ingeniería Industrial). Lima: Universidad Privada del Norte, 2016 [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/11179/TESIS%20Guadalupe%20Tello_Edwin%20Esp_.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
35. VALCÁRCEL B. RONMEL. Análisis de la implementación de un sistema de microfiltrado; mediante Weibull de tres parámetros, en flota de palas en el sector minas. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Industrial). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2018 [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14172/Pel%c3%a1ez%20Villanueva%2c%20Yv%c3%a1n%20Leonidas%20-%20Valc%c3%a1rcel%20Bornas%2c%20Ronmel%20Leoncio.pdf?sequence=12&isAllowed=y>.

36. VILLANUEVA C. EDMUNDO. Regeneración del aceite usado en los camiones Komatsu 930 ES, a través del sistema de micro filtrado para reducir costos en la Compañía Minera Antamina Huaraz. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Industrial). Chimbote: Universidad César Vallejo 2020 [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9278>.
37. WESTREICHER GUILLERMO. Yacimiento mineral. 2021 [fecha de consulta: 19 de agosto de 2021]. https://www.gruasyaparejos.com/retroexcavadoras/excavadora-hidraulica/#que_es_una_excavadora_hidraulica.
38. ZAMORA GUSTAVO. El código de limpieza ISO y el incremento de la productividad. Buenos Aires: NTZ América Latina, 2017 [fecha de consulta: 19 de agosto de 2021]. https://gruasytransportes.files.wordpress.com/2017/09/el-cc3b3digo-de-limpieza-iso-y-el-incremento-de-la-productividad-e28093-by-ntz-amc3a9rica-latina_-_grc3baas-y-transportes.pdf.

ANEXOS

Anexo 1. Indicadores financieros

Para el cálculo de los indicadores financieros, se tuvieron que recopilar datos como la inversión total efectuada para la instalación del sistema de microfiltrado, la cual abarca los costos de materia prima, mano de obra y otros, siendo un total de:

Inversión Total
-\$29,120.00

Además, se realizó un flujo de caja proyectado para estimar los valores anuales, según los ingresos y egresos, los valores se obtuvieron haciendo una proyección de los ingresos que tenemos a utilizar el sistema, lo cual figura como el ahorro en el cambio de componentes, es decir que tenemos que ver el número de cambios que harán en la Pala Hidráulica durante su tiempo de vida.

Componentes	Costo \$	Cambios durante Tiempo Vida del Equipo			
		Sin MF	Con MF	Sin MF \$	Con MF \$
Bb Giro 1 Lh	\$ 15,300.00	5	4	\$ 76,500.00	\$ 61,200.00
Bb Giro 1 Rh	\$ 15,300.00	5	4	\$ 76,500.00	\$ 61,200.00
Bb Giro 2 Lh	\$ 15,300.00	5	4	\$ 76,500.00	\$ 61,200.00
Bb Giro 2 Rh	\$ 15,300.00	5	4	\$ 76,500.00	\$ 61,200.00
Bb Hidráulica Piloto 1 Lh	\$ 1,763.98	7	5	\$ 12,347.86	\$ 8,819.90
Bb Hidráulica Piloto 1 Rh	\$ 1,763.98	7	5	\$ 12,347.86	\$ 8,819.90
Bb Hidráulica Piloto 2 Lh	\$ 1,763.98	7	5	\$ 12,347.86	\$ 8,819.90
Bb Hidráulica Piloto 2 Rh	\$ 1,763.98	7	5	\$ 12,347.86	\$ 8,819.90
Bb Hidráulica Principal 1 Lh	\$ 55,000.00	5	4	\$ 275,000.00	\$ 220,000.00
Bb Hidráulica Principal 1 Rh	\$ 55,000.00	5	4	\$ 275,000.00	\$ 220,000.00
Bb Hidráulica Principal 2 Lh	\$ 55,000.00	5	4	\$ 275,000.00	\$ 220,000.00
Bb Hidráulica Principal 2 Rh	\$ 55,000.00	5	4	\$ 275,000.00	\$ 220,000.00
Bb Ventilador Enfriador Aceite Hyd 1 Lh	\$ 6,216.79	4	3	\$ 24,867.16	\$ 18,650.37

