

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS**



**“ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CON EL USO DE FLUIDOS
HIDRÁULICOS EN ALTAS TEMPERATURAS EN LA INDUSTRIA MINERA,
DESDE UN ENFOQUE DE SEGURIDAD INDUSTRIAL, TÉCNICO-FINANCIERO
Y GESTIÓN AMBIENTAL, EN GUATEMALA DURANTE EL
PERÍODO 2010-2014.”**

ING. RONALD EFRAÍN PAZ OVALLE

GUATEMALA, ABRIL DE 2015.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

“Análisis del mantenimiento predictivo, con el uso de fluidos hidráulicos en altas temperaturas en la industria minera, desde un enfoque de seguridad industrial, técnico-financiero y gestión ambiental, en Guatemala durante el período 2010-2014.”

Informe final de tesis para la obtención del Grado de Maestría en Ciencias, con base en el Normativo de Tesis, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas, en el punto séptimo inciso 7.2 del acta 5-2005 de la sesión celebrada el veintidós de febrero de 2005, actualizado y aprobado por Junta Directiva en el numeral 6.1 punto SEXTO del acta 15-2009 de la sesión celebrada 14 de julio de 2009.

Asesor de Tesis

M.Sc. Lic. Mario Alejandro Arriaza Salazar

Autor:

Ing. Ronald Efraín Paz Ovalle

Guatemala, abril de 2015.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

Decano: Lic. José Rolando Secaida Morales
Secretario: Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales
Vocal I: Lic. Luis Antonio Suarez Roldán
Vocal II: Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez
Vocal III: Lic. Juan Antonio Gómez Monterroso
Vocal IV: P.C. Oliver Augusto Carrera Leal
Vocal V: P.C. Walter Obdulio Chigüichón Boror

JURADO EXAMINADOR QUE PRACTICÓ
EL EXAMEN GENERAL DE TESIS SEGÚN
EL ACTA CORRESPONDIENTE

Presidente: M.Sc. José Ramón Lam Ortíz
Secretario: Dr. Edelberto Cifuentes Medina
Vocal I: M.Sc. Hugo Romeo Arriaza Morales



ACTA No. 10-2015

En Salón No. **3** de la Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ciencias Económicas, en el Edificio S-11 de la Universidad de San Carlos de Guatemala, nos reunimos los infrascritos miembros del Jurado Examinador, el **23 de marzo** de 2015, a las **18:00** horas para practicar el **EXAMEN GENERAL DE TESIS** del Ingeniero **Ronald Efraín Paz Ovalle, Carné No. 100024221**, estudiante de la Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos de la Escuela de Estudios de Postgrado, como requisito para optar al grado de Maestro en Formulación y Evaluación de Proyectos. El examen se realizó de acuerdo con el normativo de Tesis, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas en el numeral 6.1, Punto SEXTO del Acta 15-2009 de la sesión celebrada el 14 de julio de 2009.-----

Cada examinador evaluó de manera oral los elementos técnico-formales y de contenido científico profesional del informe final presentado por el sustentante, denominado **"ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CON EL USO DE FLUIDOS HIDRÁULICOS EN ALTAS TEMPERATURAS EN LA INDUSTRIA MINERA, DESDE UN ENFOQUE DE SEGURIDAD INDUSTRIAL, TÉCNICO-FINANCIERO Y GESTIÓN AMBIENTAL, EN GUATEMALA DURANTE EL PERÍODO 2010-2014"**, dejando constancia de lo actuado en las hojas de factores de evaluación proporcionadas por la Escuela. El examen fue **APROBADO** con una nota promedio de **83** puntos, obtenida de las calificaciones asignadas por cada integrante del jurado examinador. El Tribunal hace las siguientes recomendaciones: Que el sustentante incorpore las enmiendas señaladas dentro de los 15 días hábiles siguientes.

En fe de lo cual firmamos la presente acta en la Ciudad de Guatemala, a los veintitrés días del mes de marzo del año dos mil quince.

MSc. José Ramón Lam Ortiz
Presidente

Dr. Edelberto Cifuentes Medina
Secretario



MSc. Hugo Romeo Arriaza Morales
Vocal

Ing. Ronald Efraín Paz Ovalle
Postulante

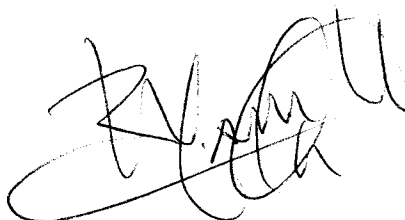


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ADENDUM

El infrascrito Presidente del Jurado Examinador CERTIFICA que el estudiante Ronald Efraín Paz Ovalle, incorporó los cambios y enmiendas sugeridas por cada miembro examinador del Jurado.

Guatemala, 26 de marzo de 2015.

(f) 

MSc. José Ramón Lam Ortiz
Presidente





FACULTAD DE
CIENCIAS ECONOMICAS

Edificio "S-8"
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

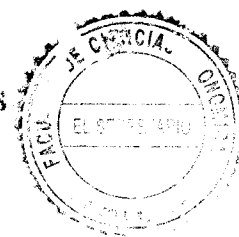
DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS.
GUATEMALA, OCHO DE MAYO DE DOS MIL QUINCE.

Con base en el Punto QUINTO, inciso 5.1, subinciso 5.1.2 del Acta 10-2015 de la sesión celebrada por la Junta Directiva de la Facultad el 14 de abril de 2015, se conoció el Acta Escuela de Estudios de Postgrado No. 10-2015 de aprobación del Examen Privado de Tesis, de fecha 23 de marzo de 2015 y el trabajo de Tesis de Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos, denominado: "ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CON EL USO DE FLUIDOS HIDRÁULICOS EN ALTAS TEMPERATURAS EN LA INDUSTRIA MINERA, DESDE UN ENFOQUE DE SEGURIDAD INDUSTRIAL, TÉCNICO-FINANCIERO Y GESTIÓN AMBIENTAL, EN GUATEMALA DURANTE EL PERÍODO 2010-2014", que para su graduación profesional presentó el Ingeniero RONALD EFRAÍN PAZ OVALLE, autorizándose su impresión.

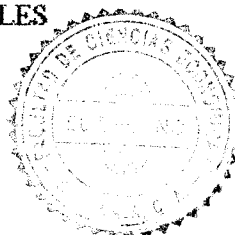
Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

LIC. CARLOS ROBERTO CÁBRERA MORALES
SECRETARIO



LIC. JOSE ROLANDO SECADA MORALES
DECANO



Ingrid
PREVISADO

Smp.

Dedicatoria:

- Dios** Por darme fuerzas para luchar cada día de mi vida, guardarme bajo sus alas y brindarme aliento en los momentos más difíciles y, sobre todo, la bendición que me concederá de ser papá.
- Mi padre** Roberto Paz Álvarez, quien me enseñó y heredó la importancia de leer y escribir correctamente, para tener la oportunidad de ser mejor persona en mi país; y sobre todo, con su esfuerzo y dedicación a lo largo de la vida, nos ha demostrado su profundo amor.
- Mi madre** Olga Araceli Ovalle Estrada, por luchar arduamente todos los días y compartir la importancia del amor a Dios.
- Mis hermanos** Por acompañar mis triunfos y fracasos, en este duro caminar de la vida.
- Mi novia** Quien me ha demostrado su amor, sacrificando tiempo y distancia, para que este trabajo culminara con éxito.
- Familiares y amigos** Por brindarme un abrazo o una sonrisa, cuando más lo he necesitado.

Agradecimientos:

- Tritech** Por darme la oportunidad de enriquecerme en conocimiento, con la industria guatemalteca e introducirme en el mundo de la Tribología.
- Mis compañeros** Quienes comparten sus experiencias personales y laborales día con día, han influido para que mi desarrollo profesional sea exitoso.
- Mi asesor** Por brindarme valiosos conocimientos y enseñanzas, para la culminación de esta investigación.
- Amigos de la industria** Por apoyarme y facilitarme, el duro trabajo de la investigación de campo dentro de la industria minera.

Índice general

Acrónimos	VII
Resumen	i
Introducción.....	iii
1. Antecedentes	1
2. Marco teórico.....	9
2.1. Proceso productivo minero.....	10
2.1.1. Extracción	10
2.1.2. Procesamiento	12
2.1.3. Fundición y refinación	12
2.1.3.1. Mantenimiento	15
2.2. Mantenimiento predictivo, a través del análisis de lubricantes.....	23
a) Análisis de viscosidad e índice de viscosidad	23
b) Análisis del número total de acidez (TAN).....	24
c) Análisis de los puntos de inflamación, combustión y autoignición	25
d) Análisis de la demulsibilidad y tendencia a la formación de espuma ..	26
2.2.2. Procedimiento en la frecuencia del muestreo, en el mantenimiento predictivo.....	28
2.2.3. Mantenimiento predictivo de calidad, durante el uso de fluidos hidráulicos	29
2.2.4. Mantenimiento en los sistemas hidráulicos.....	29
2.2.5. Fluidos resistentes al fuego	30
A) Agua glicol.....	31
B) Sintético (Éster).....	32
2.2.6. Cambio a fluidos resistentes al fuego	33
2.2. Aspectos financieros.....	34
2.3. Aspectos ambientales.....	35
2.3.1. Plan de Gestión Ambiental (PGA).....	36
2.3.2. Normativa internacional ISO 14001:2004	37

2.4.	Aspectos de seguridad industrial.....	38
2.4.1.	Análisis de Trabajo Seguro (ATS).....	39
2.4.2.	Normativa internacional OHSAS 18001:2007.....	40
2.5.	Aspectos legales.....	41
2.5.1.	Normativa guatemalteca.....	41
2.5.1.1.	Constitución Política de la República de Guatemala.....	42
2.5.1.2.	Ley de Minería (Decreto 48-97).....	43
2.5.1.3.	Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.....	45
	(Decreto 68-86).....	45
2.5.1.4.	Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (Acuerdo Gubernativo 431-2007).....	46
2.5.1.5.	Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional (Acuerdo Gubernativo 229-2014).....	47
2.5.1.6.	Código Municipal (Decreto 12-2002).....	49
3.	Metodología.....	51
3.1.	Unidad de análisis.....	51
3.2.	Preguntas de investigación.....	52
3.3.	Pregunta general.....	52
3.4.	Objetivos.....	53
3.5.	Hipótesis.....	53
3.6.	Enfoque.....	54
3.7.	Especificación de las variables.....	54
3.8.	Métodos y técnicas.....	55
3.9.	Limitaciones y referentes de la investigación.....	56
4.	Resultados.....	58
4.1.	Evaluación técnica.....	59
a)	Análisis de viscosidad e índice de viscosidad.....	60
b)	Análisis del aditivo y número total de acidez -TAN-.....	63
c)	Análisis de los puntos de inflamación, combustión y autoignición.....	67
d)	Análisis de la demulsibilidad y tendencia a la formación de espuma.....	69

4.2. Evaluación financiera.....	72
4.3. Evaluación de la gestión ambiental	78
4.4. Evaluación de seguridad industrial	82
5. Propuesta	86
5.1. Fluidos resistentes al fuego	87
Conclusiones.....	97
Recomendaciones.....	99
Fuentes de información	101
Bibliográficas.....	101
Documentales	103
E-grafías	105
Anexos	109

