



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE CON APLICACIÓN A LA NORMA
ISO 4406:17 EN LA PLANTA DE PASTAS DE UNA MINA EXTRACTORA DE PLATA
EN GUATEMALA**

William Giovanni Colíndres Velasquez

Asesorado por el Msc. Ing. Luis Fernando Guillén Fernández

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE CON APLICACIÓN A LA NORMA
ISO 4406:17 EN LA PLANTA DE PASTAS DE UNA MINA EXTRACTORA DE PLATA
EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

WILLIAM GIOVANNI COLÍNDRES VELASQUEZ

ASESORADO POR EL MSC. ING. LUIS FERNANDO GUILLÉN FERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Aldo Ozaeta Santiago
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADORA	Inga. Rossana Margarita Castillo Rodríguez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE CON APLICACIÓN A LA NORMA
ISO 4406:17 EN LA PLANTA DE PASTAS DE UN MINA EXTRACTORA DE PLATA
EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 4 de agosto de 2018.

William Giovanni Colíndres Velasquez

AGS-MIMPP-010-2018

Guatemala, 11 de agosto de 2018.

Director
Juan José Peralta Dardón
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Presente..

Estimado Director:

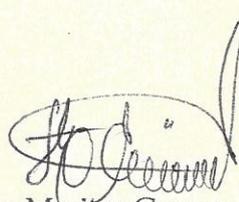
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **William Giovanni Colindres Velásquez** con carné número **200112643**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría de Ingeniería en Mantenimiento.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

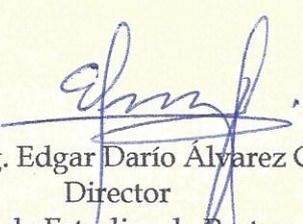
Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a todos"


MSc. Ing. Luis Fernando Guillen Fernández
Ing. Mec. Luis Fernando Guillen
Asesoría
M.A. INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
COLEGIADO No. 6109


Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola
Coordinadora de Área
Gestión y Servicios

ALBA MARITZA GUERRERO SPINOLA
INGENIERA INDUSTRIAL
COLEGIADA No. 4611


M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Cc. archivo/L.Z.L.A.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



REF.DIR.EMI.142.018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE CON APLICACIÓN A LA NORMA ISO 4406:17 EN LA PLANTA DE PASTAS DE UNA MINA EXTRACTORA DE PLATA EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **William Giovanni Colíndres Velasquez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Juan José Peralta Dardón
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2018.

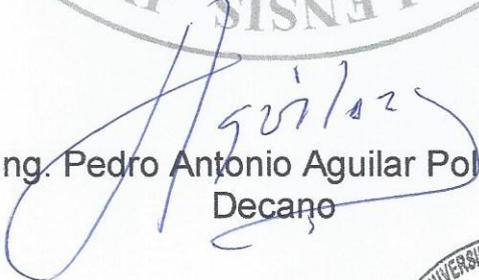


/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE CON APLICACIÓN A LA NORMA ISO 4406:17 EN LA PLANTA DE PASTAS DE UNA MINA EXTRACTORA DE PLATA EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **William Giovanni Colindres Velasquez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, Octubre de 2018

/edr

ACTO QUE DEDICO A:

Jesucristo

Por ser mi Señor y Salvador, por darme la vida, la sabiduría y la fuerza para culminar mi carrera, además de bendecirme con tantas cosas y personas maravillosas cada día.

Mi padre

César Colindres, por ser mi fuente de inspiración, ejemplo de superación y perseverancia. Gracias por heredarme tanta sabiduría.

Mi madre

Dora Velásquez, por ser mi apoyo incondicional, por su amor y comprensión. Por confiar en mí y ser la luz que ilumina mi camino.

Mis hijos

Michelle, Mateo y Sofía Colindres, quienes son mis pilares, a quienes les dedico este pequeño logro de mi vida y que sea ejemplo para sus años futuros. Gracias por venir a alegrar mi vida.

Mi amada

Licda. Stacey Barillas, gracias por apoyarme en mi trabajo de graduación, por esas noches de desvelo a mi lado, sin ti esto no hubiera sido posible. Gracias por estar en mi vida en el momento preciso.

Mis hermanos

Erick y Alfredo Colindres, por ser mi compañía y por todos esos momentos que hemos compartido, sé que puedo confiar en ustedes. Gracias por su apoyo incondicional.

Mis abuelos

Augusto Colindres y Felipe Velásquez (q.e.p.d), Rosalbina Morales y María Fermelisa Recinos, por su paciencia y amor.

Mis tíos y primos

Por su apoyo y cariño incondicional.

Mis amigos

Víctor Mejía, David García, Edson Villanueva, Osiel Girón y Kenia Toto, por compartir días de estudio y de desvelo, por ser parte de mi fortaleza y superación profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

Guatemala

Mí querido país que me ha visto crecer y convertirme en un profesional.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser la casa de estudios, que me ha brindado la formación académica y profesional. Gracias gloriosa y tricentenaria universidad.

Facultad de Ingeniería

Por proporcionarme los conocimientos necesarios en toda mi formación académica. Siempre pondré a mi Facultad en alto en cualquier parte del mundo.

Mis amigos de la Facultad

Con quienes viví una gran experiencia, llena de horas de estudio, pero también en donde pudimos compartir muchas aventuras y buenos momentos. Agradeceré siempre su apoyo y amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Pregunta general	10
3.2. Pregunta específica 1	10
3.3. Pregunta específica 2	11
3.4. Pregunta específica 3	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. Objetivo general	15
5.2. Objetivos específicos.....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	21

7.1.	Importancia de la función principal de unidad hidráulica para impulsar la pasta a túnel subterráneo en una mina extractora de plata en Guatemala	21
7.2.	Funcionamiento básico de la unidad hidráulica.....	22
7.2.1.	Unidad hidráulica.....	23
7.2.1.1.	Depósito hidráulico	23
7.2.1.2.	Unidad de potencia	24
7.2.1.3.	Bombas hidráulicas de desplazamiento positivo	24
7.2.1.4.	Cilindros hidráulicos	25
7.2.1.5.	Válvulas direccionales	26
7.2.1.6.	Filtros hidráulicos	26
7.2.1.7.	Mangueras hidráulicas	27
7.2.1.8.	Fluido hidráulico	28
7.3.	Mantenimiento.....	30
7.3.1.	Mantenimiento preventivo	31
7.3.2.	Mantenimiento correctivo	32
7.3.3.	Mantenimiento predictivo.....	33
7.4.	Análisis de aceite como herramienta de mantenimiento predictivo.....	34
7.5.	Parámetros de evaluación en análisis de aceite usado, basado en norma ISO 4406:17	37
7.6.	Equipo de medición para conteo de partículas.	39
7.7.	Limpieza de los fluidos requeridos para componentes hidráulicos típicos.....	40
7.8.	Equipos de sistema de filtración hidráulica	42
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	45

9.	METODOLOGÍA.....	47
9.1.	Tipo de Investigación.....	47
9.2.	Alcances de la investigación.....	47
9.3.	Diseño de investigación.....	47
9.4.	Variables cuantitativas.....	48
9.4.1.	Primer dígito 4µm	48
9.4.2.	Segundo dígito 6µm.....	48
9.4.3.	Tercer dígito 14µm.....	48
9.5.	Indicadores.....	48
9.6.	Fases de estudios	50
9.6.1.	Selección de la muestra	50
9.6.2.	Recolección de datos cuantitativos.....	50
9.6.3.	Análisis de datos cuantitativos.....	50
9.7.	Resultados esperados	50
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	51
10.1.	Gráfico circular	52
10.2.	Gráfico de barras.....	52
10.3.	Línea de tendencia	53
11.	CRONOGRAMA.....	55
12.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	57
12.1.	Recursos	57
12.1.1.	Recurso humano	57
12.1.2.	Recurso de material y equipo	58
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

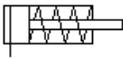
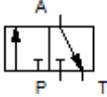
FIGURAS

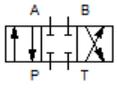
1.	Diagrama de flujo de protocolo de mantenimiento basado en el análisis de partículas en el aceite hidráulico	18
2.	Cilindros hidráulicos de unidad hidráulica	22
3.	Cilindros hidráulicos	25
4.	Ejemplo de tipos de válvulas direccionales, según sus vías y posiciones	26
5.	Diagrama básico de un sistema hidráulico, con cilindros de doble efecto con desplazamientos alternados	29
6.	Bomba de succión.....	36
7.	Contador de partículas lcount, marca Parker.....	40
8.	Fotografía microscópica de contaminación por partículas (Ampliación 100x Escala: 1 división = 20 micrones)	42
9.	Carro de filtración.....	43
10.	Cronograma de actividades	55

TABLAS

I.	Escala de números.....	38
II.	Niveles de limpieza de componentes hidráulicos típicos.....	41
III.	Indicadores.....	49
IV.	Recurso financiero	58

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
	Bomba hidráulica
	Cilindro de doble acción
	Cilindro de simple acción con muelle
	Depósito hidráulico
	Filtro hidráulico
	Manguera hidráulica
%	Porcentaje
μ	Prefijo micro, indica factor de 10^{-6}
Q	Quetzales
	Válvula direccional, de 2 vías y 2 posiciones
	Válvula direccional, de 3 vías y 2 posiciones



Válvula direccional, de 4 vías y 3 posiciones.