Bb Ventilador Enfriador Aceite Hyd 1 Rh	\$ 6,216.79	4	3	\$ 24,867.16	\$ 18,650.37
Bb Ventilador Enfriador Aceite Hyd 2 Lh	\$ 6,216.79	4	3	\$ 24,867.16	\$ 18,650.37
Bb Ventilador Enfriador Aceite Hyd 2 Rh	\$ 6,216.79	4	3	\$ 24,867.16	\$ 18,650.37
Motor Hyd Enfriador Aceite Inf Lh	\$ 4,586.69	4	3	\$ 18,346.76	\$ 13,760.07
Motor Hyd Enfriador Aceite Inf 1 Rh	\$ 4,586.69	4	3	\$ 18,346.76	\$ 13,760.07
Motor Hyd Enfriador Aceite Sup 2 Lh	\$ 4,586.69	4	3	\$ 18,346.76	\$ 13,760.07
Motor Hyd Enfriador Aceite Sup 2 Rh	\$ 4,586.69	4	3	\$ 18,346.76	\$ 13,760.07
Motor Hidr Giro Frontal Lh	\$ 4,662.55	4	3	\$ 18,650.20	\$ 13,987.65
Motor Hidr Giro Frontal Rh	\$ 4,662.55	4	3	\$ 18,650.20	\$ 13,987.65
Motor Hidr Giro Posterior Lh	\$ 4,662.55	4	3	\$ 18,650.20	\$ 13,987.65
Motor Hidr Giro Posterior Rh	\$ 4,662.55	4	3	\$ 18,650.20	\$ 13,987.65
Motor Hidr Propulsion Frontal Lh	\$ 8,358.94	3	2	\$ 25,076.82	\$ 16,717.88
Motor Hidr Propulsion Frontal Rh	\$ 8,358.94	3	2	\$ 25,076.82	\$ 16,717.88
Motor Hidr Propulsion Posterior Lh	\$ 8,358.94	3	2	\$ 25,076.82	\$ 16,717.88
Motor Hidr Propulsion Posterior Rh	\$ 8,358.94	3	2	\$ 25,076.82	\$ 16,717.88
Motor Hyd Enfriador Motor Lh	\$ 5,064.26	4	3	\$ 20,257.04	\$ 15,192.78
Motor Hyd Enfriador Motor Rh	\$ 5,064.26	4	3	\$ 20,257.04	\$ 15,192.78
Válvula Control Ppal 1 Y 2 Lh	\$ 12,619.33	2	2	\$ 25,238.66	\$ 25,238.66
Válvula Control Ppal 1 Y 2 Rh	\$ 12,619.33	2	2	\$ 25,238.66	\$ 25,238.66
				\$ 1,894,146.60	\$ 1,493,406.36

En la tabla anterior, se observa el número de cambios que se necesitan en la Pala Hidráulica según componente sin y con la instalación del sistema de microfiltrado, además de ello obtienen los costos del cambio de componente, para luego definir un ingreso anual de \$ 32,059.22.

Costo por Hora	\$ 37.88	\$ 29.87
Costo Anual	\$ 151,531.73	\$ 119,472.51

Ahorro Anual	\$ 32,059.22
---------------------	--------------

En el caso de los ingresos, se contemplan los provenientes de la vida útil componentes y lubricantes. Por otro lado, se registra como egresos los costos de mantenimiento que origina el sistema de microfiltrado una vez instalado, siendo así estese está fijando como \$(10,730.00) anual.