Índice de gráficos

Gráfico 1.	Mantenimiento preventivo, procesos productivos	17
Gráfico 2.	Mantenimiento predictivo, procesos productivos	19
Gráfico 3.	Costo del aceite hidráulico para el funcionamiento de la unidad hidráulica, en relación al impacto en operación	34
Gráfico 4.	Análisis de viscosidad y VI, punto de muestreo 1, Unidad hidráulica - Horno.....	61
Gráfico 5.	Análisis de viscosidad y VI, punto de muestreo 2, Unidad hidráulica - Volteo	62
Gráfico 6.	Análisis de ppm, punto de muestreo 1, Unidad hidráulica - Horno ...	64
Gráfico 7.	Análisis de Número Total de Acidez TAN, punto de muestreo 1, Unidad hidráulica - Horno.....	64
Gráfico 8.	Análisis de ppm, punto de muestreo 2, Unidad hidráulica - Volteo ...	65
Gráfico 9.	Análisis de Número Total de Acidez TAN, punto de muestreo 2, Unidad hidráulica - Volteo	66
Gráfico 10.	Análisis de puntos de inflamación, combustión y autoignición, punto de muestreo 1 y 2, Unidades hidráulicas	68
Gráfico 11.	Análisis de contenido de agua y sólidos, punto de muestreo 1, Unidad hidráulica - Horno.....	69
Gráfico 12.	Análisis de contenido de agua y sólidos, punto de muestreo 2, Unidad hidráulica - Volteo	70
Gráfico 13.	Consumo anual de aceite hidráulico, cantidades en US\$, análisis de en relación a la evaluación de campo	74
Gráfico 14.	Comparativo, costo total anual en aceite hidráulico, en relación a opciones (A y B) – Industria minera	90
Gráfico 15.	Generación de desechos actual, en relación a propuestas (A y B) – Industria minera.....	91

Índice de tablas

Tabla 1.	Producción minera Nacional, República de Guatemala	5
Tabla 2.	Comparación técnica de aceites hidráulicos actuales, en relación a los aceites hidráulicos RF	33
Tabla 3.	Especificación de variables, metodología.....	54
Tabla 4.	Premisas metodológicas, metodología.....	55
Tabla 5.	Características técnicas normadas, aceite hidráulico tradicional mineral y sintético.....	60
Tabla 6.	Resultado final, análisis de viscosidad, punto de muestreo 1 y 2 Industria minera.....	63
Tabla 7.	Resultado final, análisis de protección a la oxidación -TAN-, Unidades hidráulicas – Industria minera	67
Tabla 8.	Resultado final, análisis de punto de inflamación, combustión y auto-ignición, unidades hidráulicas – Industria minera.....	69
Tabla 9.	Resultado final, análisis de formación de espuma y demulsibilidad, Unidades hidráulicas – industria minera.....	71
Tabla 10.	Resumen, análisis de evaluación técnica, Aceite hidráulico tradicional mineral y sintético – Industria minera.....	71
Tabla 11.	Costo total anual en aceite hidráulico actual, comparativo del fabricante en relación a la evaluación de campo.....	73
Tabla 12.	Producción promedio en tonelada métrica, punto de muestreo 1 – Industria minera.....	75
Tabla 13.	Costos y precios en US\$ por tonelada métrica, punto de muestreo 1 – Industria minera.....	75
Tabla 14.	Análisis beneficio/costo por hora, precios en US\$ punto de muestreo 1 – Industria minera.....	76
Tabla 15.	Producción promedio en onzas troy, punto de muestreo 2 – Industria minera.....	76

Tabla 16.	Costos y precios en US\$ por onza troy, punto de muestreo 2 – Industria minera.....	77
Tabla 17.	Análisis beneficio/costo por hora, precios en US\$ punto de muestreo 2 – Industria minera.....	77
Tabla 18.	Evaluación del impacto potencial, Área de fundición de minerales – Industria minera	79
Tabla 19.	Evaluación de los requisitos ambientales ISO 14001:2004, en referencia al plan de gestión ambiental en la industria minera.....	81
Tabla 20.	Análisis del Trabajo Seguro -ATS- en el proceso de fundición del mineral en la industria minera	83
Tabla 21.	Evaluación de los requisitos de Gestión S&SO OHSAS 18001:2007, referencia al cumplimiento de la seguridad de la industria minera.....	84
Tabla 22.	Comparación técnica de aceites hidráulicos tradicionales, en relación a los aceites hidráulicos RF.....	87
Tabla 23.	Costo total anual en aceite hidráulico actual, en relación a opciones (A y B) – Industria minera.....	89
Tabla 24.	Ahorro anual y proyectado en US\$, Industria minera.....	90
Tabla 25.	Evaluación de PGA y medidas de mitigación, área de fundición de minerales – Industria minera	92
Tabla 26.	Análisis del Trabajo Seguro -ATS- propuesto, en el proceso de fundición del mineral - Industria minera.....	94

Índice de figuras

Figura 1.	Mapa minero mundial, metales ferrosos y no ferrosos.....	4
Figura 2.	Proceso productivo, Industria minera	14
Figura 3.	Procedimiento en la frecuencia de muestra, Industria minera.....	28
Figura 4.	Ciclo de mejora con aceite hidráulico RF, teoría de Deming.....	86
Figura 5.	Mejora continua con uso de aceite hidráulico RF, área de fundición ..	95

Acrónimos

a. de C	Antes de Cristo
ASTM	American Section of the Internacional Association for Testing Materials (Sección Americana de la Asociación Internacional para el Ensayo de Materiales)
ATS	Análisis de Trabajo Seguro
AW	Antidesgaste
BANGUAT	Banco de Guatemala
BSI	British Standards Intitution
CABI	Central American Business Intelligence (Inteligencia de Negocios Centroamericana)
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CEICOM	Centro de Investigación y Comercio
CGN	Compañía Guatemalteca de Níquel, S.A.
CIEN	Centro de Investigaciones Económicas Nacionales
CONAP	Comisión Nacional para la Protección de los Bosques
cSt.	Centistocks
DIGARN	Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales
DIGCN	Dirección General de Coordinación Nacional
DIGCL	Dirección General de Cumplimiento Legal
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
EITI	Extractive Industries Transparency Initiative (Iniciativa para la Transparencia de las Industrias Extractivas)
FMI	Fondo Monetario Internacional
ICEFI	Instituto Centroamericano de Estudios Fiscales
IED	Inversión Extranjera Directa
IMAE	Índice Mensual de la Actividad Económica
ISO	International Organization for Stantardization (Organización Internacional de Estandarización)

MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
MEM	Ministerio de Energía y Minas
Mg KOH/g	Miligramo de hidróxido de potasio por gramo de aceite
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series (Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional)
OIT	Organización Internacional del Trabajo
ONU	Organización de Naciones Unidas
P	Fósforo
PGA	Plan de Gestión Ambiental
PIB	Producto Interno Bruto
ppm	partes por millón
RAE	Real Academia de la Lengua Española
RF	Resistentes al fuego
TAN	Número Total de Acidez
SGM	Servicio Geológico Mexicano
STLE	Society of Tribologists Lubrication Engineers (Sociedad de Tribólogos e Ingenieros en Lubricación)
S&SO	Seguridad y Salud Ocupacional
TM	Tonelada métrica
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development (Conferencia de Naciones Unidas para el Comercio y Desarrollo)
VI	Viscosity Index (Índice de Viscosidad)

Resumen

Dentro de los procesos de producción, expuestos a temperaturas elevadas en la industria minera de Guatemala, existen deficiencias en los mantenimientos, debido a que los programas usualmente son preventivos o correctivos y no predictivos, los lubricantes hidráulicos tradicionales utilizados como parte del insumo, no presentan los parámetros técnicos apropiados para el proceso.

El mantenimiento predictivo, como parte de un control estricto dentro de los procesos mineros de fundición expuestos a temperaturas por encima de los 1,650 grados centígrados y el uso del lubricante hidráulico como parte del insumo es de suma importancia para la inflamación y explosión constante dentro del proceso de fundición, debido a que el monitoreo en: costos técnicos, financieros, gestión ambiental y seguridad industrial, son determinantes para la eficiencia de producción.

De lo anterior, se consideró la siguiente pregunta general: ¿El mantenimiento predictivo, es el adecuado con el uso de los aceites hidráulicos tradicionales en altas temperaturas dentro de la industria minera?

La metodología utilizada para el logro de los objetivos, consistió en la delimitación de la unidad de análisis a dos minas de tres que operan en Guatemala, las cuales realizan las actividades de fundición de los minerales metálicos a través de sistemas hidráulicos expuestos en altas temperaturas; los resultados fueron obtenidos por medio de la realización de encuestas y la recopilación y análisis de datos estadísticos, así como, la utilización de documentos y observación no participante.

Los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología descrita anteriormente, se sintetizan en la validación de la hipótesis, identificándose que

los aceites hidráulicos utilizados actualmente, como parte del mantenimiento predictivo, no son los adecuados en altas temperaturas dentro del proceso de fundición en la industria minera guatemalteca, debido a que los mismos se usan para disminuir los costos de producción y no cumplen con las características técnicas específicas del fabricante, según el muestreo y las pruebas de laboratorio realizadas.

Las deficiencias en las características técnicas del lubricante, influyen en la vida útil del aceite y de la unidad hidráulica; por ende, los cambios se realizan en períodos más cortos de tiempo, elevando los costos de adquisición de este insumo; los paros de la producción debido al mantenimiento, disminuye las ganancias; sin olvidar, el impacto negativo en el ecosistema, por la mayor cantidad de desechos sólidos y líquidos peligrosos resultado del proceso de cambio.

Aunado a ello, el plan de gestión ambiental existente, no es apto para aplicar a una certificación ISO 14001:2004, que garantice la protección al medio ambiente con el manejo adecuado de lubricantes; y, en cuanto a la seguridad industrial, el incumplimiento, desconocimiento o falta de monitoreo de las normas internacionales OHSAS 18001:2007, no garantizan el control y mitigación de riesgos laborales.

El mantenimiento predictivo con el uso de lubricantes resistentes al fuego, surge como respuesta a la necesidad de reducir los costos de los métodos tradicionales de mantenimiento, preventivo y correctivo, asimismo de considerar el impacto ambiental y la seguridad industrial; que a pesar de representar mayor costo de inversión por su adquisición y uso en el corto plazo, a mediano y largo plazo, son de mejor opción para el ahorro en insumos del mantenimiento, mejorando la rentabilidad con la disminución del mantenimiento, asegurando el correcto funcionamiento del sistema y predecir la vida residual de sus componentes.

Introducción

Los desastres mineros conocidos en la historia hasta fechas actuales, indican que esta actividad no está libre de riesgos que conlleven problemas sociales por el uso de los recursos, la contaminación al medio ambiente y la seguridad laboral de los colaboradores, pues pese a las leyes, acuerdos gubernamentales o las normativas internacionales relacionados a la seguridad industrial y ambiental, la atención a las mejoras se hacen presentes, después de que una catástrofe cobró vidas humanas.

Las fugas, derrames, explosiones, incendios, uso inadecuado de desechos, malas prácticas en resguardo de agentes de peligro, son efectos de la carencia de planes de mitigación y de emergencia, lo cual puede ser letal para la vida y salud de los operarios, sin sumar las pérdidas de inversión.

Según datos de la Organización Internacional del Trabajo -OIT-, la labor minera es una de las actividades más peligrosas que el ser humano realiza, pues emplea únicamente el 1% de la fuerza laboral, pero genera 8% de pérdidas humanas, debido a los riesgos existentes en las áreas de trabajo.