GLOSARIO

Aceite	Sustancia grasa de origen mineral, vegetal o animal, líquida, insoluble en agua, combustible y generalmente menos densa que el agua, que está constituida por ésteres de ácidos grasos o por hidrocarburos derivados del petróleo.
Aceite hidráulico	Líquidos transmisores de potencia que se utilizan para transformar, controlar y transmitir los esfuerzos mecánicos a través de una variación de presión o de flujo.
Actuador	Es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o actuar otro dispositivo mecánico.
Cilindros hidráulicos	Son mecanismos que constan de un cilindro dentro del cual se desplaza un émbolo o pistón, y que transforman la presión de un líquido, mayormente aceite, en energía mecánica.
Bar	Un bar es una unidad de presión, equivalente a un millón de barias, aproximadamente igual a una atmósfera.

Desgaste	Hace referencia a la pérdida de la estructura superficial de un material debido a una interacción constante y mecánica con una superficie o con un objeto.
Filtración	Efecto de filtrar.
Filtro	Materia porosa, a través de la cual se hace pasar un fluido para clarificarlo o depurarlo.
Fluido oleohidráulico	Transmite la potencia hidráulica producida por la bomba a uno o varios órganos receptores, al mismo tiempo que debe lubricar las piezas móviles y proteger al sistema de la corrosión, limpiar y enfriar o disipar el calor.
Fricción	Rozamiento entre dos cuerpos en contacto, uno de los cuales está inmóvil.
Hidráulica	Parte de la mecánica que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos.
HP	Por sus siglas en inglés (<i>horsepower</i>) unidad de medias de potencia.
Humedad relativa	Relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener.

ISO	Sigla de la expresión en inglés International Organization for Standardization, Organización Internacional de Estandarización, sistema de normalización internacional para productos de áreas diversas.
Lubricante	Sustancia grasa o aceitosa que se aplica a las piezas de un engranaje para que el rozamiento sea menos o más suave.
Mantenimiento	Conservación de una cosa en buen estado o en una situación determinada para evitar su degradación.
Micrón	Es una unidad de medida que representa la milésima porción del milímetro, o sea 0,001 mm, o referido al metro, su millonésima porción.
Mililitro	Medida de volumen, de símbolo ml, que es igual a la milésima parte de un litro.
Mina subterránea	Es aquella explotación de recursos mineros que se desarrolla por debajo de la superficie del terreno.
Oleohidraulica	Refiere a fluidos derivados básicamente del petróleo como, por ejemplo, el aceite mineral. En esencia, la oleohidráulica es la técnica aplicada a la transmisión de potencia mediante fluidos incompresibles confinados.

Partícula

Parte muy pequeña de alguna cosa.

Tribología

Es la ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación que tienen lugar durante el contacto entre superficies sólidas en movimiento.

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realizará en una industria minera de extracción de plata en Guatemala, la cual opera desde enero de 2014, para la extracción de plata, plomo y zinc, entre otros.

La mina es subterránea, de la cual se extraen los minerales esperados. Lo que no tiene ningún valor es regresado al túnel bajo un proceso de mezclado con cemento, el cual se conoce como pasta, la cual es enviada al túnel a través de un sistema de impulsión por bombeo hidráulico. La unidad hidráulica que impulsa la pasta cuenta con un sistema de bombeo hidráulico a través de dos cilindros secuenciales. La unidad cuenta con un sistema de filtración hidráulica para retener partículas y filtros para humedad.

Actualmente no se cuenta con un mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite. La situación en la cual está operando se encuentra expuesta a contaminación por partículas del ambiente de trabajo y las que se liberan por el desgaste entre componentes mecánicos que conforman la unidad hidráulica.

En un análisis se puede medir la cantidad y tamaño de partículas según la norma ISO 4406:17 para evitar fallas prematuras por el alto índice de contaminación. El enfoque del estudio será una innovación a la unidad hidráulica que utiliza la mina subterránea. Mediante la técnica de mantenimiento predictivo, basado en análisis de aceite, utilizando el analizador de muestras Icount (IOS) marca Parker, se puede obtener información de la condición instantánea del aceite hidráulico. Los datos obtenidos brindan la información necesaria para tomar la decisión de reemplazar, filtrar o no filtrar el aceite, para

evitar daños prematuros en la unidad hidráulica y evitar interrupciones de la producción. El resultado esperado es obtener un control de la contaminación del aceite de la unidad hidráulica y, como beneficio, reducir problemas con un sistema de mantenimiento predictivo.

Para la factibilidad del proyecto de mantenimiento predictivo se cuenta con los recursos básicos necesarios (disponibilidad de tiempo por parte de personal de mantenimiento, información técnica de la unidad hidráulica, analizador de muestras, carro de filtración y equipo de cómputo) para la implementación del sistema.

La investigación se iniciará efectuando una evaluación general de la situación actual de la unidad, seguidamente, el método de muestreo, para luego formular la planificación de los registros de los parámetros que se deben evaluar y establecer los procedimientos para un mantenimiento predictivo.

El estudio está estructurado bajo un marco teórico de cuatro capítulos, los cuales se describen brevemente a continuación:

- Capítulo 1

El marco teórico detalla brevemente la importancia del papel que juega la unidad hidráulica en la planta de pastas en una mina subterránea de extracción de plata en Guatemala. Incluye el funcionamiento básico general y los componentes típicos que conforman la unidad. Además el tipo de mantenimiento que se aplicará en el estudio, tipo de equipo para el análisis de aceite con aplicación a la norma ISO 4006:17 y la filtración fuera de línea.

- Capítulo 2

Este capítulo describirá la metodología de la investigación, así como el método de muestreo. También incluirá la interpretación de los resultados por el analizador de partículas y los parámetros para establecer la frecuencia de toma de datos.

- Capítulo 3

El capítulo tres contempla la interpretación de los resultados estadísticos, basados en los historiales de las muestras obtenidas, así como la tendencia de los resultados.

- Capítulo 4

En este capítulo se discuten los resultados y se propone la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo basado en el análisis en el aceite de la unidad hidráulica en la planta de pastas en una mina subterránea extractora de plata en Guatemala.

2. ANTECEDENTES

En el año 2015 la empresa minera guatemalteca ubicada en el Departamento de Santa Rosa invirtió más de diez millones de quetzales en reemplazar una de las dos unidades hidráulicas. La causa principal fue la contaminación del aceite hidráulico, confirmado por los fabricantes de la unidad hidráulica, la cual es de la marca Putzmeister, de procedencia alemana.

El autor de la investigación es uno de los espectadores de los resultados del análisis.

El tiempo para reemplazar la unidad hidráulica, desde su solicitud hasta su instalación, fue de aproximadamente cinco meses, lo cual impactó gravemente en la producción de la mina, debido a la limitación para impulsar la pasta hacia el túnel. Por tal razón es de suma importancia el análisis de aceite, ya que es una herramienta eficaz para predecir fallas en mecanismos hidráulicos.

La revista guatemalteca *Maquinaria y Petróleo* (2016), refiere que la contaminación en el aceite es una de las fallas principales en los sistemas hidráulicos. Según experiencias de los diseñadores y usuarios de equipos hidráulicos y lubricación, se ha podido determinar que más del 75 % de todas las fallas es un resultado directo de la contaminación.

Girón (2017) comenta que, entre los guardacostas que están ubicados en el comando naval del pacífico de las costas guatemaltecas, uno de los buques que se utiliza para patrullaje en alta mar ha presentado diversas fallas, por lo cual crea una técnica de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite

usado. Esta técnica le permite, mediante la interpretación de resultados, que el personal de mantenimiento pueda tomar decisiones previsoras antes de que ocurra una falla catastrófica. También le permite determinar las tendencias que presenta el equipo para brindarle un mantenimiento específico, pero este estudio de análisis de aceite no está basado en la norma ISO 4406:17, por lo cual el método difiere al que se realizará en esta investigación.

Carrión (2007) comenta que en estudios realizados en empresas europeas que muestran la implementación conjunta de los sistemas de monitoreos, se encontró que el análisis de aceite fue responsable de la detección de 40 % de los defectos, el análisis de vibración de el 33 % y entre ambas técnicas el 27 % restante de los defectos detectados. La pérdida de la eficiencia de cada tecnología reduce la resolución de detecciones y su habilidad para controlar las causas de fallas en maquinarias.

Ledesma (2015) indica que la técnica de análisis de aceite como herramienta predictiva estadísticamente prueba que el 75 al 85 % de todas las fallas en sistemas hidráulicos son resultado directo de la contaminación del fluido. Esto se implementa con el propósito de contar con una metodología que permita identificar los componentes de desgaste en la excavadora hidráulica, antes de llegar a la falla. Este método de análisis de aceite también difiere del que se propone en este estudio..

Noria (2013) expone el siguiente caso: un ingenio azucarero estaba operando una flota de más de 20 cosechadoras de caña de azúcar. El nivel de limpieza típico de la transmisión hidrostática de la máquina era ISO */22/20, y estaba sufriendo fallas recurrentes en las bombas: un promedio de tres bombas por máquina, por temporada (zafra).

El ingenio contrató a una empresa local de ingeniería hidráulica para investigar las fallas recurrentes de la bomba. Esta recomendó un cambio en la especificación de los motores de accionamiento hidráulico y mejorar la filtración.

Se modificó una máquina como prototipo y después de mostrar resultados prometedores se modificaron dos máquinas más en la primera zafra. El código de limpieza ISO en las tres máquinas modificadas fue de */18/15 o mejor.

Para el cuarto año se habían modificado 15 máquinas, el ingenio azucarero ahora estaba cambiando una bomba de pistones variables por máquina cada tres zafras, las bombas ahora tenían una vida 9 veces mayor que antes. Provisto con esta información, el ingenio convenció al fabricante de las cosechadoras para que incorporara el mismo diseño de filtración implementado en fábrica para la transmisión y el sistema hidráulico.