Año 0	Año1	Año2	Año3	Año4	Año5	Año6	Año7	Año8
\$			\$			\$		
(29,120.00)			(29,120.00)			(29,120.00)		
	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	32,059.22	32,059.22	32,059.22	32,059.22	32,059.22	32,059.22	32,059.22	32,059.22
	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	(10,730.00)	(10,730.00)	(10,730.00)	(10,730.00)	(10,730.00)	(10,730.00)	(10,730.00)	(10,730.00)
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
(29,120.00)	21,329.22	21,329.22	(7,790.78)	21,329.22	21,329.22	(7,790.78)	21,329.22	21,329.22

Anexo 2. Top 5

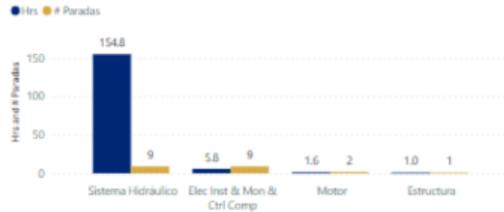
TOP 5 – 6060BH



Periodo: 7/31/2022 8/30/2022

TOP FIVE - 6060BH

Hrs and # Paradas by Sistema



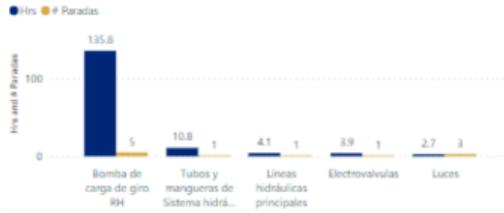
Sistema	Hrs	# Par.
Sistema Hidráulico	154.8	9
Elec Inst & Mon & Ctrl Comp	5.8	9
Motor	1.6	2
Estructura	1.0	1
Total	163.2	21

Hrs and # Paradas by Subistema



Subistema	Hrs	# Par.
Componentes Hidráulicos	154.8	9
Comunicación y control	3.1	6
Instrumentos cables y luces	2.7	3
Sistema de combustible	1.4	1
Cabina	1.0	1
Total	163.2	21

Hrs and # Paradas by Componente



Componente	Hrs	# Par.	Mecanismo
Bomba de carga de giro RH	77.3	2	Circuito Abierto
Bomba de carga de giro RH	58.5	3	Desgastado
Tubos y mangueras de Sistema hidráulico	10.8	1	Trabado
Líneas hidráulicas principales	4.1	1	Degradado
Electrovalvulas	3.9	1	Trabado
Luces	2.7	3	Circuito Abierto
Líneas de combustible LH	1.4	1	Suelto
Total	163.2	21	

Machine	Fecha	description	Hrs	# Par.
SH006	8/5/2022	500220 RH - Swing Circuit Charge Pressure (E.C. 3260) alarm (nivel3).Cambio. bomba de carga de giro RH	73.9	1
SH006	8/3/2022	500220 Cambio de bomba de carga de giro RH + Cambio de cucharón.	36.7	1
SH006	8/2/2022	500220 Evaluación x Adv. de Falla en bomba de carga de giro RH	21.0	1
SH006	8/8/2022	50029N Oruga LH avanza mas rapido que el lado RH. Bomba Hyd 5 y 7 no angulan, baja presion de flujo hacia implemento y propel RH, cambio de valvula de angulamiento de ambas bombas.	10.8	1
SH006	8/24/2022	500266 Cambio de sello de linea piloto PST por fuga de aceite hyd + cambio de linea piloto	4.1	1
SH006	8/28/2022	500257 Ruido extraño en levantamiento y descenso de boom - cambio de electro válvula diverter x contaminación	3.9	1
SH006	8/5/2022	500220 RH - Swing Circuit Charge Pressure (E.C. 3260) alarm (nivel3). eval. bomba de carga de giro RH	3.5	1
SH006	8/20/2022	100318 Reposicion de pernos faltantes de base de filtro de sistema de microfiltrado.	1.4	1
SH006	8/25/2022	200518 Luces de trabajo no encienden por falso contacto	1.3	1
SH006	8/15/2022	200205 Pernos sueltos de pedestal de interruptores	1.2	1
SH006	8/26/2022	200518 Luces de trabajo no encienden por falso contacto. cambio de portafusibles de luces	1.1	1
SH006	8/11/2022	200265 Bloqueo de giro x error interno en servo controlador	1.0	1
Total			163.2	21