Por lo expuesto anteriormente, fue necesario realizar una evaluación en la industria minera guatemalteca, en la cual se visualizó el mantenimiento predictivo con uso de lubricantes hidráulicos tradicionales en altas temperaturas dentro del proceso productivo crítico de esta actividad y determinar si existe incidencia en los aspectos técnico-financieros, ambientales y de seguridad industrial.

Por ello se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

- a. ¿Cuál es el rendimiento esperado de los lubricantes hidráulicos, al realizar un mantenimiento?
- b. ¿Cómo cambia el indicador financiero B/C al disminuir los costos por mantenimiento?
- c. ¿Cómo se desarrolla una buena gestión ambiental y de seguridad industrial, por medio del uso de lubricantes hidráulicos en el mantenimiento?
- d. ¿Qué aspectos son necesarios para cumplir con la certificación ISO 14001:2004 y OHSAS 18001:2007, realizando una buena gestión en el mantenimiento?

Y como pregunta general, se estableció: ¿El mantenimiento predictivo, es el adecuado con el uso de los aceites hidráulicos tradicionales en altas temperaturas dentro de la industria minera?

La hipótesis que responde a la pregunta general planteada anteriormente: Desde una perspectiva técnico-financiero, gestión ambiental y seguridad industrial, el mantenimiento predictivo con el uso de aceites hidráulicos tradicionales, no es el adecuado en altas temperaturas para la industria minera guatemalteca.

El objetivo general de la investigación, fue: determinar el rendimiento e impacto del uso de aceites hidráulicos tradicionales, como parte del mantenimiento predictivo, en altas temperaturas.

En relación a los objetivos específicos, se plantearon: 1) Realizar una comparación de parámetros técnicos de los aceites hidráulicos tradicionales como insumos del mantenimiento. 2) Evaluar desde el punto de vista financiero, la rentabilidad del uso de aceites hidráulicos tradicionales a través del indicador financiero B/C. 3) Evaluar el plan de gestión ambiental, con la finalidad de

observar el impacto en el área de fundición. 4) Determinar la incidencia que tienen los aceites hidráulicos tradicionales, en la seguridad industrial.

Con el logro de los objetivos y la comprobación de la hipótesis, a través de la evaluación realizada a la unidad de análisis, el presente informe de tesis fue estructurado de la siguiente manera:

Inicialmente, el marco teórico, describiendo el proceso minero, el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, además de la relación al análisis de lubricantes y sus principales propiedades físicas y químicas expuestas en altas temperaturas; el indicador financiero B/C; además de los aspectos ambientales y de seguridad industrial que deben de ser considerados en los procesos industriales.

Asimismo, los aspectos legales en cuanto a la normativa de Guatemala, desde los aspectos considerados en la Constitución Política de la República de Guatemala, la Ley de Minería, Ley de Protección y de Mejoramiento del Medio Ambiente, Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional culminando con el Código Municipal, normativa que regula los aspectos de control, seguimiento y resguardo de los lineamientos legales, impositivos, regalías y de la preservación de los recursos naturales guatemaltecos, la protección a la salud y seguridad del trabajador, así como el respeto a la decisión popular de exploración y/o explotación de minas en áreas específicas, para el resguardo cultural y patrimonial de los pueblos.

Seguidamente, se realizó un apartado para describir la metodología utilizada en el proceso de investigación, considerando como unidad de análisis a las dos únicas minas guatemaltecas que extraen minerales metálicos y que utilizan sistemas hidráulicos para la fundición de los mismos, realizando el planteamiento del problema, los objetivos y la hipótesis, en un enfoque técnico-financiero a través de

un B/C, gestión ambiental y seguridad industrial, especificando las variables, así como los métodos y técnicas para la obtención de la información.

Luego, como parte de la evaluación realizada a la industria minera guatemalteca, se presentan los resultados técnicos, financieros, ambientales y seguridad industrial, de la incidencia del uso de aceites hidráulicos tradicionales en el proceso productivo crítico de esta actividad.

Con los resultados obtenidos, se logró validar la hipótesis de investigación, pues se determinó que técnicamente los lubricantes tradicionales no cumplen con las especificaciones del fabricante, por lo que se realizan más cambios de aceite en los sistemas hidráulicos, ocasionando mayor costo monetario de adquisición y mayor contaminación ambiental por el manejo de más desechos sólidos y líquidos, que son derramados principalmente dentro de la planta; asimismo, se logró establecer que existe deficiencia en el cumplimiento de la normativa internacional OHSAS 18001:2007 en cuanto a seguridad industrial y carencia de un plan de gestión ambiental para el área de evaluación, para que la industria minera pueda aplicar a la norma ISO 14001:2004.

Posteriormente, según los resultados se realizó una propuesta, en la cual se hizo énfasis en el uso de lubricantes resistentes al fuego, los cuales a corto plazo generan mayor costo de inversión, pero que a mediano y largo plazo generan ahorro monetario y disminución en los insumos del mantenimiento; además, los siguientes beneficios: menos paros de producción por mantenimiento preventivo o correctivo, seguridad para las personas que operan cerca del área de fundición y menos contaminación ambiental.

Con lo anterior, se plantean las conclusiones técnico-financieras, gestión ambiental y de seguridad industrial, según la información recabada en la industria

minera guatemalteca, que utiliza sistemas hidráulicos para el proceso productivo de fundición de minerales metálicos.

En el último apartado, se presentan las recomendaciones para uno de los enfoques en los cuales se realizó la investigación.

1. Antecedentes

La industria minera, siempre se ha caracterizado por los problemas sociales, operación severa y riesgos laborales. Incluso aunque han existido acuerdos con los gobiernos de turno, para establecer controles en el medio ambiente y mejoras en la seguridad industrial, los trabajadores están sujetos a riesgos; la historia de los desastres mineros, demuestra que la minería no puede estar completamente libre de catástrofes periódicas. Los encargados de seguridad industrial, acceden a las mejoras continuas después de un desastre minero, la atención que los gobiernos y las empresas deben prestar para minimizar el peligro en ocupaciones riesgosas, debe de ser de alto impacto.

En algunas partes del mundo, donde se ha controlado la seguridad industrial dentro de las minas, siempre han ocurrido accidentes, tal es el caso de West Fork River, Monongah, Virginia Occidental, donde una explosión en una mina mató a 362 personas el 6 de diciembre de 1907. Significativo por ser el peor desastre minero en los E.E.U.U. hasta la fecha, el incidente de Monongah finalmente impulsó la acción del gobierno. El Congreso creó un regulador federal.

Posteriormente, una catástrofe a sólo 5 kilómetros de distancia, en Farmington, Virginia Occidental, ayudaría a llevar a cabo importantes reformas. En 1968, una explosión y un incendio en una mina en Farmington mató a 78 personas; el presidente de la administración Lyndon B. Johnson iba a introducir la reforma de seguridad minera, llamado el Estatuto Federal de Seguridad y Salud de Minas y, que a la larga iba a ser firmada por el presidente Richard Nixon.¹

Por otro lado, en Chile, el 19 de junio de 1945 se produjo la mayor tragedia de un yacimiento metálico a nivel mundial, donde 355 obreros murieron asfixiados por un

¹ http://www.ehowenespanol.com/historia-desastres-mineros-sobre_267357/. 16 de abril de 2014.

incendio en los piques² de El Teniente, la mina subterránea más grande del mundo, dedicada a la extracción de cobre.³

Hacia años más recientes, en el 2006, en Coahuila, México, una explosión provocada por gas, dejó atrapados a 65 mineros, entre otras tragedias sucedidas ese mismo año, en diversos lugares. En el 2009, China protagoniza la muerte de 104 obreros, por la misma causa. Asimismo, en el 2010, en Colombia, una explosión causa la muerte de 73 personas; en Chile, un derrumbe deja atrapados a 33 trabajadores, afortunadamente logran sobrevivir; sin embargo para este año, las tragedias no fueron solo en Latinoamérica, en África del sur, un derrumbe en una mina de oro, deja el un saldo de 200 personas fallecidas.

El desastre minero de mayor impacto, ocurrió en Soma, Turquía, el 13 de mayo de 2014, en una mina subterránea de carbón, lugar donde una explosión causó un incendio que duró varios días, falleciendo 301 personas, entre ellos mineros, ingenieros y un paramédico⁴.

Con lo anterior, es fácil deducir que la labor minera, es una de las actividades más peligrosas que el ser humano realiza, y según datos de la Organización Internacional del Trabajo -OIT-, emplea únicamente el 1% de la fuerza laboral, pero genera 8% de pérdidas humanas debido a los riesgos existentes en las áreas de trabajo⁵.

Con la totalidad de decesos por la realización de labores mineras, la evaluación y mitigación de los riesgos deben ser considerados en esta industria, haciendo

² Es una perforación en forma vertical en la cual, se puede descender en ascensores a diversas profundidades de la tierra, según estudios mineros del Perú S.A.C. (2010)

³<http://www.emol.com/noticias/nacional/2005/06/20/186030/la-tragedia-del-humo-a-60-anos-del-peor-accidente-minero-en-chile.html>. 16 de abril de 2014.

⁴ <http://elcomercio.pe/mundo/actualidad/turquia-301-muertos-cifra-definitiva-tragedia-minera-noticia-1730068>

⁵http://www.oit.org.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=2476:america-latina-oit-plantea-la-prioridad-de-mejorar-la-salud-y-seguridad-en-la-mineria&catid=117:ultimas-noticias&Itemid=1305. 25 de abril de 2014.

énfasis principalmente en el aspecto técnico, pues las fugas, los derrames o el inadecuado uso de desechos pueden ser letales para las operaciones, por el constante peligro a incendios y explosiones.