En este último caso estudiado, el análisis de aceite se basa en aplicación de la norma ISO 4406:17, pero no precisamente para una unidad hidráulica de una mina extractora de plata.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la unidad hidráulica que se encarga de impulsar la pasta hacia el túnel solo cuenta con mantenimiento preventivo, descrito por el manual del usuario y en su defecto algún mantenimiento correctivo. Para el año 2017 la empresa minera, al no contar con un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite, con base en experiencias de fallas en componentes hidráulicos, puede incrementar la probabilidad de:

- Reducir la eficiencia de los equipos debido a la contaminación.
- Paros innecesarios por piezas mecánicas dañadas, que se deben reemplazar.
- Costos elevados en mantenimiento correctivo, debido a que se debe contratar personal especializado para su rehabilitación.
- Pérdidas económicas por falta de producción, ya que no es posible bombear pasta al túnel.
- Tiempo de ocio por falta de repuestos en el departamento de mantenimiento, ya que todos los componentes son de procedencia alemana.

La contaminación es la mayor causante de fallas en cualquier elemento mecánico lubricado. Un control efectivo y eficiente del desgaste se consigue controlando los elementos contaminantes presentes en el aceite. Con base en

los antecedentes se puede concluir que más del 70 % de las fallas de los sistemas hidráulicos están correlacionados con la contaminación por partículas.

Las partículas disueltas en el aceite hidráulico aumentan la fricción, desgaste de los componentes, reducen la lubricación efectiva del sistema y las funciones principales del lubricante. Es necesario crear un plan para el control de la contaminación del aceite lubricante y reducir las fallas en los componentes que actúan para el buen desempeño de la unidad hidráulica de la mina extractora de plata en Guatemala.

No es posible estar preparado para una falla en un equipo sin un sistema de mantenimiento predictivo, que como consecuencia impactará negativamente en la producción de la mina, por tal razón es importante realizar este tipo investigación, con el objetivo de responder a la pregunta principal, planteada de la siguiente manera:

3.1. Pregunta general

¿Qué sistema de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite hidráulico por contaminación se debe implementar en la unidad hidráulica de la planta de pastas de la mina subterránea extractora de plata en Guatemala?

Para proceder con el planteamiento del problema, se formulan las siguientes preguntas:

3.2. Pregunta específica1

¿La obtención de los datos históricos de la unidad hidráulica de la planta de pastas de la mina subterránea extractora de plata podrá brindar un estado

general de los mantenimientos preventivos y correctivos que se le han realizado?

3.3. Pregunta específica 2

¿La obtención periódica de los datos de la unidad hidráulica podrá brindar información acerca de la condición actual en la que se encuentra?

3.4. Pregunta específica 3

¿La interpretación del análisis de aceite aplicado a la unidad hidráulica podrá brindar resultados útiles como herramientas de mantenimiento predictivo?

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación tiene la integración con la línea de investigación de normas internacionales de mantenimiento, de la maestría en ingeniería de mantenimiento. Se tiene como fin la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en analizar muestras de aceite, con aplicación de la norma ISO 4406:17 en una unidad hidráulica, en una mina subterránea de extracción de plata en Guatemala.

A través de los temas que se desarrollaron en la maestría se aplicará dentro de la investigación también la tribología aplicada, que brinda una herramienta necesaria para analizar muestras de aceite hidráulico. Así mismo, se usará el curso de seminario de mantenimiento predictivo, ya que el monitoreo de condición es una técnica actual en la que se puede evaluar la condición instantánea del equipo, para tomar una decisión correspondiente con relación a los datos obtenidos, para lo cual se necesitan equipos de alta tecnología.

Analizar partículas en aceite hidráulico con equipo especial brinda información del estado actual de la contaminación del aceite en la maquinaria, y de esta forma se puede comparar los parámetros establecidos en la normas ISO 4406:17. La finalidad de todas las líneas de investigación aplicadas en este tema es resguardar los componentes críticos de la unidad hidráulica. Con estas bases se puede tomar la decisión de filtrar el aceite, hasta llegar al tamaño de la partícula requerida, y así poder mantener la limpieza para evitar fallas por contaminación.

Para iniciar la investigación se evaluarán y clasificarán los componentes críticos e importantes a resguardar en el sistema, basados en la limpieza que debe tener el aceite lubricante y que están sujetos a la norma ISO 4406:17, para así mismo establecer el procedimiento para ejecutar el mantenimiento predictivo.

Es necesario establecer un plan de mantenimiento predictivo, puesto que asegura la disponibilidad de la unidad hidráulica en lo que corresponde a la parte de análisis de aceite. El análisis de aceite es un aliado natural en el logro de la confiabilidad de la maquinaria hidráulica. Ofrece fortalezas complementarias en el control de las causas de falla de la maquinaria hidráulica, en la identificación y comprensión de la naturaleza de las condiciones anormales.

El éxito depende de lograr cambios en las organizaciones, para poder desarrollar un monitoreo de condición y dejar el diagnóstico en manos de personas de mantenimiento y con esto poder entregar las herramientas para llevar a cabo un análisis más completo del equipo hidráulico. Además se incrementa la confiabilidad del mantenimiento desarrollado y se logra aumentar el rendimiento y disminuir la posibilidad de detener el proceso de producción, según Llaña (2007).

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite con aplicación de la norma ISO 4406:17 para la unidad hidráulica de la planta de pastas de una mina subterránea extractora de plata en Guatemala.

5.2. Objetivos específicos

- Obtener un historial y fichas técnicas de mantenimiento de la unidad a hidráulica, a partir de la última reparación mayor.
- Durante tres meses continuos, una vez a la semana, realizar toma de muestras de aceite de la unidad hidráulica, para determinar el estado actual en el que se encuentra.
- Determinar los beneficios que tiene la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo, con base en el análisis de aceite con aplicación de la norma ISO 4406:17.

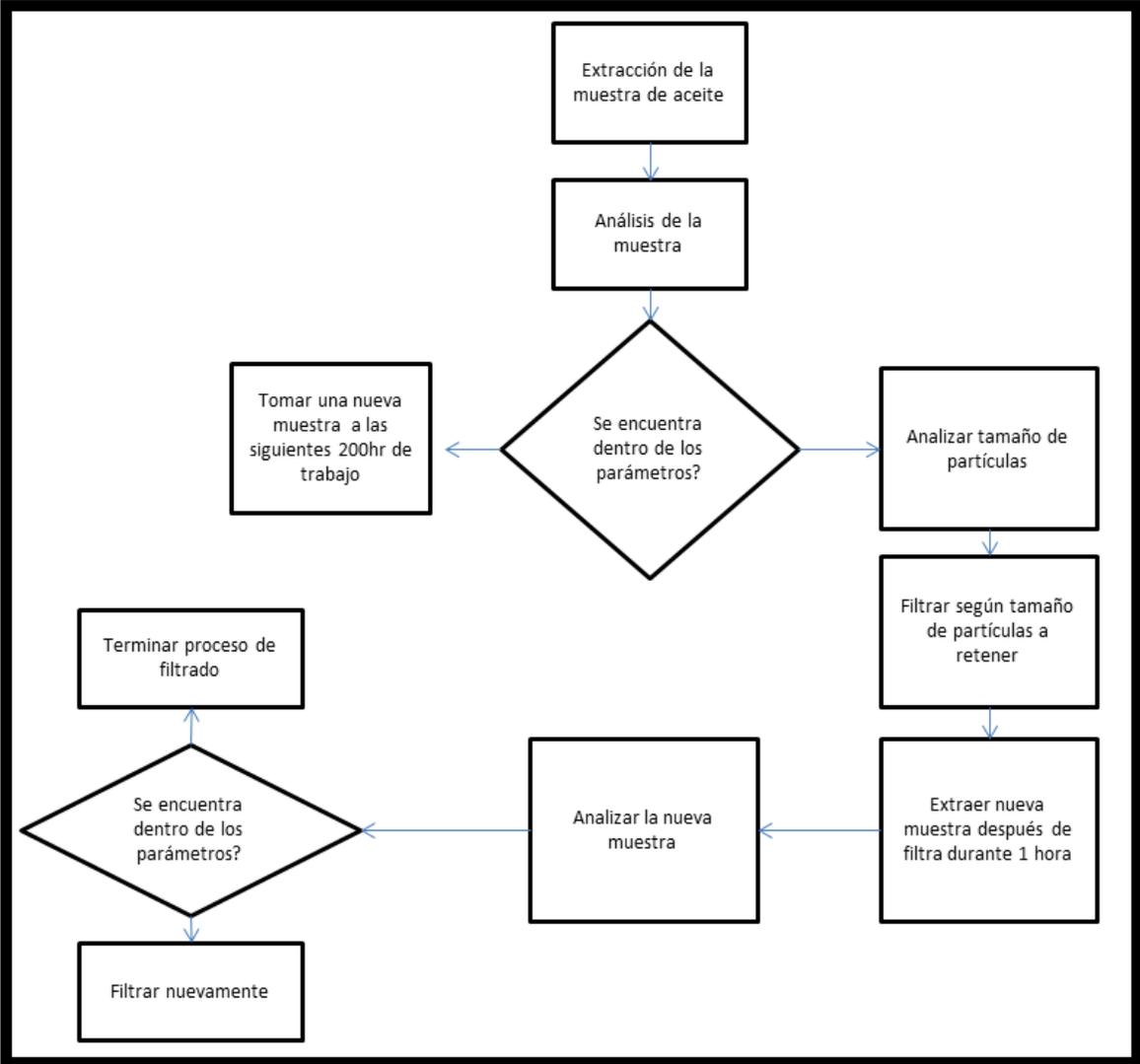
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Proponer las mejoras, con base en los resultados obtenidos con el analizador Parker *Icount*, aplicando la norma ISO 4406:17, bajo un sistema de implementación de mantenimiento predictivo, para la unidad hidráulica de la planta de pastas de una mina subterránea de extracción de plata en Guatemala.