RITERS

Anexo 3. Desviaciones de Plan Semanal

Análisis de Desviaciones del Plan

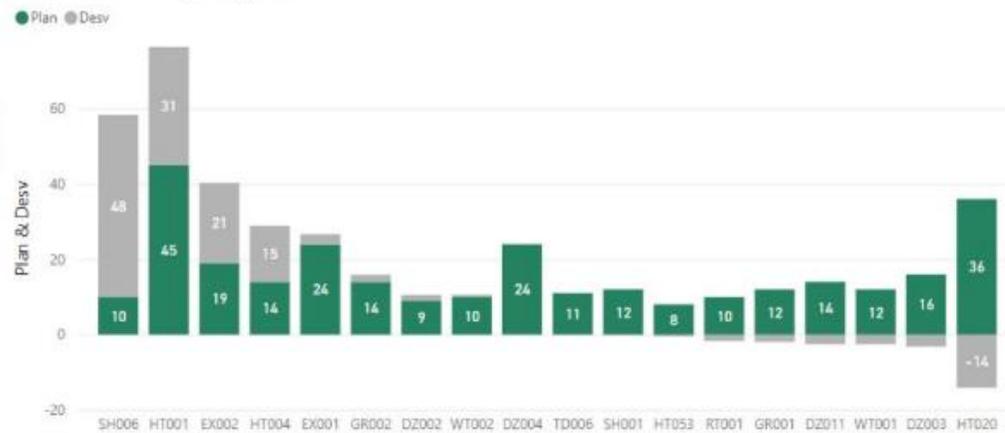


UNA EMPRESA FERREYCORP

Clasificación de Desviaciones



Desviación del Plan por Equipo



FECHA ORD	EQUIPO	TIPO	DETALLE	CANT HRS
7/08/2022	SH006	Correctivo	Falla de bomba de carga de giro RH	48.40
5/08/2022	EX002	Correctivo	Cambio de bujes por pines amarrados	21.30
7/08/2022	HT001	Falta de Operador	Demora por falta de Operador (Trabajos en paralelo)	20.00
8/08/2022	HT004	Correctivo	Calibracion de Percepcion y Barrel Run	6.90
7/08/2022	HT001	Cantidad de Personal	Fata de Personal (Trabajos en Paralelo HT008 - Cambio Motor)	6.00
7/08/2022	HT001	Correctivo	Cambio de manguera de direccion LH	5.40
8/08/2022	HT004	Correctivo	Correccion de Radares desviados	4.00
8/08/2022	HT004	Falta de Operador	Demora por falta de Operador	4.00
5/08/2022	EX001	Correctivo	Cambio de Arrancador	2.70

Anexo 4. Indicadores Claves de Desempeño



MANTENIMIENTO - AS&R - QUELLAVECO



Indicadores Clave de Desempeño (KPI)

GERENTE DE AS&R **LoW 3**

(USD/t) Costo de mantenimiento por tonelada
 (% Cumplimiento OMS (cronograma maestro de operación)
 LTIFR Mantenimiento (Tasa de tiempo perdido por frecuencia de horas trabajadas)
 TRIFR Mantenimiento (Tasa de incidentes por horas trabajadas)
 (% Diversidad de mano de obra AS&R
 (% Recurso humano moqueguanos / foráneos AS&R