Minería en Guatemala

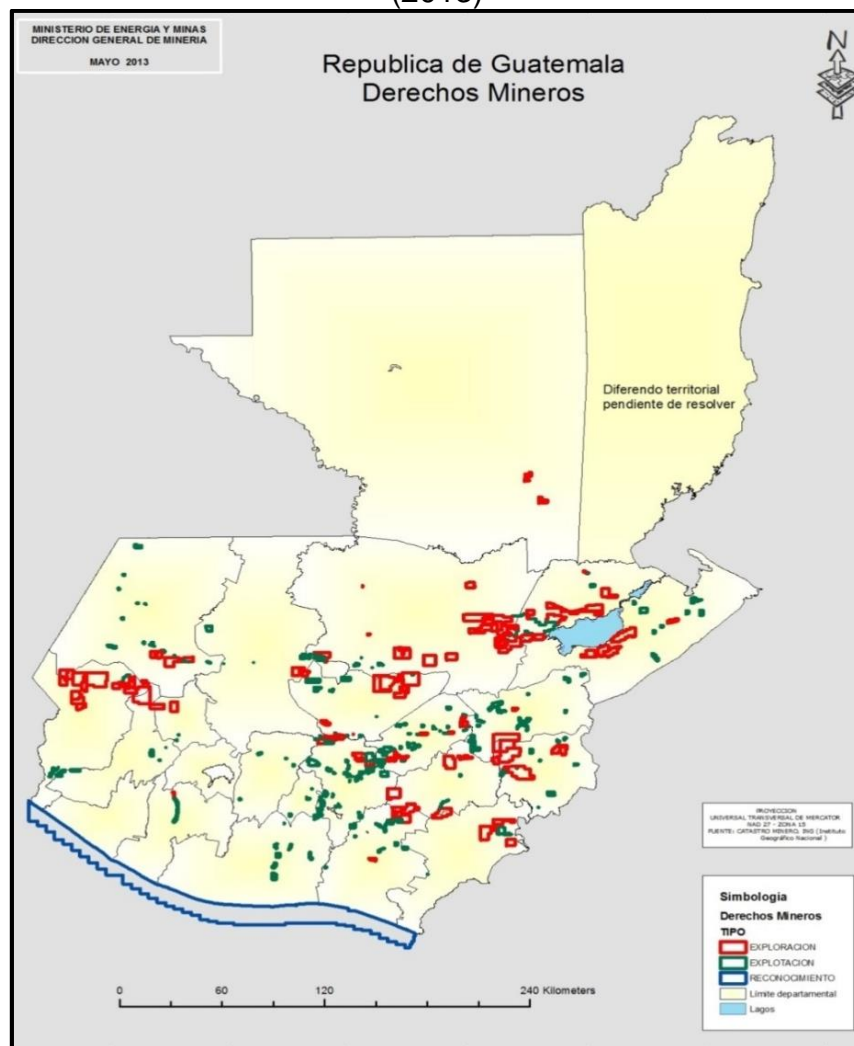
Desde 1970 a la fecha, la minería nacional se ha desarrollado con altibajos, para el caso de los minerales metálicos principalmente, por depender de los precios de los metales en el mercado internacional. Para el caso de los no metálicos la situación ha sido diferente, pues los mismos generalmente se producen para el consumo local. (Joachín, 2007)

Un problema que afectó seriamente la inversión en el sector minero, fue la inestabilidad política y la falta de seguridad para las empresas extranjeras que se mostraban interesadas en la explotación de minas en Guatemala.

Sin embargo, a partir de la firma de los acuerdos de paz las cosas han cambiado. De acuerdo a las nuevas políticas del gobierno, a través de la Dirección General de la Minería del MEM, las inversiones en el sector económico del país han cobrado gran importancia (MEM, 2014)

En el siguiente mapa se observan las ubicaciones geográficas de las industrias mineras, que hasta el 2013 tienen estos derechos, considerando el reconocimiento, exploración y explotación tanto de minerales metálicos como no metálicos.

Figura 1.
Ubicación minera con derechos mineros
República de Guatemala
(2013)



Fuente: MEM, 2013.

Como se ha mencionado anteriormente, la minería en Guatemala no ha sido tradicionalmente fuerte, ni grande, pues abarca 1.6% PIB, comparado con otros sectores más tradicionales como la agricultura, industria y comercio, según estudios realizados por el Centro de Investigaciones Económicas Nacionales -CIEN- (2009).

A pesar de ello, la producción en minerales metálicos ha ido en aumento, tanto que para el 2010 significó un cierre de ingresos de 4,010.4 millones de quetzales por la extracción de 296,203 onzas troy de oro y 6,245,035 onzas troy de plata, tal y como se muestra a continuación:

Tabla 1.
Producción Minera Nacional
República de Guatemala
(2005 – 2010)

Producto	Unidad	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Sumatoria
Minerales metálicos								
Hematita	TM							
Oro	Onzas troy	23,825*	161,905	227,233	239,453	272,783	296,203	1,221,402
Plata	Onzas troy	227,446	1,598,517	2,837,204	3,187,181	4,110,016	6,245,035	18,205,399
Plomo	TM	23	28	363	117			
Minerales no metálicos								
Basalto	TM	512	1,603,897	2,084,606	1,582,770	56,534	1,155,959	6,484,278
Caliza	TM	75,984	30,495	2,306,123	1,515,803	2,537,403	4,910,289	11,376,097
Silice	TM	--	--	67,975	65	35,933	62,268	166,241
En millones de quetzales								
Minerales metálicos		101.6	899.4	1,592.5	1,921.3	2,710.5	4,019.4	11,244.7
Hematita					0.0	0.4	0.1	0.5
Oro		91.5	748.6	1,234.1	1,571.5	2,199.6	2,953.5	8,798.8
Plata		10.0	145.2	291.8	349.7	510.5	1,065.8	2,373.0
Plomo		0.1	0.1	0.3	0.0			0.5
Minerales no metálicos		36.7	166.8	192.5	263.1	249.7	165.0	1,073.8
Basalto		0.0	30.6	0.1	38.6	0.8	28.4	98.5
Caliza		0.5	3.1	58.8	126.2	47.3	60.0	295.9
Silice		--	--	27.6	134.8	17.3	29.1	208.8

Fuente: MEM, Anuario Estadístico Minero, citado por EITI 2011.

La existencia en el país de yacimientos minerales y canteras aptas para su explotación comercial, ofrecen oportunidades de exploración minera y nuevas inversiones de capitales nacionales y extranjeros. EITI (2011), estima las minas para la explotación de minerales más importantes del país, las cuales se detallan a continuación, en una clasificación según la extracción de mineral:

No metálicos (basalto, caliza y silice)

- a) San José Mincesa: es un proyecto de explotación de calizas y otros minerales para la producción de cemento. Localizada en el municipio de San Juan Sacatepéquez, la cual se encuentra en fase de construcción a cargo de Cementos Progreso.

- b) En cuanto producción en la actualidad, la mina más importante de extracción de minerales no metálicos, se encuentra en posesión de inversión guatemalteca, proyecto desarrollado por Cementos Progreso, en el departamento de El Progreso.

Metálicos (oro, plata, plomo, mercurio y ferroníquel)

- c) El Pato: ubicado en el departamento de Chiquimula, actualmente cuenta con una licencia de exploración de oro. Actualmente, es propiedad de la Compañía Minera El Cóndor, S.A, subsidiaria de *Goldex Resources* de Canadá.

- d) Cerro Blanco: localizado en el municipio de Asunción Mita, Jutiapa, propiedad de Entre Mares de Guatemala subsidiaria de *Goldcorp Inc*, el proyecto busca la explotación de dos millones de onzas de oro, según reservas estimadas a diciembre de 2010.

- e) San Rafael: actualmente está terminando de realizar el montaje de la planta, la cual se encuentra ubicada en el km. 96.5 carretera Mataquesuintla, San Rafael Las Flores, Santa Rosa, denominado "Proyecto El Escobal", donde extraen principalmente plata concentrada, que posteriormente se divide en plomo y zinc; luego del proceso, se exporta a

granel hacia Canadá. El proceso de extracción de los minerales del suelo es a través de mina subterránea y no tienen fundición de minerales.

- f)** Compañía Guatemalteca de Níquel, S.A. -CGN- (antes EXMIBAL, S.A.), en el municipio de El Estor, departamento de Izabal. El objetivo de la inversión es extraer 590 mil toneladas de níquel en un período de 30 años. La compañía era propiedad de la canadiense HudBay y a mediados de 2011 fue vendida a Solway una compañía europea, quienes actualmente están a cargo del proyecto desde el 2012, invirtiendo en la fase de construcción de la planta de producción más de US\$97 millones en Izabal y US\$73 millones a nivel corporativo. Esta planta empezó sus operaciones en 1970, pero a falta de inversión y los precios bajos del níquel, detuvo sus actividades de extracción, reiniciando sus operaciones de extracción desde finales del 2012.
- g)** Marlin -Montana Exploradora, S.A.-: ubicada en el municipio de San Miguel Ixtahuacán, departamento de San Marcos; operada con inversión canadiense, inició sus operaciones aproximadamente en el año 2006. En dicha mina se calculan reservas de 2.4 millones de onzas de oro y 40 millones de onzas de plata, el tiempo que se estima esté en producción será de 10 a 15 años, con costos de producción calculados en poco más de 150 dólares la onza, las ganancias que espera superan los 2 mil millones de dólares estadounidenses, que superan por mucho los 120 millones que fue la inversión inicial, siendo el proyecto minero de oro y plata más grande y rentable de Centroamérica. (López, M., Hurtado, L., Menéndez, E. & Gutiérrez, R., 2010)

Es importante mencionar que las únicas minas que poseen hornos de fundición, que funcionan a través de sistemas hidráulicos, es la Compañía Guatemalteca de

Níquel -CGN- y Mina Marlin, plantas de producción en las cuales se realizó la evaluación de los aceites hidráulicos tradicionales.

En todo proceso de producción en las plantas mineras, existen deficiencias en los mantenimientos, debido a que los programas usualmente son preventivos o correctivos y no predictivos, aunado a utilización de sistemas hidráulicos con lubricantes tradicionales como parte del insumo, los cuales no cumplen con las características apropiadas para esta fase del proyecto, el cual se realiza a altas temperaturas, conllevando riesgos no solamente para el proyecto, sino para la vida de los trabajadores.

El mantenimiento predictivo, como parte de un control estricto, dentro de los procesos productivos mineros expuestos a temperaturas por encima de los 1,600 grados centígrados, con las unidades hidráulicas para la producción y el uso del aceites hidráulicos tradicionales, son de alto impacto en el área técnica-financiera, en la gestión ambiental y en la seguridad laboral de los trabajadores en la industria minera.

En tantos casos, el incumplimiento a las regulaciones internacionales y/o normativas legales, o simplemente, los costos monetarios que representan los aspectos a la mejora técnica de los procesos críticos de producción, la gestión ambiental y la seguridad industrial, forman parte de la historia; considerando soluciones, lamentablemente, después de que ha ocurrido el accidente.

Con la descripción de los aspectos históricos más importantes sobre la industria minera y su evaluación a nivel local, es necesario el conocimiento de los accidentes que han ocurrido dentro de las dos minas, y aunque no se den a conocer con claridad, los desastres mineros a nivel mundial, describen claramente el nivel de riesgo de operación en una mina.

2. Marco teórico

Definiendo la minería como una actividad económica del sector primario representada por la explotación o extracción de los minerales, que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos. También, es considerada como el conjunto de individuos que se dedican a esta actividad o el conjunto de minas de una nación o región. Se realizan diligencias de sondeo y perforación, para luego proceder a la explotación; es decir, al retiro de los minerales encontrados. (Orozco, 2011).

El autor citado también indica, que existe una gran variedad de minerales a explotar, los metálicos, tales como: hierro, cobre, plomo, oro, plata, cromo, mercurio, aluminio, entre otros, los cuales son empleados hoy en día como materias primas básicas para la fabricación de toda clase de productos industriales; los no metálicos como: granito, mármol, arena, arcilla, sal, mica⁶, cuarzo, esmeralda y zafiro que son usados como materiales de construcción y materia prima de joyería, entre otros usos; y por último, los de mayor significación en la actualidad, los minerales energéticos o combustibles, empleados principalmente para generar energía, como el petróleo, gas natural y carbón o hulla.

Igualmente expone, la actividad minera se puede dividir en cuatro tipos: 1) la minería de superficie, consistente en explotaciones a cielo abierto u otras excavaciones abiertas, que incluyen las canteras; 2) la minería subterránea -galería o túneles-; 3) la minería submarina o dragado; y 4) la minería por pozos de perforación, principalmente para la obtención de los combustibles.

⁶ Según la Real Academia de la Lengua -RAE-, la mica es un mineral compuesto de hojuelas brillantes, elásticas, sumamente delgadas, que se rayan con la uña. Es un silicato múltiple con colores muy diversos y que forma parte integrante de varias rocas.