La necesidad es la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite que está conformado de un analizador de muestras de aceite *icount*, de la marca Parker. El analizador es un equipo portátil para el control de la contaminación en sistemas de aceite hidráulico, el cual tiene dos métodos de selección de monitoreo: ISO 4406:17 y NAS1638, pero en este caso se realizará el estudio basado en la norma ISO4406:17. El analizador es un instrumento portátil para análisis sencillo, rápido y con facilidad.

El plan de mantenimiento predictivo, basado en análisis de aceite, tiene como fin controlar la limpieza, bajo el monitoreo de partículas, para la toma de decisión del filtrado del aceite y mantener los requerimientos que establece la norma ISO4406:17. Consecuentemente se podrá reducir fallas en los componentes hidráulicos, como también mantener la eficiencia de la maquinaria, evitar paros innecesarios y pérdidas económicas en la producción.

Figura 1. Diagrama de flujo de protocolo de mantenimiento basado en el análisis de partículas en el aceite hidráulico



Fuente: elaboración propia.

El primer paso es tomar la muestra del aceite hidráulico, siendo esta desde el reservorio, cuando la unidad hidráulica se encuentra en operación, ya que las partículas se encuentra dispersas. Luego el analizador muestra el

código ISO para conteo de partículas, con esta información se verifica si está dentro de los parámetros.

Si la muestra obtenida está dentro de los parámetros, se extraerá una segunda muestra luego de operar doscientas horas; si no está dentro de los parámetros se procede a evaluar qué tamaño de partícula está fuera del requerimiento, siendo estas 4 μm , 6 μm o 14 μm . Del resultado dependerá el filtro que se debe colocar fuera de línea, con un carro filtrador que estará operando durante una hora.

Luego se toma una nueva muestra para verificar si el código ISO llegó a lo requerido, de no ser así se debe filtrar por intervalos de una hora, hasta llegar a lo que requiere la unidad hidráulica.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Importancia de la función principal de la unidad hidráulica para impulsar la pasta a túnel subterráneo en una mina extractora de plata en Guatemala

La mina subterránea extrae los materiales a través de túneles con varias ramificaciones, lo que a su vez hace que toda la mina se quede con túneles vacíos de donde se han extraído los materiales. Muchos de los materiales extraídos no son de utilidad, por lo que se vuelve necesario ingresarlos de nuevo para rellenar los túneles.

Los materiales que no tienen ninguna utilidad se mezclan con cemento y algunos otros componentes para formar lo que se conoce como pasta, esta debe de ser impulsada por tuberías al túnel, donde dentro de él se distribuye en ramificaciones, para así rellenar los que ya no son de utilidad.

La pasta es recibida desde otro departamento donde se procesa para ser enviada a la planta de pastas, donde es enviada a presión desde la unidad hidráulica por una tubería principal. La unidad hidráulica es la parte principal y una de las más importantes de este departamento, sin un funcionamiento óptimo retrasa la producción de la mina. Esto derivado de la acumulación del material sin utilizar en el espacio de almacenamiento y deja de ser enviada la pasta hacia los túneles.

La importancia de la disponibilidad de la unidad hidráulica y su buen desempeño es un factor importante que debe mantener el departamento de

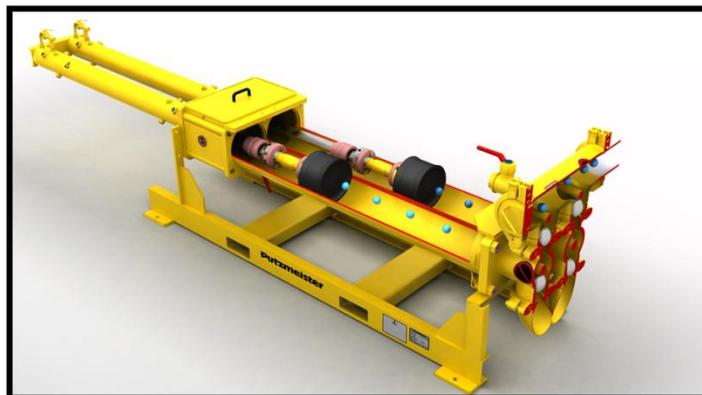
planta de pasta de la mina extractora de plata. Para mantener su capacidad de producción debe operar las 24 horas del día, durante los 365 días del año.

7.2. Funcionamiento básico de la unidad hidráulica

El objetivo principal de la unidad hidráulica es impulsar la pasta a través de dos cilindros hidráulicos que funcionan alternativamente para mantener un flujo continuo y constante de suministro de pasta para toda la tubería principal de distribución. Para que esto sea efectivo la energía hidráulica que proporciona la unidad hidráulica debe ser capaz de impulsar la pasta en toda la longitud de la tubería, hasta el punto donde es recibida.

La unidad hidráulica está conformada por dos bombas de pistones axiales, ancladas a un mismo eje de un motor eléctrico de 75HP. Ambas bombas son las que mantienen a los dos cilindros trabajando alternativamente (ver figura 2) y controlados por electroválvulas, por tal razón las bombas hidráulicas son uno de los componentes críticos a resguardar en la unidad hidráulica.

Figura 2. **Cilindros hidráulicos de unidad hidráulica**



Fuente: Putzmeister (2017).

El sistema hidráulico utiliza dos cilindros hidráulicos de doble efecto, los cuales tienen como función alternarse en la misma dirección, para succionar la pasta desde el depósito cuando se contrae hacia adentro y expulsarla hacia la tubería cuando se desplaza hacia afuera.

La unidad es controlada por un sistema automatizado electrónicamente, para que el flujo de la pasta sea continuo, también es monitoreada por el personal desde una cabina de control, equipada con cámaras de vídeo y sensores para supervisar que trabaje apropiadamente.

7.2.1. Unidad hidráulica

Zamora (2016) refiere que “con carácter general, puede decirse que una máquina de fluido es un sistema mecánico que intercambia energía mecánica con un fluido que está contenido o que circula a través de él” (p. 2). Es una estación productora de caudal y presión, compuesta por varios componentes que dependerán de su aplicación. Una unidad de potencia básica está formada por un depósito o reservorio, bomba, cilindros, válvulas direccionales, filtros hidráulicos, mangueras y fluido hidráulico.

A continuación se describen los componentes básicos de una unidad hidráulica:

7.2.1.1. Depósito hidráulico

De las Heras (2011) describe “los depósitos son imprescindibles en todas las instalaciones hidráulicas, pues almacenan el aceite del sistema” (p. 369).

El depósito es el recipiente o contenedor que tiene la capacidad de almacenar el fluido hidráulico del sistema. Se compone de un tapón de llenado, un indicador de nivel y respiradero. En algunos casos también de una placa deflectora para separar el aceite que regresa al sistema y evitar que la turbulencia del fluido sea succionada.

El depósito en un diagrama hidráulico se representa con el siguiente símbolo:



7.2.1.2. Unidad de potencia

Las unidades de potencia de un sistema hidráulico son las encargadas de convertir la energía mecánica, neumática o eléctrica en energía hidráulica.

7.2.1.3. Bombas hidráulicas de desplazamiento positivo

Zamora (2016) detalla que “las bombas de desplazamiento positivo pueden ser de paletas deslizantes, externa de engranajes, interna de engranajes, de embolo, de lóbulos, de tornillo, de tubo flexible, etcétera” (p.282)

Es el elemento mecánico encargado de producir un caudal y generar una presión en un sistema hidráulico. Generalmente pueden ser de engranajes,

pistones, paletas, tornillo, centrifugas, peristálticas o de ariete, y se describen con el siguiente símbolo:

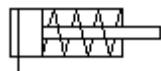


7.2.1.4. Cilindros hidráulicos

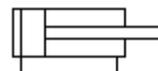
Creus (2007) define que “los actuadores hidráulicos, que son los más usuales y de mayor antigüedad en las instalaciones hidráulicas, pueden ser clasificados de acuerdo con la forma de operación, y aprovechan la energía de un circuito o instalación hidráulica de forma mecánica, generando movimientos lineales” (p.157). Es un mecanismo formado de un cilindro dentro del cual se desplaza un pistón para convertir la energía hidráulica en energía mecánica.

Se utilizan para dar fuerza a través de un recorrido lineal, pueden ser de simple acción, ya que su retorno es a través de un muelle, y doble acción cuando el circuito hidráulico puede actuar en ambos sentidos según se seleccione (ver figura 3). Su simbología es la siguiente:

Figura 3. Cilindros hidráulicos



Simple acción



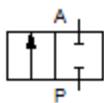
Doble acción

Fuente: elaboración propia.