PLANTA

SUPERINTENDENTE MANTENIMIENTO **LoW 2**

(%) Disponibilidad Física equipos de mina (7495, 6060, 794, PV 351D)
 (horas) MTTR Equipos Mina
 (%) Costo MARC Vs presupuesto
 (%) Costo otros contratista Vs presupuesto
Entregabilidad (Match entre # equipos Carguio y Acarreo para mover las ton presupuestadas/hora)

SUPERINTENDENTE PLAN. Y CONFIABILIDAD **LoW 2**

(%) Cumplimiento costo presupuesto Mantenimiento Mina
 (%) Efectividad del Programa (Tareas programadas en la fecha requerida / Tareas programadas)
 % Tareas Correctivas VS Programadas (20 80)
 (USD/hr) Costo horario de mantenimiento por flota

PLANNER SENIOR **LoW 2**

(%) Horas hombre programadas/ disponibles
 (%) Cumplimiento plan de Cambio de componentes mayores
 (%) Tiempo ejecutado vs programado (según plan entre real)
 (%) Num operaciones PLN (planeadas) / Num operaciones APD (aprobadas)
 (%) Uso de Tácticas en OTS
 (%) Num operaciones PLN (planeadas) / Num operaciones RTE (ready to execute) listas para ejecutar
 (%) Efectividad de carta Gantt

SENIOR CONFIABILIDAD **LoW 2**

(horas) MTBF Equipos Mina
 (%) Cantidad de desviaciones analizadas/cantidad de desviaciones (desviación = puntos fuera de los lim. de control (Orientado a signos vitales)
 (%) Cumplimiento de planes de acción RCA
 (h) Vida de neumáticos
 (%) Eventos repetitivos

SUPERVISORES SENIOR MINA **LoW 2**

(%) Utilización de labor (hh real/ hh programadas)
 (%) Cumplimiento Programa semanal (tareas programadas realizadas / tareas programadas)
 (%) Trabajos programados completados (Tareas prog realizadas/ tareas totales realizadas)
 (USD) Costo por flotas vs plan

SUPERVISORES CAMPO MINA **LoW 1**

(%) Creación de notificación de Mantenimiento
 (h) Tiempo de primera falla después de PM (2 MTBF)
 (h) Downtime de camion (Tiempo de paradas correctivas de camiones en horas)
 (h) Downtime de palas (Tiempo de paradas correctivas de palas en horas)
 (h) Downtime de perforadoras (Tiempo de paradas correctivas de perforadoras en horas)

MODELO DE OPERACIÓN - RETROALIMENTACIÓN

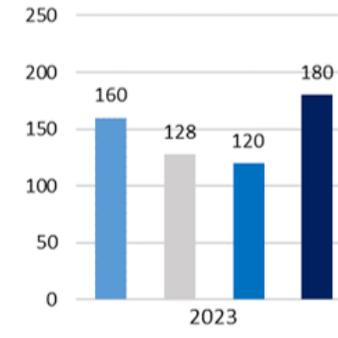
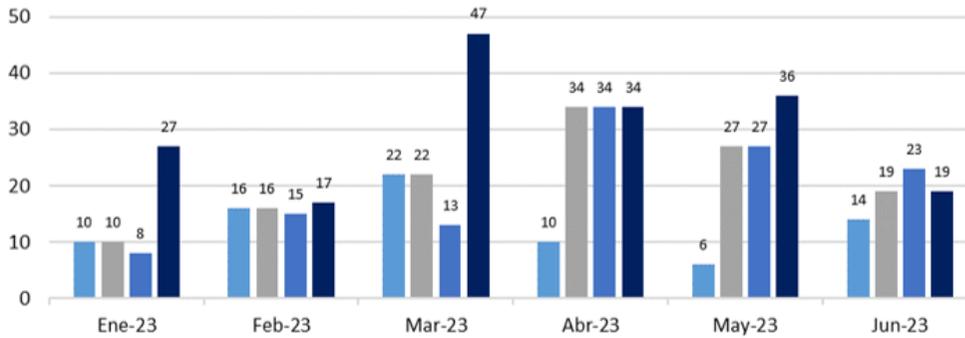
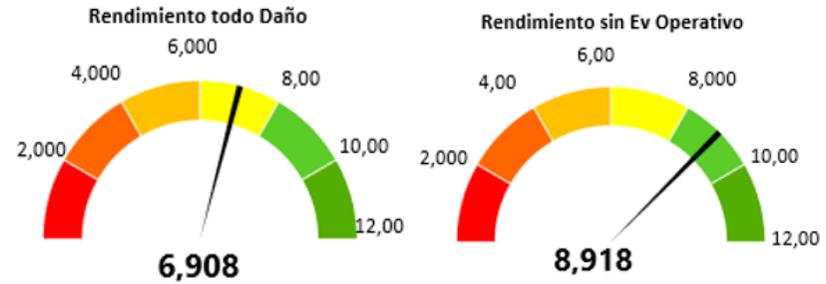
Efectividad
 Eficiencia
 Sustentabilidad