La importancia de la minería, es lo suficientemente relevante para considerar que todas las civilizaciones han dependido en mayor o menor grado de esta actividad tan antigua como el hombre mismo, su futuro depende de un mayor conocimiento de las diversas áreas del negocio: producción, mantenimiento, puertos, pilas, transporte y finanzas, es por medio de esta información valiosa cómo las mineras podrán aumentar progresivamente su productividad. (Gil, 2014)

En la minería, los tiempos necesarios entre la exploración, los estudios de pre-factibilidad y factibilidad son largos; y las inversiones para la construcción y el inicio de operaciones requieren de cientos de millones de dólares; asimismo, para los procesos de explotación de los recursos pueden pasar décadas, hasta el cierre de la mina.

Según el manual de minería de estudios mineros del Perú (2013), considera que las etapas del proceso productivo, son comunes para cada proyecto minero. Pero es importante dejar en claro que cada mina es distinta a otra, por lo que puede haber algunas modificaciones en las etapas, de tal manera de hacer más eficiente el proceso productivo y mejorar la forma de extraer el mineral de interés.

2.1. Proceso productivo minero

El proceso productivo -de operaciones- de una mina inicia desde la extracción del mineral, continuando con el procesamiento para culminar con la fundición y refinación.

2.1.1. Extracción

Consiste en la obtención del mineral desde la mina para continuar con la siguiente etapa del proceso productivo. La extracción del mineral se puede llevar a cabo mediante dos formas:

a) Cielo abierto

Es una explotación en superficie, que extrae en franjas horizontales llamados bancos en forma descendente, a partir del banco que está en la superficie. Normalmente para la remoción de un banco de mineral, es necesario extraer el material estéril que lo cubre, lo que se llama desbroce y expresa una relación de tonelaje de desmonte a mineral, este ratio⁷ varía entre minas, ya que dependen netamente de la posición y tipo de yacimiento, que es totalmente variable. Este tipo de explotación es de gran volumen y se aplica en yacimientos masivos de gran tamaño, cerca de la superficie, puesto que a mayor profundidad aumentará la cantidad de material estéril a remover -radio de desbroce- aumentando en consecuencia el costo de producción.

Las actividades o procesos que comprende este método de explotación, se puede clasificar en: exploración y desarrollo, perforación y disparos, carga y acarreo.

b) Subterránea

El método de explotación subterránea, es utilizado cuando las zonas mineralizadas -vetas⁸ o cuerpos de mineral económico- son angostas y profundas, por lo que según las evaluaciones técnicas y económicas, justifica la perforación de túneles y socavones para posibilitar su extracción.

Las actividades o procesos que comprende este método de explotación son: exploración, desarrollo, preparación, explotación y extracción, transporte y manipuleo de minerales.

⁷ Advertida una contradicción en los datos señalados por el titular de derecho minero y, los emitidos por el informe del área técnica, la autoridad ordena ratificarse.

⁸ Fisura, falla o rajadura de una roca llena de minerales que migraron hacia arriba, proveniente de alguna fuente profunda.

2.1.2. Procesamiento

El mineral extraído de la mina, es recibido en una cancha o patio, acondicionados para la clasificación del mineral, que luego pasará al proceso de chancado y los bloques de mineral demasiado grandes, previamente serán tratados para reducir sus dimensiones en la chancadora primaria. En este proceso se utilizan perforadoras, cargadores y otros equipos necesarios con sus respectivos operadores.

El mineral clasificado es llevado a la chancadora primaria para ser triturado, en donde se produce el primer proceso de chancado, reduciendo el tamaño del mineral a dimensiones determinadas, de allí pasa a la chancadora secundaria en donde el mineral se reduce a diámetros menores, queda listo para pasar al proceso de molienda.

En la molienda, el mineral chancado mezclado con agua, es procesado en recipientes cilíndricos denominados molinos de bolas y/o barras; convirtiéndolo en polvo, pasa a la clasificadora, en donde la mezcla tiene consistencia muy fina.

Existe una gran diversidad de procesamientos metalúrgicos, dependiendo de las características del mineral. Los principales métodos son: a) Sulfuros -minerales profundos- a través del método de flotación, o bien, b) Óxidos -minerales en superficie-, a través del método de lixiviación. Con los métodos mencionados, se logra la reducción de tamaño del mineral por métodos físicos para liberar las partículas metálicas desde la roca y con ello se aumenta la concentración de los metales.

2.1.3. Fundición y refinación

El tercer proceso, y más importante para la evaluación y análisis de los fluidos hidráulicos en altas temperaturas, como herramienta del mantenimiento predictivo,

objeto del tema de investigación, se fundamenta en la separación de los metales contenidos en los concentrados por un proceso, el cual consiste en transformar el mineral de sólido a líquido a través de altas temperaturas el cual funde el material concentrado. De este modo se obtienen altos contenidos de metales en forma impura.

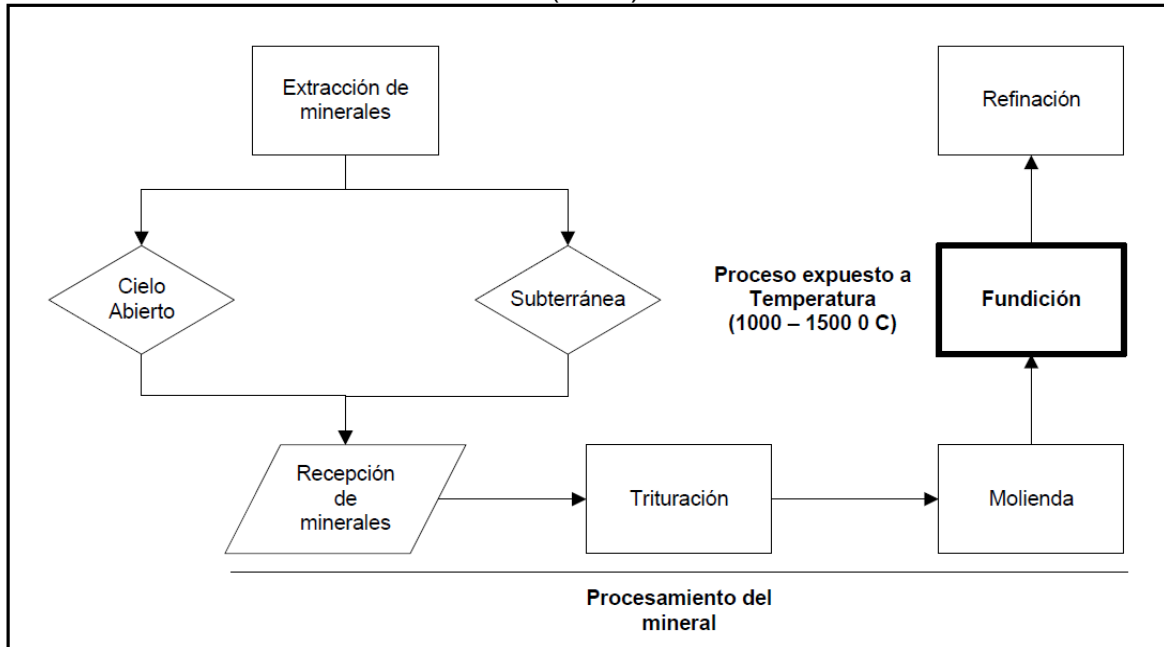
La obtención de los metales, a partir de sus óxidos mediante el uso del calor se denomina “procesos piro metalúrgicos”, y consiste en la obtención de los metales mediante la destrucción de la unión de enlaces entre el oxígeno y el metal, el cual puede ser muy débil o muy fuerte.

Los procesos de fundición consisten en la separación de los metales contenidos en los concentrados. Comienzan con la eliminación del azufre, para ello se aplica, en hornos de soleras múltiples un tostado a temperaturas moderadas -de 600° a 800° C- que causa una transformación de sulfuros a óxidos al haber eliminado el azufre.

El proceso continúa en hornos de reverberos y convertidores, a temperaturas más elevadas -de 1200° a 1650°C-. Se logra así la fusión de los materiales que ingresan. Con ello se obtienen metales, aun en forma impura, con contenidos de metales valiosos. Por ejemplo, en el caso del cobre, se obtiene el cobre ampolloso o blíster con un contenido de cobre que alcanza hasta el 99.2%, recuperándose también plata, oro, bismuto, selenio, telurio y arsénico.

La planificación y operación de una mina, requiere conocer a profundidad las operaciones unitarias de extracción y procesamiento de minerales, con una mirada integrada de todos los procesos y mejorando la visión en la productividad y costos; velando siempre por la seguridad de las personas y el medio ambiente.

Figura 2.
Proceso productivo
Industria minera
(2014)



Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior, se describe el proceso productivo minero, donde se resalta el área de fundición, proceso crítico donde se valorarán los lubricantes hidráulicos tradicionales dentro de los sistemas hidráulicos.

Una vez establecida la técnica del mantenimiento predictivo a utilizar, para el efecto de la investigación, se consideró la técnica del análisis de lubricantes, debido a la temperatura de operación y exposición de los sistemas hidráulicos, dentro del proceso de fundición en la industria minera.

El último proceso productivo se refiere a la purificación de los metales producto de la fundición, para su transformación industrial. Esta fase, puede realizarse a través de dos métodos: a) refinación a fuego –pirometalúrgia-; o, b) refinación por electro-obtención –EW-

La planificación y operación de una mina, requiere conocer a profundidad las operaciones unitarias de extracción y procesamiento de minerales, con una mirada integrada de todos los procesos y mejorando la visión en la productividad y costos; velando siempre por la seguridad de las personas y el medio ambiente.

2.1.3.1. Mantenimiento

El incremento en la competencia, la globalización de las actividades, la orientación hacia la calidad total, los permanentes cambios tecnológicos, la primacía de la seguridad y las aplicaciones de la industria en aspectos medio ambientales, son algunos de los factores que han impulsado profundos cambios en la estructura de las empresas. Dichas modificaciones se han trasladado al área de producción por ser el que se encuentra implicado en la eficiencia y sostenibilidad de los procesos industriales; luego se ha desplazado al área de Mantenimiento, tradicionalmente considerada una fuente de costos y situada ahora en perspectivas más estratégicas. (Carnero, 2012)

Alberto Mora Gutiérrez (1999) en su tesis doctoral en Ingeniería Industrial, define mantenimiento, como el incremento en la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar las actividades, tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos, y sus funciones van más allá de las reparaciones. Su valor agregado tiene relevancia a medida que éstas disminuyan, como resultado de un trabajo planificado y sistemático.

Es decir, la principal función del mantenimiento dentro de una industria, es mantener la funcionalidad y el buen estado de los equipos a través del tiempo, para que cumplan su función de producir bienes.

A principios del siglo XX, se reconoce la aparición de los primeros sistemas organizacionales de mantenimiento para sostener las máquinas, en Estados

Unidos, donde todas las soluciones a fallas⁹ y paradas imprevistas de equipos se solucionan vía mantenimiento correctivo. (Newbrough & Ramond, 1982).