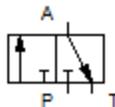
7.2.1.5. Válvulas direccionales

Creus (2007) expone lo siguiente: “las válvulas o distribuidoras o de control direccional se utilizan para cambiar el sentido del flujo de aceite dentro del cilindro y mover el pistón de un extremo al otro de su carrera” (p.167). Están formadas por un cuerpo con pasajes internos que dirigen el fluido en recorridos para las cuales fueron diseñadas. Pueden estar construidas con varios puertos y posiciones para su selección de trabajo, están limitadas por el caudal y presión de trabajo, a continuación se describen algunos tipos:

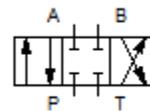
Figura 4. **Ejemplo de tipos de válvulas direccionales, según sus vías y posiciones**



2 vías / 2 posiciones



3 vías / 2 posiciones



4 vías / 2 posiciones

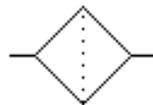
Fuente: elaboración propia.

7.2.1.6. Filtros hidráulicos

De las Heras (2011) describe que “los sistemas hidráulicos han de permanecer limpios y saneados para que su funcionamiento sea más eficiente y se alargue su vida útil” (p. 371). Los filtros hidráulicos son los riñones del sistema hidráulico, son encargados de purificar el fluido y deben ser colocados en puntos estratégicos para su efectividad. Algunos se colocan en la succión

para evitar que ingrese fluido contaminado a la bomba, en el retorno para eliminar las partículas por desgaste del sistema y en los filtros de presión que se instalan en la línea principal del sistema.

Se representan en un diagrama hidráulico con el siguiente símbolo:



7.2.1.7. Mangueras hidráulicas

De las Heras (2011) describe que “las mangueras son conductos flexibles, constituidos por diferentes capas de material elastómeros (SRT) o termoplásticos (TPT), reforzadas con capas de malla de acero y acabadas con una capa exterior protectora de goma o plástico” (p. 395). Son tubos flexibles capaces de transportar fluidos, también son considerados fusibles cuando existe una sobrecarga de presión en el sistema hidráulico.

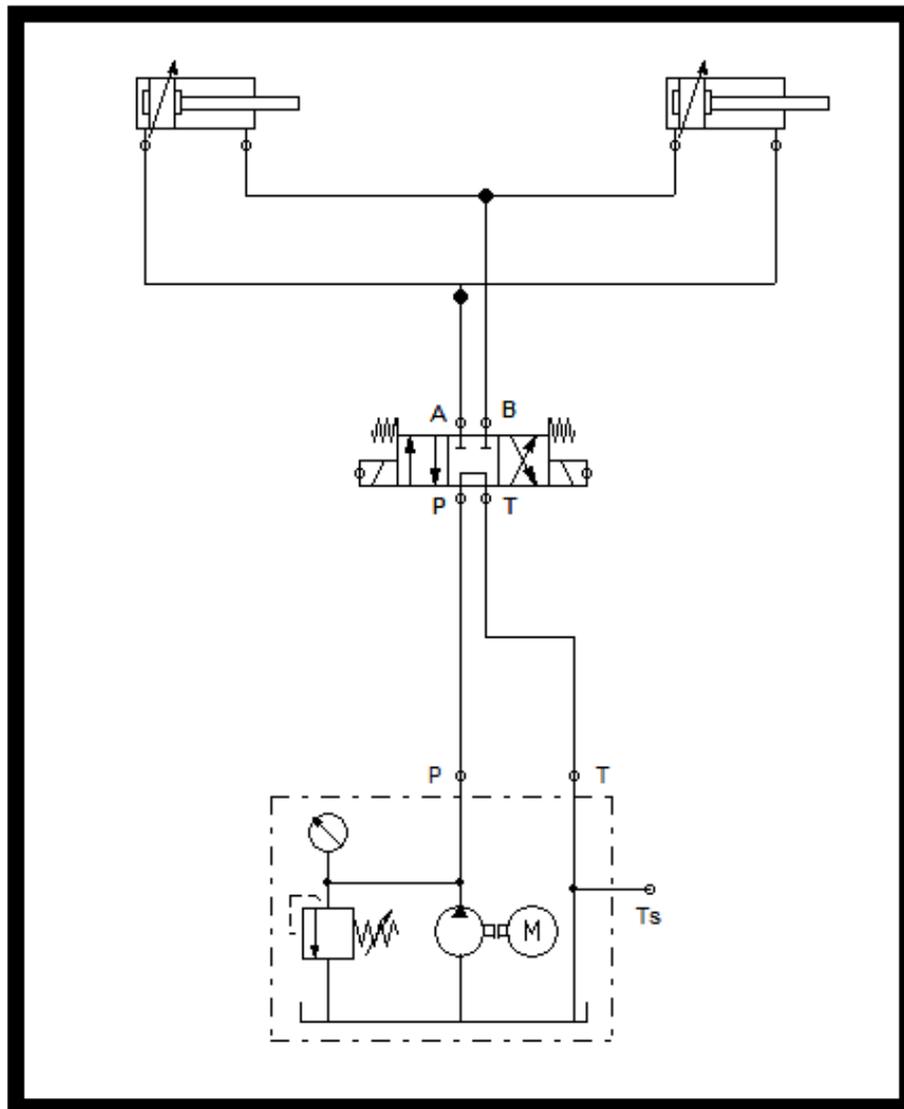
Las mangueras son capaces de absorber elevaciones de presión y se clasifican por la cantidad y tipo de refuerzo. Su símbolo en un diagrama hidráulico es:



7.2.1.8. Fluido hidráulico

De las Heras (2011) define que “la selección y el cuidado del fluido oleohidráulico son primordiales para el buen funcionamiento y la duración de los componentes oleohidráulicos” (p. 353). Es utilizado como medio de transmisión de la energía en un sistema hidráulico y pueden ser clasificados principalmente por su viscosidad y aditivos, que dependerán de su aplicación.

Figura 5. **Diagrama básico de un sistema hidráulico, con cilindros de doble efecto con desplazamientos alternados**



Fuente: elaboración propia, empleando FluidSIM.

7.3. Mantenimiento

Se define habitualmente como mantenimiento al conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento posible. (García, 2003).

Por su parte Urrutia (2016) comenta lo siguiente: “por mantenimiento se entiende básicamente cambio de aceite, filtros y revisión de niveles, podemos agregar en algunos casos cambio de fajas, ajuste de tren delantero etc.” (p.12).

Entretanto, Conde (2010) manifiesta que “históricamente el principal objetivo de mantenimiento ha sido mantener las máquinas en marcha” (p. 33).

Como en toda industria, la maquinaria involucrada en la producción debe estar disponible el mayor tiempo posible en operación, por lo cual es importante predecir fallas y estar preparado ante cualquier eventualidad de un paro operacional. Muchas veces es impredecible cualquier falla que conforma la maquinaria de producción.

Existen diferentes tipos de mantenimientos que se utilizan en la industria, de los cuales se puede mencionar el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo. Sin embargo, en la actualidad la tecnología ha llevado a las nuevas tendencias de mantenimiento y tiene más uso el basado en la condición del equipo, conocido como mantenimiento predictivo.

7.3.1. Mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento se basa principalmente en realizar procedimientos y actividades específicas que indica el fabricante de la maquinaria y se llevan a cabo de forma programada, para mantener un perfecto estado de operación basado en tiempos de operación, recorrido, etc. Se respalda principalmente en las inspecciones VOSO, el cual se basa en todos los repuestos consumibles, como filtros, lubricantes, sellos, empaques, fajas.

Este tipo de mantenimiento es muy importante, ya que periódicamente se reemplaza el aceite sucio, filtros y se limpia al agregar aceite nuevo. También se puede considerar que es un mantenimiento a ciegas, porque se podría estar reemplazando aceite y filtros que aun pudieran estar en buenas condiciones, generando gastos innecesarios.

Marrero (2010) menciona que el mantenimiento preventivo es el más conocido de todos. Es el que se viene a la mente cuando se nombra el mantenimiento. Este se convierte en una labor rutinaria. Conviene destacar que la personalización del mantenimiento preventivo nunca debe suponer disminuir las actuaciones especificadas en los protocolos del fabricante, sino solamente matizarlas y adaptarlas a las circunstancias particulares del sistema (p. 66).

Por otra parte, Urrutia (2016) indica: “el mantenimiento preventivo es el que se lleva a cabo de forma programada. Cada cierto tiempo (horas, kilómetros o meses) se cambia el aceite, se cambian filtros y se hace una inspección de fajas, niveles, estado general de los componentes de la máquina, etc.” (p.12).

Así también, Garrido (2010) describe que “el mantenimiento preventivo tiene la misión de mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno” (p.17). Por tal razón es posible deducir que este tipo de mantenimiento se realiza con base en especificaciones de los fabricantes.

Sin embargo, aunque se sigan los procedimientos de un mantenimiento preventivo descrito por el fabricante, no se garantiza una falla prematura de los equipos en un momento determinado.

El mantenimiento preventivo es el único aplicado en la actualidad a la unidad hidráulica, desde que la mina se encuentra en operaciones, acompañada del mantenimiento correctivo al momento de ocurrir una falla trágica.

7.3.2. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo consiste en la reparación que se ejecuta en el momento que se produce la falla, ocasionando que los equipos queden fuera de operación. Se considera el primer mantenimiento más común en todo el mundo, regularmente está basado en que la máquina siga funcionando hasta que falle, ya que no se tiene un plan programado, o bien se sabe que se tiene que hacer un mantenimiento pero no el adecuado.

En el 2003, García indicó que el mantenimiento correctivo es el conjunto de tareas destinadas a corregir las fallas que se presentan en los distintos equipos y que son comunicadas al departamento de mantenimiento por los usuarios de estos.

El mantenimiento correctivo consiste en la reparación que se realiza en el momento que ocurre una falla, produciendo que la maquinaria quede fuera de servicio (Girón, 2017).