Anexo 5. Parámetros de mantenimiento

Process or Productive Unit	Process type	Dimension	Measures	Key Performance Indicators	KPI Owner	Specifications			Data Boundaries		Measurement Device	Sampling	Where is the data stored?	
Mantenimiento Mina	Transformación	Purpose	Sustainability	MTBF Palas Electricas	Yes	Senior de Confiabilidad	22	25	40	Tiempo calendario		MineStar	Semanal	XHQ
				MTBF Palas Hidraulicas	Yes	Senior de Confiabilidad	22	25	40	Tiempo calendario		MineStar	Semanal	XHQ
				MTBF Camiones 794	Yes	Senior de Confiabilidad	45	50	60	Tiempo calendario		MineStar	Semanal	XHQ
				MTBF Perforadoras PitViper 351	Yes	Senior de Confiabilidad	53	59	64	Tiempo calendario		MineStar	Semanal	XHQ
		Theory	Theory - Strategy	(%) Cantidad de desviaciones analizadas/cantidad de desviaciones (desviación = puntos fuera de los lim. de control (Orientado a signos vitales)	Yes	Senior de Confiabilidad	80%	100%		AS&R	Otras actividades	XHQ	Mensual	XHQ
				(%) Cumplimiento de planes de acción RCA	Yes	Senior de Confiabilidad	80%	100%		AS&R	Otras actividades	XHQ	Mensual	XHQ
				(hrs) Vida de neumáticos	Yes	Senior de Confiabilidad	7000	8000				SAP	Mensual	XHQ
				(%) Eventos repetitivos	Yes	Senior de Confiabilidad		0	10%			SAP	Mensual	XHQ

Anexo 6. Vida de neumáticos

1 SCORECARD NEUMÁTICOS



PROYECCIÓN	Ene-23	Feb-23	Mar-23	Abr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23	Set-23	Oct-23	Nov-23	Dic-23	BALANCE
BUDGET	10	16	22	10	6	14	10	10	6	14	26	16	160
DEBITADOS	10	16	22	34	27	19							128
CONSUMO REAL	8	15	13	34	27	23							120
SCRAP	27	17	47	34	36	19							180

Anexo 7. Certificaciones



SMRPCO

Certifying Organization

Be it known that

Wilson Chavez

*is hereby recognized by the SMRP Certifying Organization as a
CERTIFIED MAINTENANCE AND RELIABILITY PROFESSIONAL
and is granted all the rights, honors and privileges of this achievement.*

Issued on: December 26, 2022
SMRP ID: 445003
Expiration Date: December 25, 2025
101-3767-570753



David Rosenthal, CMRP
SMRP Certifying Organization Chair

Paul Casto, CMRP, CMRT, CAMA
SMRP Chair

This certificate is only valid with active certification status. To verify status, please visit <https://smrp.org/CMRP-Directory>.