Por lo que es necesario indicar, que debido a que la producción industrial antes de 1950, estaba enfocada en el bien o servicio, no le mostraban mayor importancia al mantenimiento; por ello, solo se enfocaba en realizar acciones correctivas en los equipos, pretendiendo solamente solucionar los fallos que se habían presentado dentro del lapso de producción. (Mora, 2010)

Así también, con los acontecimientos ocurridos en la primera guerra mundial, resulta crucial la producción sin interrupciones y con aprovechamiento de toda la capacidad de la industria; la trascendencia de los medios de producción se incrementa, y con ello surge la necesidad de adoptar un mantenimiento como actividad organizada, aunque se preserve la orientación del “enfoque máquina”, apareciendo consultoras pioneras en materia de mantenimiento mecánico en industria, transporte y granjas agrícolas. (Valverde, 1994)

Es entonces cuando surge el mantenimiento correctivo, definido como la reparación de la falla en un corto período de tiempo. Las personas encargadas de reportar las averías¹⁰ dentro de las máquinas son los propios operarios o equipos y, las reparaciones corresponden al personal de mantenimiento. La reparación propiamente dicha es rápida y sencilla, así como su control y puesta en marcha. (Navarro, Pastor & Tejedor, 1997)

Según Mora (2010), fue hasta en 1970, que la producción empezó a ser de suma importancia, debido a que estaba enfocada en optimizar la producción. Siendo el mantenimiento, un factor importante para incidir en el desempeño de los equipos, debido a que, generando menos fallas en operación, se optimizan los tiempos. Es

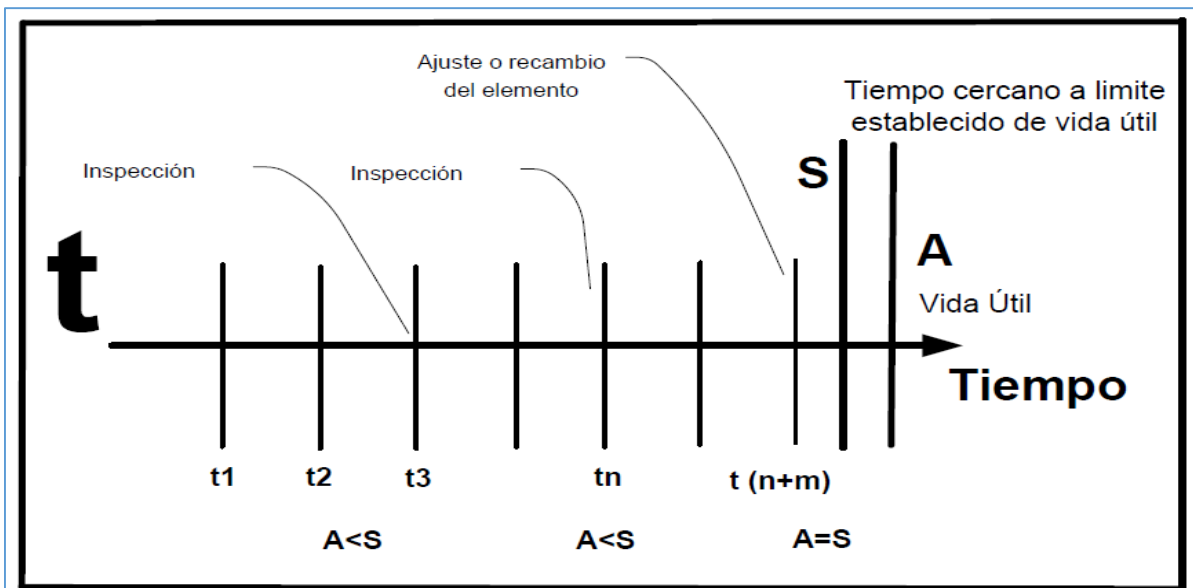
⁹ Con el fin de regresarle la funcionalidad al equipo.

¹⁰ Se realizan con el único fin de evitar fallas futuras de orden real o potencial, Mora (2010).

por eso, que se empezaron a realizar acciones planteadas, para prevenir y reparar fallas.

Continuando con la historia expuesta por el autor, con en el paso de los años surge el mantenimiento preventivo, definiéndolo como el parámetro de medición para determinar el momento del cambio físico -o reconstrucción-, que se haga en términos de horas de servicio, cantidad de desgaste, unidades producidas, velocidades alcanzadas, consumo, valor de alguna variable de condición, tal y como se muestra en el siguiente gráfico, donde las inspecciones en tiempos determinados, garantizan la vida útil de los equipos.

Gráfico 1.
Mantenimiento preventivo
Procesos productivos
(2010)



Fuente: Alberto Mora Gutiérrez, Mantenimiento 2010, p.432

Al observar la figura anterior, se puede establecer que el concepto de mantenimiento preventivo, es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de una planta de producción y sus equipos. Con el fin de detectar condiciones o estados

inadecuados de esos elementos, que pueden causar paros en producción o deterioro parcial de las máquinas. (Patton, 1995)

Es por ello, que a partir de 1990, la orientación empezó a realizarse sobre la competitividad, mejorar los índices mundiales de productividad y las normas internacionales de estandarización -ISO-¹¹; dichos factores hicieron tomar acciones a las industrias, para llevar el control de los mantenimientos, debido a que los costos, comparaciones, mediciones, predicciones, e índices, empezaron a tomar relevancia en los tiempos muertos¹² de los equipos y los tiempos de ocio¹³ de los operarios. (Mora, 2010)

Entre el siglo XX y XXI, la innovación tecnológica para el ser humano fue un gran paso para el desarrollo industrial, debido a que se crearon diversas herramientas de optimización, control y monitoreo del mantenimiento y, se empezaron a tomar acciones preventivas; no solo para la protección de los equipos y su buen funcionamiento, sino para tomar acciones y buscar las certificaciones ISO, para mostrarse ante el consumidor, como responsables con la seguridad industrial y la gestión ambiental, entre otras.

Dada la definición del mantenimiento correctivo y preventivo, posteriormente surge el mantenimiento predictivo, definido como el estudio permanente de las variables internas o externas, asociadas -directa o indirectamente- al proceso de operación de una máquina, permite diagnosticar el comportamiento futuro en tiempo real de la posible aparición de fallas o situaciones fuera de las condiciones estándar, con el fin de evitarlas y alargar los períodos de funcionalidad del equipo y, por ende, de la vida útil total. (Mora, 2010)

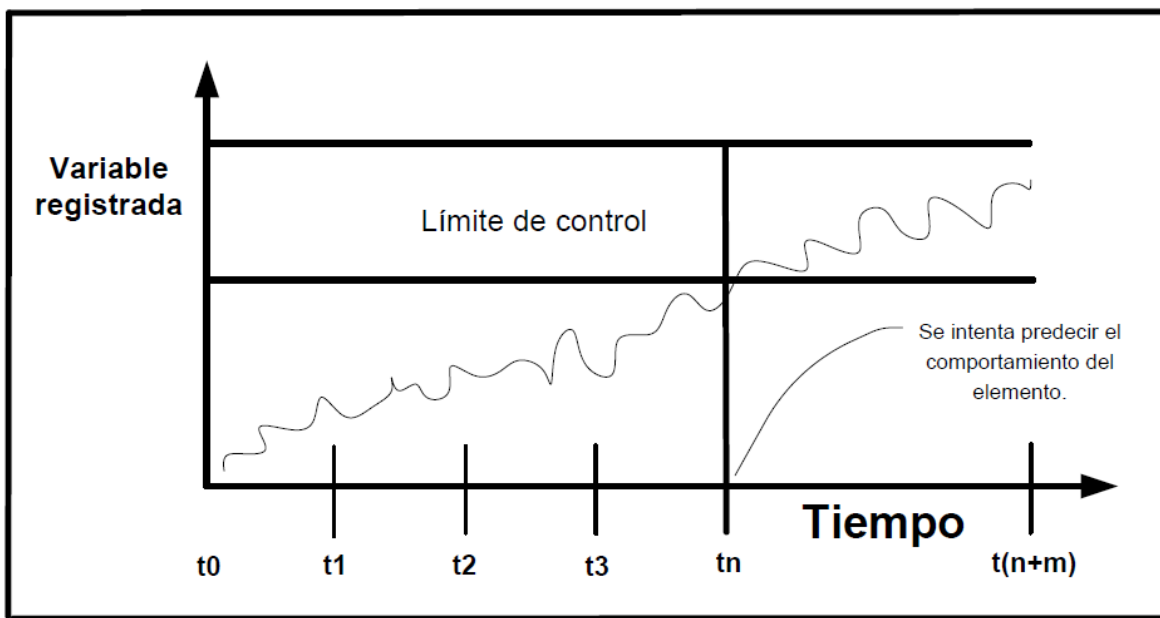
¹¹Siglas en inglés, International Organization for Standardization

¹² Según RAE, tiempo muerto, es un intervalo de tiempo en que el funcionamiento de un sistema no es eficaz.

¹³ Donde el operario, por la actividad o inactividad de la máquina, no realiza ninguna actividad. (nota del autor)

A continuación, Alberto Mora describe las mejoras que se pueden realizar dentro del mantenimiento. En un período establecido de tiempo, se puede determinar el comportamiento del equipo y los posibles cambios de elementos mecánicos, utilizando las técnicas de análisis de vibración, termografía, lubricantes, etc., como parte de acciones predictivas.

Gráfico 2.
Mantenimiento predictivo
Procesos productivos
(2010)



Fuente: Alberto Mora Gutiérrez, Mantenimiento 2010, p.435

Asimismo, a partir del 2004, a nivel mundial, las empresas comienzan a competir por la gestión y operación integral de activos en forma coordinada entre ambas dependencias, anticiparse a las necesidades de los equipos y de los clientes de mantenimientos predictivos y la gestión de activos.

Continuando con el autor, el progreso del mantenimiento como área de estudio permite distinguir varias generaciones evolutivas, en relación con los diferentes objetivos que se observan en las áreas productivas o de manufactura -y en

mantenimiento- a través del tiempo. El análisis se lleva a cabo en cada una de estas etapas, que muestran las empresas en función de sus metas de producción para ese momento. La clasificación generacional relaciona las áreas de mantenimiento y producción en términos de evolución.

Según Labaien y Carrasco (2009), existen varias técnicas aplicadas para el mantenimiento preventivo, entre las cuales destacan las siguientes:

En análisis de lubricantes, determina el estado de operación de las máquinas, a partir del estudio de las propiedades físicas y químicas de su aceite.

Asimismo, el aceite es muy importante en las máquinas, porque sirve para proteger del desgaste, controla su temperatura y elimina sus impurezas. Cuando el aceite presenta altos grados de contaminación y/o degradación, no cumple con estas funciones y la máquina comienza a fallar. También, permite cuantificar el grado de contaminación y/o degradación del aceite, por medio de una serie de pruebas que se llevan a cabo en laboratorios especializados, sobre una muestra tomada de la máquina cuando está operando o cuando acaba de detenerse.

El análisis de vibraciones, se basa en el estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas a través del comportamiento de sus vibraciones. (CONSTRUSUR, 2010)

El análisis por ultrasonido, estudia las ondas de sonido de alta frecuencia producidas por los equipos que no son perceptibles por el oído humano. (Labaien y Carrasco, 2009)

Asimismo, el análisis por algoritmos, es una técnica deductiva que se centra en un suceso accidental particular (avería) y, proporciona un método para determinar las causas que han producido dicha avería.

Igualmente, el análisis eléctrico, es el de realizar estudios eléctricos sobre aquellos equipos que pueden presentar averías de origen electro-mecánico.