Por su parte, Urrutia (2016) lo llama mantenimiento reactivo y es el primer tipo de mantenimiento más común en todo el mundo, ya que en la mayoría de casos la máquina se deja funcionar hasta que falle y no se tiene un plan programado.

El mantenimiento correctivo también es un mantenimiento muy costoso, sobre todo en las plantas de producción. Este tipo de mantenimiento ocasiona paros en toda la línea de producción y más aún si no se cuenta con el repuesto que se debe reemplazar por una falla inesperada.

7.3.3. Mantenimiento predictivo

Es una técnica de ensayos no destructivos que se realiza sobre la maquinaria o equipo, para determinar la condición actual en la que se encuentra y de esa manera poder determinar el procedimiento a realizar para renovar su estado.

García (2003) indica que el mantenimiento predictivo utiliza herramientas adicionales al cambio de filtros y aceite, de las cuales se puede mencionar el análisis de aceite, termografía, radiografía, análisis de vibraciones para predecir fallas o evitar que progrese y tenga una falla total (p.12). Por su parte, Ledesma (2015) menciona que el mantenimiento predictivo es una estrategia de mantenimiento avanzado en los últimos años, que está enfocado en los síntomas de fallas. Utilizando las distintas técnicas, como análisis de aceite,

vibraciones, ensayos no destructivos, así como las radiografías, ultrasonido, termografía, etc., permite detectar los síntomas del inicio de la falla.

Mientras tanto, Urrutia (2016) comenta que “el mantenimiento predictivo ya utiliza herramientas adicionales al cambio de aceite y filtros. Se puede mencionar análisis de aceite, termografía, vibraciones, etc.” (p.12).

En la actualidad el mantenimiento predictivo es una herramienta adecuada para orientar su labor a incrementar la disponibilidad y fiabilidad de los equipos.

Determina el estado en el que se encuentra un equipo en un momento determinado, puesto que la tecnología ha traído consigo la información en el instante de la evolución. Un equipo también puede ser monitoreado a distancia, en tiempo real.

La práctica del mantenimiento predictivo orienta su labor a incrementar la disponibilidad y fiabilidad de los equipos, por tal razón el presente trabajo está enfocado directamente en el análisis de aceite en la unidad hidráulica de la planta de pasta para una mina extractora de plata en Guatemala.

7.4. Análisis de aceite como herramienta de mantenimiento predictivo

La técnica de análisis de aceite permite analizar muestras obtenidas en el instante de adquirir un estado actual de los equipos y las condiciones en las que se encuentra operando. Existen diferentes tipos de análisis de aceite, como por ejemplo aceite lubricante para motores de combustión interna, maquinaria hidráulica, componentes hidráulicos, etc. Se pueden clasificar según sus características químicas, físicas y de contaminación.

El análisis de aceite usado de la maquinaria, mediante toma de muestras, determina la condición actual en la que se encuentran funcionando, evitando con ello llegar al punto de una falla infortunada, mediante un plan de paro proyectado.

Girón (2017) indica que la degradación de un aceite puede determinarse midiendo los parámetros de viscosidad, número básico total, número de acidez total y detergencia. Mientras que la contaminación se determina midiendo la cantidad de partículas de metales de desgaste que se encuentran disueltas en el aceite, cantidad de agua y humedad relativa.

Por otro lado, Guillén (2007) señala que el análisis de aceite permite detectar tendencias en el desgaste de los componentes del equipo, así como el estado del aceite, para optimizar los períodos de cambio. Urrutia (2016) menciona la importancia del personal a cargo del mantenimiento, ya que debe estar entrenado y debe ser involucrado en las nuevas tecnologías de filtración y muestreo para incrementar la confiabilidad de la máquina.

El entrenamiento del operador es básico para que se pueda adaptar a mejores maneras de operar una máquina que ha sido rediseñada en sus sistemas de filtración, muestreo y enfriamiento (p.11). Es de mucha importancia tomar en cuenta los siguientes factores: equipos de medición y puntos a monitoreo, tiempo de respuesta de los resultados, manejo e interpretación de los resultados obtenidos. Si alguno de estos factores falla, el análisis pierde su finalidad.

Una muestra de aceite precisará de los resultados de la técnica o herramienta que se utilice para su evaluación, obtención y transporte. Existen

diferentes maneras de obtener una muestra de aceite; se puede utilizar una bomba de succión, como se muestra en la figura 6:

Figura 6. **Bomba de succión**



Fuente: elaboración propia.

Al concordar con los autores antes mencionados, la técnica de análisis de aceite usado en la maquinaria refleja el estado en el que se encuentra el aceite lubricante.

Se puede concluir, con base en las referencias de los anteriores autores, la correlación que existe entre la contaminación y el incremento de la falla de los componentes internos y que aún no son catastróficos. Esto permite que el personal de mantenimiento pueda pronosticar fallas, preparar la reparación y evitar paros en la producción.

7.5. Parámetros de evaluación en análisis de aceite usado con base en norma ISO 4406:17

Existen diferentes tipos de normas aplicadas a los análisis de aceite, como la ISO 11500 y la ISO4406, esta última se analizará en este informe.

La norma ISO 4406:17 es la última versión. Especifica el código que se debe utilizar para definir la cantidad de partículas sólidas en el fluido utilizado en un sistema de potencia de fluido hidráulico dado. El objetivo de este código es simplificar el informe de los datos de recuento de partículas, convirtiendo la cantidad de partículas en códigos amplios, donde un aumento de un código generalmente duplicará el nivel de contaminación.

Según ISO (2017), los tamaños de partículas analizados son $\geq 4\mu\text{m}$, $\geq 6\mu\text{m}$ y $\geq 14\mu\text{m}$, los cuales se deben analizar con un contador de partículas automático calibrado de acuerdo a ISO 11171. Como bien se mencionaba anteriormente, el conteo de partículas se puede ver afectado por una variedad de factores, incluyendo la obtención de la muestra, la precisión del recuento de partículas, el contenedor de la muestra y su limpieza.

El código para niveles de contaminación que usa contadores de partículas automáticos comprende tres escalas que permiten diferenciar la dimensión y la distribución de las partículas. El primer dígito indica las partículas superiores a $4\mu\text{m}$, el segundo dígito las partículas superiores a las $6\mu\text{m}$ y el tercer dígito correspondiente a las partículas superiores a las $14\mu\text{m}$ por mililitro de fluido.

Los números de escalas se asignan de acuerdo con el número de partículas contadas por mililitro de la muestra del fluido (ver tabla I):

Tabla I. **Escala de números**

Number of particles per millilitre		Scale number
More than	Up to and including	
2 500 000		> 28
1 300 000	2 500 000	28
640 000	1 300 000	27
320 000	640 000	26
160 000	320 000	25
80 000	160 000	24
40 000	80 000	23
20 000	40 000	22
10 000	20 000	21
5 000	10 000	20
2 500	5 000	19
1 300	2 500	18
640	1 300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9

Fuente: ISO 4406:17.

La norma indica que se tomará los dígitos uno después de otro en cada tamaño de partículas en el orden de 4µm, 6µm y 14µm.

Ejemplo:

Un cogido 20/17/14 significa que hay más de 5 000 y hasta incluyendo 10 000 partículas iguales o superiores a 4µm, más de 640 y hasta incluyendo 1 300 partículas iguales o superiores a 6µm y más de 80 y hasta incluyendo 160 partículas iguales o superiores a 14µm en un mililitro de muestra obtenida.

7.6. Equipo de medición para conteo de partículas

El conteo de partículas consiste en medir la contaminación sólida en el lubricante, mediante el conteo y la clasificación del grado de contaminación en función del tamaño de la partícula.

El analizador de muestras de aceite para conteo de partículas utilizado en esta investigación tiene por nombre lcount, de la marca Parker, es un equipo portátil para el control de la contaminación de aceite hidráulico y también puede utilizarse para combustible diesel. Es un contador para el control de la contaminación muy preciso, rápido, sencillo y económico. Además es un recurso innovador ante el desafío de controlar la limpieza de los aceites hidráulicos y combustible diésel. Es utilizado en aplicaciones de energía renovable, marina, fabricación de vehículos, agricultura y en aplicaciones militares, maquinaria de minería y aeroespaciales. Puede tomar muestras en el punto, desde el depósito hidráulico e incluso en las líneas de alta presión, hasta un máximo de 350 bares.

Parker (2011) menciona que el contador de partículas incorpora un sofisticado detector láser que emplea la técnica de bloqueo de luz en una celda de flujo. Este procedimiento proporciona una medición continua del flujo que circula por el capilar. Las mediciones son estándar, cada segundo, pero los intervalos de medición y períodos de prueba pueden ser definidos por el usuario. Los resultados son transmitidos inmediatamente y actualizados en tiempo real. Los datos se representan en un monitor digital incorporado y pueden ser recopilados en una interfaz a la web incorporada por medio de un cable RJ45.

La tecnología de detección láser contrastada es una práctica de Parker en el desarrollo de oscurecimiento y bloqueo de la luz láser.

Figura 7. **Contador de partículas lcount, marca Parker**



Fuente: Parker Hannifin.

7.7. Limpieza de los fluidos requeridos para componentes hidráulicos típicos

Se debe considerar que el fabricante de la maquinaria no siempre toma en cuenta el ambiente donde el equipo estará operando. Por tal razón es indispensable que se evalúen los niveles de limpieza del aceite hidráulico para así poder minimizar los daños prematuros.

Bilbao (2014) menciona que “algunos fabricantes de maquinaria proponen especificaciones de código ISO, otros exigen para validar las garantías”. (p.10)

Los aceites, aun siendo nuevos, en muchas ocasiones no cumplen los niveles de limpieza, por lo cual es necesario analizar la muestra y he ahí la importancia de colocar filtros hidráulicos fuera de línea.

La tabla II muestra algunos componentes con los niveles de limpieza recomendados, pero lo ideal es consultar con la ficha técnica de los componentes hidráulicos, esto servirá para la selección de los filtros y por garantía de los equipos.

Tabla II. **Niveles de limpieza de componentes hidráulicos típicos**

Limpieza del Fluido para los Componentes Hidráulicos Típicos	
Componentes	Código ISO
Válvulas de Servo control	17/14/11
Válvulas Proporcionales	18/15/12
Bombas/ motores de paleta y piston	19/16/13
Válvulas de control de presión y direccional	19/16/13
Motores/bombas engranes	20/17/14
Cilindros, válvulas de control de flujo	21/18/15
Fluido nuevo, sin usar	21/18/15

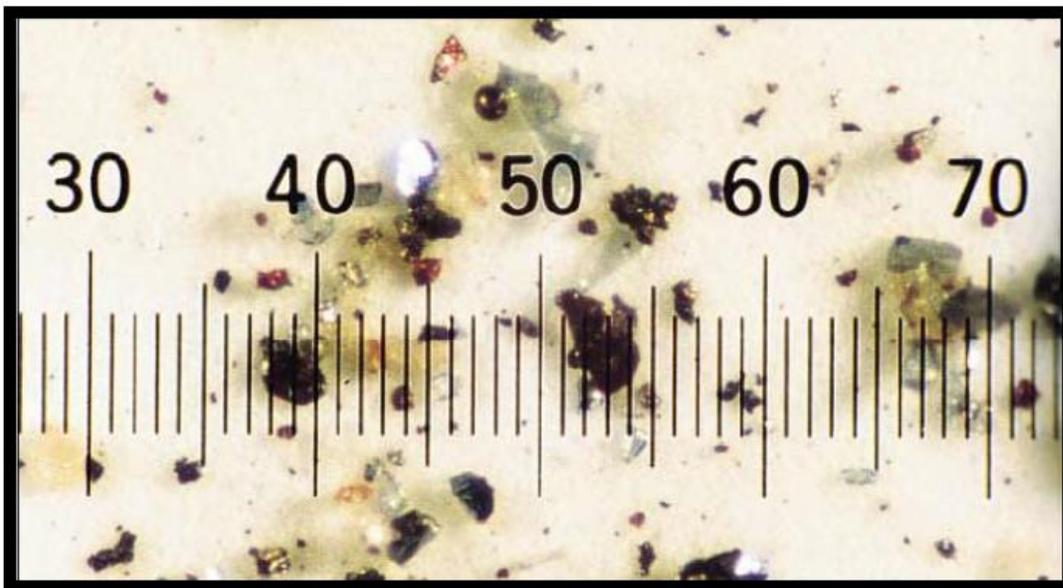
Fuente: Parker Hannifin.

7.8. Equipos de sistema de filtración hidráulica

Existen diferentes tipos y equipos de filtrado para aceite hidráulico.

También existen filtros para retener agua y otros para partículas, los filtros para partículas van en función del tamaño de partículas a filtrar y se miden en micrones.

Figura 8. **Fotografía microscópica de contaminación por partículas (Ampliación 100x Escala: 1 división = 20 micrones)**



Fuente: Parker Hannifin.

Los carros de filtración son portátiles y únicamente necesitan reemplazar el elemento filtrante. Se utilizan principalmente para filtrar fluidos nuevos, transferir los fluidos entre depósitos a sistemas, complementar sistemas actuales de filtración y remover agua del sistema.

Es necesario seleccionar el elemento filtrante conforme al tamaño de partículas que se desea filtrar. Para reducir el grado de contaminación se utilizan filtros de $4\mu\text{m}$, $6\mu\text{m}$ y $14\mu\text{m}$, tal como lo indica la norma ISO 4406:17 en esta investigación.

Figura 9. **Carro de filtración**



Fuente: Parker Hannifin.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS
ORIENTADORAS

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Importancia de la función principal de unidad hidráulica para impulsar la pasta a túnel subterráneo en una mina extractora de plata en Guatemala

1.2. Funcionamiento básico de la unidad hidráulica

1.2.1. Componentes básicos de la unidad hidráulica

1.2.1.1. Depósito hidráulico

1.2.1.2. Unidad de potencia

1.2.1.3. Bomba hidráulica

1.2.1.4. Cilindro hidráulico

1.2.1.5. Válvulas direccionales

1.2.1.6. Filtros hidráulicos

1.2.1.7. Mangueras hidráulicas

1.2.1.8. Fluido hidráulico

- 1.3. Mantenimiento
 - 1.3.1. Mantenimiento preventivo
 - 1.3.2. Mantenimiento correctivo
 - 1.3.3. Mantenimiento predictivo
 - 1.4. Análisis de aceite como herramienta de mantenimiento predictivo
 - 1.5. Parámetros de evaluación en análisis de aceite usado con base en la norma ISO 4406:17
 - 1.6. Equipo de medición para conteo de partículas
 - 1.7. Limpieza de los fluidos requeridos para componentes hidráulicos típicos
 - 1.8. Sistema de filtración hidráulica fuera de línea
2. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS APLICADO AL ACEITE DE LA UNIDAD HIDRÁULICA DE LA PLANTA DE PASTAS DE UNA MINA SUBTERRÁNEA EXTRACTORA DE PLATA EN GUATEMALA
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de investigación

La investigación será de tipo cuantitativa, ya que se harán mediciones en muestras de aceite para determinar su contaminación. Así mismo será secuencial, porque seguirá un método riguroso.

9.2. Alcances de la investigación

Entre los cuatro tipos de alcances que existen se eligió el descriptivo, debido a que únicamente pretende medir y recolectar información de manera independiente y describirla.

9.3. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación será no experimental, ya que no se refiere a un estudio en el que se manipulen intencionalmente una o más variables, por el contrario, solo se estudiará la evolución.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, la investigación será longitudinal. Se ha seleccionado longitudinal o evolutiva porque se recaban los datos en diferentes puntos del tiempo, esto para realizar inferencias acerca de la contaminación de aceite.

Las muestras se tomarán una vez a la semana durante aproximadamente 3 meses, para poder evaluar la condición del problema de investigación.

Según Hernández (2014), los estudios longitudinales son de tres tipos, para la presente investigación se seleccionó el diseño longitudinal de tendencia, debido a que se analizarán los cambios en las muestras con el paso del tiempo.

9.4. Variables cuantitativas

Se medirán únicamente los tres tamaños de partículas 4 μ m, 6 μ m y 14 μ m, debido a que la norma ISO 4406:17 establece que es el tamaño establecido para contadores de partículas automáticos ópticos, y se miden en el orden antes descrito.

9.4.1. Primer dígito 4 μ m

El primer número de escala representa el número de partículas iguales o superiores a 4 μ m por mililitro de fluido.

9.4.2. Segundo dígito 6 μ m

El segundo número de escala representa el número de partículas iguales o superiores a 6 μ m por mililitro de fluido.

9.4.3. Tercer dígito 14 μ m

El tercer número de escala representa el número de partículas iguales o superiores a 14 μ m por mililitro de fluido.

9.5. Indicadores

El objetivo del código es simplificar el informe de los datos obtenidos de recuento de partículas. Se convierte el número de partículas en clases o

códigos amplios, donde un aumento en un código generalmente duplica el nivel de contaminación, según lo muestra la tabla III.

Tabla III. **Indicadores**

Number of particles per millilitre		Scale number
More than	Up to and including	
2 500 000		> 28
1 300 000	2 500 000	28
640 000	1 300 000	27
320 000	640 000	26
160 000	320 000	25
80 000	160 000	24
40 000	80 000	23
20 000	40 000	22
10 000	20 000	21
5 000	10 000	20
2 500	5 000	19
1 300	2 500	18
640	1 300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9

Fuente: tomado de la norma ISO 4406:17.

9.6. Fases de estudios

Se describen a continuación las tres fases del desarrollo de la investigación:

9.6.1. Selección de la muestra

La primera fase describe el procedimiento adecuado para obtener la muestra de aceite hidráulico usado, el método y la manera correcta para obtenerla, sin que se vea afectado por otros factores.

9.6.2. Recolección de datos cuantitativos

En la segunda fase la recolección de datos se realizará con el contador de partículas láser lcount, de la marca Parker, que serán los indicadores para posteriormente analizarlos.

9.6.3. Análisis de datos cuantitativos

En la última fase, con la selección y recolección de datos cuantitativos, será posible analizar e interpretar los datos. La manera a realizarse se describirá en el siguiente capítulo de técnicas de análisis.

9.7. Resultados esperados

Se espera obtener un informe sobre la tendencia de la contaminación, para poder reducir las partículas que se encuentran en el aceite lubricante con base en la norma ISO 4406:17 y así poder evitar posibles fallas prematuras o catastróficas en la unidad hidráulica.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La obtención de datos está basada en recolectar la información con el analizador de muestra de aceite Parker *Icount*. Se obtiene información sobre el grado de contaminación del aceite hidráulico y así se puede crear una línea de tendencia y predecir el comportamiento de la contaminación del aceite. Con tales datos se puede tomar la decisión de filtrar o reemplazar el aceite hidráulico.

El tamaño y el conteo de partículas indican cuál de los tres tamaños, 4 μ m, 6 μ m ó 14 μ m se debe filtrar. Si se encuentra alguno de ellos fuera de los parámetros se debe reducir, para así poder mantenerlo dentro del rango que indica la norma ISO 4406:17. Se debe mantener el aceite hidráulico en los parámetros para los tres tamaños de partícula que indica la norma.