La Termografía, es una técnica que estudia el comportamiento de la temperatura de las máquinas, con el fin de determinar si se encuentran funcionando de manera correcta. (LAND, 2010)

Las herramientas del mantenimiento predictivo, en especial el análisis de lubricación, es de suma importancia para los sistemas hidráulicos, debido a que estos utilizan un medio fluido bajo presión, para crear movimiento en componentes de la máquina. El fluido puede ser vapor de agua, gases -incluyendo aire-, agua, aceite u otros medios de comunicación. En algunos casos, se utiliza incluso la grasa, aunque sus características de fluidez son mucho menos deseables para la transferencia de energía a través de distancias. (STLE, 2005)

Los fluidos hidráulicos, adecuadamente seleccionados no sólo son adecuados para la transmisión de la presión y flujo controlado, sino también minimizar el desgaste, reducir la fricción, proporcionar el enfriamiento, prevenir oxidación y corrosión, y ayudar a mantener los componentes del sistema libre de depósitos. (Pirro & Wessol, 2004)

Continuando con los autores, los aceites hidráulicos de alta calidad, son capaces de mantener sus características iniciales y ofrecer un servicio satisfactorio a largo de un período de tiempo en sistemas hidráulicos que están bien diseñados y mantenidos.

Así también, el dispositivo de almacenamiento de energía en los sistemas hidráulicos, se inventó en 1850 y desde entonces, mucho trabajo de desarrollo se ha hecho con respecto a las máquinas de accionamiento hidráulico. El

acumulador sigue siendo una parte importante de los sistemas hidráulicos. Prensas hidráulicas se han utilizado para las operaciones de forja desde alrededor de 1860, y una transmisión hidráulica de velocidad ajustable fue utilizado con eficacia en 1906. Algunos consideran esta última fecha, como el comienzo de la hidráulica moderna, pero la producción a mayor escala de las máquinas de accionamiento hidráulico, no se produjo hasta 1920.

Todo actuación hidráulica se basa en el principio de Blaise Pascal, descubrimiento en el siglo XVII; posteriormente Daniel Bernoulli, en su obra de Hidrodinámica en 1738, demostró que un fluido en movimiento, donde las diferencias en las energías de presión, cinética y de posición, permanecen constante a través de la trayectoria del fluido.

Esta misma obra, considera el efecto del teorema de Bernoulli¹⁴, el cual indica que un incremento en la velocidad resultará en disminución de la presión. Para ganar presión nuevamente, se debe de restringir la velocidad del fluido. Este principio, resulta de utilidad en el diseño de sistemas hidráulicos, máquinas herramientas, distribución de agua potable, automotriz y aviación, además de explicar porque un avión puede volar.

Por lo anterior, la hidráulica, cubre un amplio espacio de aplicaciones industriales y comerciales, en los que es necesario o ventajoso, ser capaz de convertir la energía mecánica en energía de fluido y luego en trabajo mecánico.

¹⁴ Existe una fórmula para demostrar el teorema, se puede consultar la referencia bibliográfica de Pirro, D. M. & Wessol, A. A. en su libro, fundamentos de lubricación. Pag. 37- 69, 89 -151. (nota del autor)

2.2. Mantenimiento predictivo, a través del análisis de lubricantes

Analizar el tamaño, localización, equipos, instalaciones y organización óptima para realizar la producción, son aspectos técnico-operativos que un proyecto debe comprender, para todo funcionamiento y operatividad del mismo. (Baca, 2010)

La selección de esta técnica predictiva, puede subordinarse a múltiples factores, aunque es una de las que tiene mayor probabilidad de aplicación en plantas industriales, debido a la tipología de equipos y la cantidad de fallos que puede diagnosticar. (Carnero, 2012)

Así mismo, el propósito de un programa de mantenimiento predictivo, basado en análisis de lubricantes, es necesario para conocer los beneficios que se pueden obtener de la aplicación.

Esta técnica, consiste en analizar y estudiar el estado de diferentes parámetros físicos y químicos de un aceite, para comprobar su estado, como sigue:

a) Análisis de viscosidad e índice de viscosidad

La medición de la viscosidad¹⁵ en el aceite hidráulico, es mediante la tendencia, porque puede modificarse por alteraciones internas, relacionadas con el crudo de procedencia y el proceso de refinado y, por condiciones externas que influyen sobre las fuerzas moleculares. (Carnero, 2012)

En relación al índice de viscosidad¹⁶ -VI-, es la variabilidad que tiene la viscosidad del aceite hidráulico, frente a la temperatura (Delgado & otros, 1988). Existe una

¹⁵ Debe de superar la prueba ASTM D 2422

¹⁶ Debe de superar la prueba ASTM D 2270

tendencia de dependencia inversa, entre el VI respecto a la variación de temperatura.

La teoría, establece cambio de lubricante cuando este ha disminuido en un (+/-15%) de su viscosidad original, por lo que es un parámetro considerable, para que el aceite hidráulico siga operando.

El cálculo del índice de viscosidad se realiza mediante comparación con otros dos lubricantes, a los que se les asigna índices de viscosidad de 0 y 100.

La información que aporta este ensayo de laboratorio, es relativa a la degradación del lubricante, pues, con las horas o severidad de operación se consumen los aditivos mejoradores de este parámetro, y por tanto, desciende su valor. (Carnero, 2012)

b) Análisis del número total de acidez (TAN)

El equipo de laboratorio empleado actualmente, para proceder a la cuantificación del TAN, es un valor automático. Su modo de operación, consiste en incluir en un brazo agitador, una determinada cantidad de la muestra diluida. Un sensor, se encarga de realizar la valoración mediante una determinada cantidad de álcali o ácido, que se expresa comúnmente en un producto de miligramo de hidróxido de potasio por gramo de aceite -mg de KOH / g-. (Carnero, 2012)

Según Carnero (2012), el valor máximo de variación del número total de acidez -TAN¹⁷- permitido para un aceite, es un número mayor al inicial; cuando sobrepasa este valor, las probabilidades a la oxidación o la vejez del aceite, son altas.

¹⁷ Por las siglas en inglés, Total Acid Number.

El nivel de aditivos y el TAN¹⁸ en los aceites hidráulicos, están inversamente relacionados con el rendimiento y el envejecimiento del mismo.

c) Análisis de los puntos de inflamación, combustión y autoignición

El punto de inflamación¹⁹, es la temperatura inferior a la que los vapores del lubricante se pueden incendiar espontáneamente, en presencia de una llama, sin que el aceite se carbonice. (Fitch, 2000)

Asimismo, el punto de combustión²⁰, es la temperatura a la cual los vapores del lubricante, en presencia de una llama, se mantienen en combustión al menos durante cinco segundos. (Carnero, 2012)

Respecto al punto de autoignición²¹, es la oxidación acelerada del aceite por la exposición constante de temperatura, hasta que en cierto momento, el calor desprendido hace que se mantenga la combustión por si sola. (STLE, 2005)

Según Fitch (2000a), la obtención de estos puntos se puede realizar mediante los siguientes ensayos de laboratorio:

- i. *Cleveland* en vaso abierto. Se requiere un contenedor metálico abierto, en el que se dispone la muestra del lubricante. Una llama de pequeño tamaño se dispone sobre la superficie de la muestra a intervalos regulares de tiempo. Cuando tiene lugar la inflamación del lubricante, se registra la temperatura como punto de inflamación.

¹⁸ Debe de superar la prueba ASTM D 664.

¹⁹ Debe de superar la prueba ASTM D 92

²⁰ Debe de superar la prueba ASTM D 92 / IP36

²¹ Debe de superar la prueba ASTM E659

- ii. *Pensky-Marten* en vaso cerrado. En este procedimiento, el contenedor de la muestra de lubricante, se encuentra cerrado, y la llama se introduce periódicamente mientras que el lubricante se remueve.
- iii. *Mini flash*. Consiste en un dispositivo que permite efectuar análisis, cuando se están efectuando rutas y, por tanto, resulta el más apropiado para los mantenimientos predictivos. La reproducibilidad y repetitividad de este ensayo, es muy superior que los dos ensayos anteriores.

d) Análisis de la demulsibilidad y tendencia a la formación de espuma

Si el aceite hidráulico posee buenas características demulsificantes²², resistirá la formación de emulsión con el agua, separándose rápidamente de la misma para permitir su drenado desde el fondo del depósito. (Pirro & Wessol, 2004)

Según STLE (2005), la mejor protección, es que fluidos hidráulicos tengan propiedades inhibitoras de la formación de espuma -antiespumantes²³- ya sea como propiedad natural o aumentada, con la adición de aditivos.

Según Carnero (2012), para efectuar el análisis de la demulsibilidad se introduce $4 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ de lubricante y similar cantidad de agua en una probeta, y se inserta en una bañó de silicona, que se encuentra a $54 \text{ }^\circ\text{C}$. Se remueve la muestra durante 300 segundos, mediante un eje a 1500 RPM, creándose una emulsión. El resultado obtenido es un factor múltiplo de 10^{-6} m^3 de lubricante, agua y de emulsión, por este orden. El tiempo de dilación después de interrumpir la agitación, hasta que el sistema alcanza la estabilidad se encuentra normalizado; hay patrones sobre el tiempo, que debe tardar en desaparecer la fase de emulsión. Se advierte el estado de las fases cada 300 segundos; si al final del

²² Deben de superar la prueba ASTM D 1401, 40/40/0, minutos, contenido de fenol, ppm

²³ Tiempo en min. para la prueba de espuma, ASTM D-892

tiempo total máximo, que tiene estipulado cada ensayo, que quedarse un recubrimiento de emulsión, se considera que existe un comportamiento defectuoso de lubricante, al penetrar agua en el sistema.

Asimismo, el análisis de tendencia a la formación de espumas, cuenta con tres fases:

- i. Prueba en frío. Se inserta la muestra en una probeta de 10^{-3} m^3 (a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), y se hace circular aire a través de un mineral poroso. Se mantiene el proceso durante 300 segundos. El resultado del ensayo, es el nivel que alcanza la espuma en la probeta, con lo que se verifica el nivel de formación de espumas en frío.
- ii. Prueba en caliente. Se incluye la muestra en un baño caliente, a una temperatura constante de $92 \text{ }^\circ\text{C}$, durante media hora. Este está compuesto por aceite de vaselina o silicón. Se repite el proceso de la fase anterior.
- iii. Prueba en frío. Después de realizar la prueba en caliente, se deja enfriar, y se vuelve a hacer transitar aire a través de la piedra porosa durante 300 segundos.