Para conservar el aceite hidráulico es necesario analizar el grado de contaminación y utilizar un sistema de filtración que sea capaz de filtrar el tamaño de partícula que se desea limpiar. También es importante reducir costos por reemplazo total del aceite y evitar desgastes prematuros en los mecanismos hidráulicos.

Las técnicas de análisis a utilizar en la investigación, para determinar el grado de contaminación de aceite hidráulico aplicado a la norma ISO 4406:17, serán los siguientes:

10.1. Gráfico circular

Será utilizado como caso especial, debido a que el analizador de partículas de la marca Parker tiene una lectura muy importante, que es la humedad relativa a la que se encuentra la muestra de aceite.

Se tomará dato de la humedad en el depósito, después de los filtros y por último antes de llegar a la bomba hidráulica. Esto dará un comparativo de qué porcentaje existe en los tres puntos, aunque no es la finalidad de esta investigación enfocarse en la humedad relativa.

10.2. Gráfico de barras

Se crearán tres tipos de gráficos de barras, uno para cada tamaño de partícula en cuatro micrones, seis micrones y catorce micrones, que son los tamaños que analiza la norma ISO 4406:17. Su función es hacer una comparación de cada tamaño de partícula en cada punto de muestreo, primero en el tanque hidráulico, luego de los filtros y por último antes de entrar a la bomba, para observar el dato de código ISO y evaluar si existe una diferencia en los valores.

Se realizará otro gráfico de barra, que se utilizará en el proceso de filtración para indicar el tiempo que pasa cada vez que se desea filtrar el aceite lubricante y llevarlo al código ISO que se desea obtener. De esta manera se puede comparar en función del tiempo la limpieza de cada uno de los tres tamaños de partículas.

10.3. Línea de tendencia

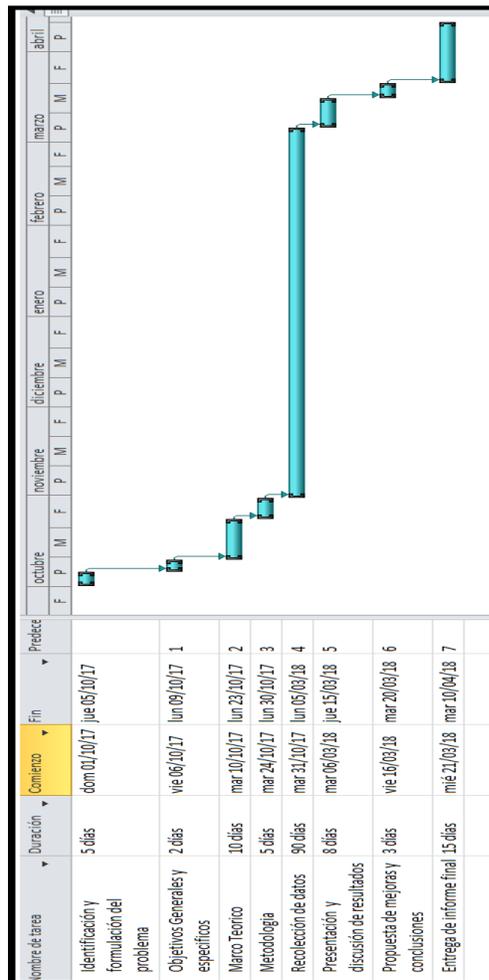
El código ISO evalúa tres tamaños de partículas, por lo cual se debe evaluar cada uno por su parte. Se debe crear una línea de tendencia para cada tamaño de partícula, en los tamaños de cuatro micrones, seis micrones y catorce micrones.

La contaminación se evalúa en función del tiempo de uso de los componentes hidráulicos, por lo que se tomará muestra durante un tiempo de horas de trabajo establecido y se realizará un gráfico de tendencia del grado de contaminación en función del tiempo.

11. CRONOGRAMA

La ejecución del proyecto tendrá como inicio el día 1 de octubre de 2017 y como fecha de finalización el 4 de marzo de 2018.

Figura 10. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Los recursos utilizados en el trabajo de investigación son descritos a continuación:

12.1. Recursos

Todos los recursos involucrados en el desarrollo de la investigación se describen a continuación:

12.1.1. Recurso humano

- Investigador: persona encargada de realizar el estudio para la implementación del mantenimiento predictivo.
- Asesor: persona encargada de brindar el apoyo y asesoría profesional para la elaboración del trabajo de graduación.
- Técnico especialista: persona subcontratada para utilizar el equipo de análisis de aceite y filtración de aceite.
- Supervisor de mantenimiento: persona encargada de supervisar los trabajos de mantenimiento de la unidad hidráulica.

12.1.2. Recurso de material y equipo

- Analizador de muestras de aceite marca Parker lcount (ISO)
- Carro de filtración 10MFP Parker
- Computadora
- Calculadora Texas Instrument 92+
- Agenda
- Cuaderno de notas
- Impresora

Tabla IV. Recurso financiero

Descripción	Valor
Asesor de la investigación	Q2,000.00
Papelería	Q1,500.00
Trasporte	Q3,500.00
Recurso de material	Q5,000.00
Supervisor de mantenimiento	Q15,000.00
Gastos varios	Q1,200.00
Total estimado	Q28,200.00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BILBAO, M. (2014). *Contaje de partículas. Lubrication management*. Recuperado de http://lubrication-management.com/wp-content/uploads/sites/3/2014/07Análisis_aceite_aerogeneradores_2_ES.pdf.
2. CARRIÓN, C. (2007). *Implementación del sistema de análisis de aceite de lubricantes utilizando Software Oilview y laboratorio de análisis minilab*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería, Universidad del Bío-Bío, Chile.
3. CONDE, A. (2010). *Modelo de excelencia en lubricación y mantenimiento predictivo. Ingeniería del mantenimiento. Ingeniería del mantenimiento industrial, TBN, servicios integrales de lubricación*.
4. Construcción Minera. (Febrero-marzo de 2015). *Construcción de túneles mineros*. Recuperado de http://www.construccionminera.cl/wp-content/uploads/2013/12/ConstruccionMinera_10.pdf.
5. CREUS, A. (2007). *Neumática e hidráulica*. Barcelona, España. Marcombo.
6. DE LAS HERAS, S. (2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Barcelona, España. Universidad Politécnica de Catalunya.

7. GARCÍA, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Albasanz, Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos.
8. GARRIDO, S. (2010). *Organización y gestión integral del mantenimiento*. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos.
9. GIRÓN, L. (2017). *Implementación de análisis de aceite usado como herramienta de mantenimiento predictivo aplicado a las máquinas propulsoras del guardacostas GC-653 Azumanche, del comando naval del pacífico*. Tesis de maestría en ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
10. GUILLÉN, L. (2007). *Procedimiento para el análisis de muestras de aceite usado en la agroindustria*. Tesis de maestría en ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
11. HERNÁNDEZ, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F. McGraw-Hill.
12. ISO. (2018). *Hydraulic Fluid Power-Fluids-Method for coding the level of contamination by solid particles*. Vernier, Suiza.
13. LEDESMA, M. (2015). *Análisis de aceite hidráulico para identificar componentes de desgaste en el sistema de implementos de excavadoras 336dl CAT*. Tesis de licenciatura en ingeniería, Universidad Nacional del Centro del Perú.

14. LLAÑA, C. (2007). *Implementación del sistema de análisis de lubricantes utilizando software oilview y laboratorio de análisis minilab*. Tesis de licenciatura en ingeniería, Universidad del Bío-Bío, Chile.
15. MARRERO, P. (Diciembre, 2010). *La importancia del siempre menospreciado mantenimiento. Ingeniería del mantenimiento. Ingeniería del mantenimiento industrial, TBN, servicios integrales de lubricación*.
16. MEDRANO, J. (2017). *Mantenimiento, técnicas y aplicaciones industriales*. Azcapotzalco, México, Grupo Editorial Patria.
17. MESA, D. (2007). *Principios básicos de tribología*. Risaralda, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira.
18. NORIA. (2013). *Considere la contaminación antes de comprar maquinaria hidráulica*. Recuperado de <http://noria.mx/lublearn/considere-el-control-de-la-contaminacion-antes-de-comprar-maquinaria-hidraulica/>.
19. NORIA. (2013) *¿Qué tan importante es el código de contaminación sólida ISO 4406:99?* Recuperado de <http://noria.mx/lublearn/que-tan-importante-es-el-codigo-decontaminacion-solida-iso-440699/>.
20. PARKER. (2011). *Analizador de muestras de aceite Parker lcount*. Recuperado de <http://www.parkerhfde.com/pdf/conmon/fdcb528es.IOS.Spanish.pdf>.

21. PUTZMEISTER. (2010). *Bombas industriales Putzmeister*. Recuperado de https://downloads.german-pavilion.com/downloads/pdf/exhibitor_24002.pdf.
22. SERRANO, N. (2002). *Oleohidráulica*. Madrid, España. McGraw-Hill.
23. URRUTIA, L. (Noviembre de 2016). *RCM aplicado al proceso de lubricación de maquinaria. Los cuatro tipos de mantenimiento*. Maquinaria & Petróleo.
24. Widman International. (2016). *Tablas de códigos de limpieza ISO 4406 para aceite y combustible*. Recuperado de http://www.widman.biz/Seleccion/iso_4406.html.
25. ZAMORA, B. (2016). *Máquinas hidráulicas*. Cartagena, Colombia, Universidad Politécnica de Colombia.