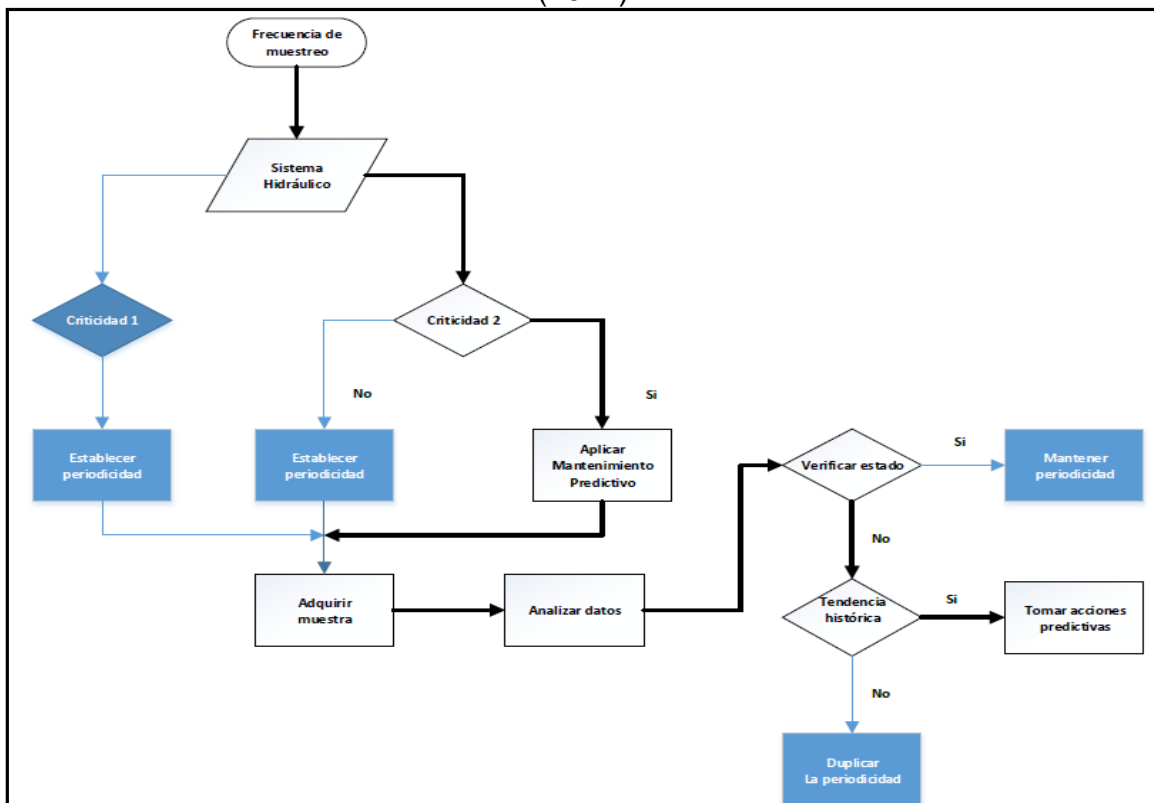
Asimismo, la estabilidad de la espuma, se comprueba a partir del tiempo que transcurre sin que se manifieste espuma. Para realizar esta prueba, se esperan 10 minutos sin circular aire y se mide el tiempo que tarde en disiparse la espuma.

2.2.2. Procedimiento en la frecuencia del muestreo, en el mantenimiento predictivo

Según Carnero (2012), la calidad en el proceso de adquisición de las muestras, es la que garantiza la confiabilidad en los resultados, comparando parámetros de muestreo certeros del mismo equipo.

Considerando, que la frecuencia de muestreo, depende fundamentalmente de la criticidad de los equipos hidráulicos seleccionados, las condiciones de operación y ambientales a las que están sometidos y el tipo de aceite, se establece el siguiente procedimiento.

Figura 3.
Procedimiento en la frecuencia de muestra
Industria minera
(2012)



Fuente: Programas de mantenimiento predictivo, (Carnero, 2012), p. 68

La ruta crítica resaltada anteriormente, que se estableció para la siguiente tesis, enfoca la importancia del análisis de lubricantes, como técnica del mantenimiento predictivo.

Según Terradillos (1997), los resultados que se obtienen en los análisis de aceite, deben de manejarse de cuatro a seis muestras, entre restauración de lubricante. Cuando el trabajo de operación a la que está expuesto el equipo, es elevado.

Además, según Carnero (2012), en cuanto a la selección del equipo industrial, suelen ser los equipos críticos para el proceso de producción, por ser los que originan más pérdidas económicas y financieras, en caso de incumplimiento de su función.

2.2.3. Mantenimiento predictivo de calidad, durante el uso de fluidos hidráulicos

El fluido, es vital para asegurar el buen desempeño de los fluidos resistentes al fuego. El mejor procedimiento como parte del mantenimiento predictivo, es enviar periódicamente muestras de los fluidos hidráulicos a los fabricantes del fluido, para determinar la vida y el rendimiento del mismo. El tiempo y el costo de este procedimiento, resulta insignificante para el control y monitoreo de las unidades hidráulicas. (STLE, 2005)

2.2.4. Mantenimiento en los sistemas hidráulicos

El grado de mantenimiento del sistema, se basa en las expectativas de rendimiento, el fluido utilizado y los parámetros de funcionamiento del sistema. Los diferentes fluidos hidráulicos, van desde la base de aceite mineral, sintético y resistentes al fuego, los mismos exigen distintos niveles de mantenimiento para asegurar el rendimiento. Los fluidos que contengan agua, requieren mayor nivel

de mantenimiento, para garantizar no sólo que se mantengan las propiedades de protección contra incendios, sino que el líquido proporcione, características propias de lubricación durante la operación. (Pirro & Wessol, 2004),

Asimismo, el fluido hidráulico, adaptado a las necesidades del sistema y la comprensión de las limitaciones de ese fluido, comprenden el punto de partida básico para un programa de mantenimiento eficaz.

Continuando con el autor, una vez que el fluido apropiado ha sido seleccionado, el equipo y las condiciones de funcionamiento, dictará el grado de mantenimiento requerido, para monitorear el fluido en operación severa durante largos períodos de tiempo, manteniendo sus características de lubricación óptimas. Los procedimientos de mantenimiento, deben incluir lo siguiente: mantener el fluido hidráulico limpio / control de la contaminación, temperatura de operación adecuada, niveles adecuados de aceite, el análisis periódico de aceite, inspecciones de rutina, niveles de ruido, vibraciones, presiones, cargas de choque, fugas, olor y color del fluido, filtración de partículas contaminantes y la formación de espuma.

2.2.5. Fluidos resistentes al fuego

Cuando existe la probabilidad que un fluido hidráulico, pueda tener incidencia en procesos de alta temperatura, pueden utilizarse fluidos hidráulicos RF. El uso de estos, significa costos adicionales, pero son compensados por beneficios al ambiente y la seguridad industrial, así como la finanzas de largo plazo, pues se caracteriza por su alto rendimiento dentro de las unidades hidráulicas y evita paros no programados en producción al no realizar cambios constantes del insumo.

Cabe mencionar que dichos fluidos, no son a prueba de fuego o no se queman. Lo que implica, es un grado de dificultad a la combustibilidad, auto-ignición y una

tendencia a no propagar una llama, si existiera. Hay pruebas creadas por autoridades, para determinar que los fluidos se pueden clasificar como retardantes del fuego, entre las que destacan las siguientes:

Factory Mutual Research, la Oficina de Minas de E.E.U.U., la Junta Nacional del Carbón del Reino Unido, el Ejército de los E.E.U.U., la Asociación Canadiense de Estándares / Energía, Minas y Recursos Canadá, entre otras industrias de todo el mundo, tienen los métodos de prueba estándar para este propósito. Común a todos, es una prueba de encendido de pulverización en el que el fluido calentado, presurizado emitida desde una boquilla, se somete a una fuente de ignición. Los fluidos a base de agua de alta y soluciones de agua (glicoles de agua) por lo general no se encienden. Otros fluidos ignífugos aprobados pueden encender, pero son autoextinguibles cuando se retira la fuente de ignición. (STLE, 2005)

Según Pirro & Wessol (2004), hay dos tipos básicos de uso para fluidos hidráulicos resistentes al fuego: sintéticos y agua con glicol²⁴. A continuación, se presentan estas opciones:

A) Agua glicol²⁵

Estos fluidos hidráulicos, son soluciones que contienen un 40-50% de agua y el resto de glicol -típicamente dietilenglicol-, y aditivos para impartir los niveles específicos de rendimiento. Debido al contenido de agua que contienen, inhibidores de oxidación de fase líquida y de vapor. Estos, no proporcionan buena protección anti-desgaste natural, sin el uso de aditivos antidesgaste, pero se utilizan en la mayoría de las formulaciones para aplicaciones hidráulicas. El contenido de agua, controla la viscosidad del fluido, así como las características

²⁴ Para ampliar información, consultar el libro principios de lubricación de Pirro & Wessol (2004) o Hidráulicos de STLE (2005). (nota del autor)

resistentes al fuego. Las temperaturas máximas de funcionamiento en la unidad hidráulica, deben limitarse a 60 °C.

B) Sintético (Éster)

Por lo general, estos fluidos son de éster de fosfato, resultando ser de mayor costo. Proporcionan buen rendimiento en comparación con los otros fluidos hidráulicos resistentes al fuego y, menor mantenimiento a mediano y largo plazo. Sus densidades son altas -más pesado que el agua-. Se deben de considerar, los potenciales problemas de compatibilidad con las pinturas, elastómeros -juntas y mangueras-, y otros materiales de la unidad hidráulica. No son compatibles con las emulsiones o fluidos de agua glicol y, se requieren medidas especiales al realizar el cambio a uno de estos. Un fluido sintético, puede ser parcial o totalmente, compatible con los aceites minerales tradicionales. Debido a las densidades de estos fluidos, los requerimientos de bombeo adicionales, pueden ser necesarios.

A continuación, se describe una tabla con los aceites hidráulicos tradicionales y resistentes al fuego, describiendo los parámetros técnicos mínimos que deben de cumplir según STLE:

Tabla 2.
Comparación técnica de aceites hidráulicos tradicionales
En relación a los aceites resistentes al fuego
(2014)

Características Fluido hidráulico*	Aceite mineral	Aceite sintético	Agua Glicol	Sintético, Éster
	Tradicionales		Resistentes al fuego	
(a) Viscosidad @ 40°C (ASTM D-445)	46	68	33	46 - 68
Viscosidad @ 100°C (ASTM D-445)	6.7	8.6	NA	15.8
Índice de viscosidad (ASTM D-2270)	106	110	150	186
(b) Protección a la oxidación (TAN) (ASTM D-664)	Excelente	Excelente	Bueno	Excelente
(c) Punto de inflamación °C (ASTM D-92)	222	240	NA	260
Punto de combustión °C (ASTM D-92/IP36)	260	290	NA	315
Punto de auto-ignición °C (ASTM E-659)	298	410	440	482
Resistencia al fuego	Pobre	Justo	Bueno	Excelente
(d) Contenido de Agua (ASTM D-1401) (Demulsibilidad)	<0.05%	<0.05%	NA	<0.05%
Aprobación <i>Factory Mutual</i> **	NA	NA	Si	Si
Biodegradable**	NA	NA	NA	Si

Fuente: Asociación de Tribólogos e Ingenieros en Lubricación -STLE-, hidráulicos (2005)

*Adaptación de tabla para efecto de propuesta. **Consideraciones extras, para efectos de la evaluación.

Los fluidos y unidades hidráulicas, son importantes considerarlas como parte del mantenimiento dentro del proceso minero, para el correcto funcionamiento de los mismos.

2.2.6. Cambio a fluidos resistentes al fuego

El cambio a un fluido resistente al fuego, generalmente requiere el drenaje de fluido existente, lavado y limpieza a profundidad del sistema, para asegurar que la contaminación sea mínima. Si el sistema contiene las superficies pintadas, la compatibilidad del fluido con la pintura debe ser verificada, así como tolerancia con las juntas, mangueras y otros componentes del sistema. En algunos casos, puede ser necesario cambiar el tamaño del tubo de succión -para permitir el flujo adecuado de fluido resistente al fuego a la bomba de succión- y filtros para

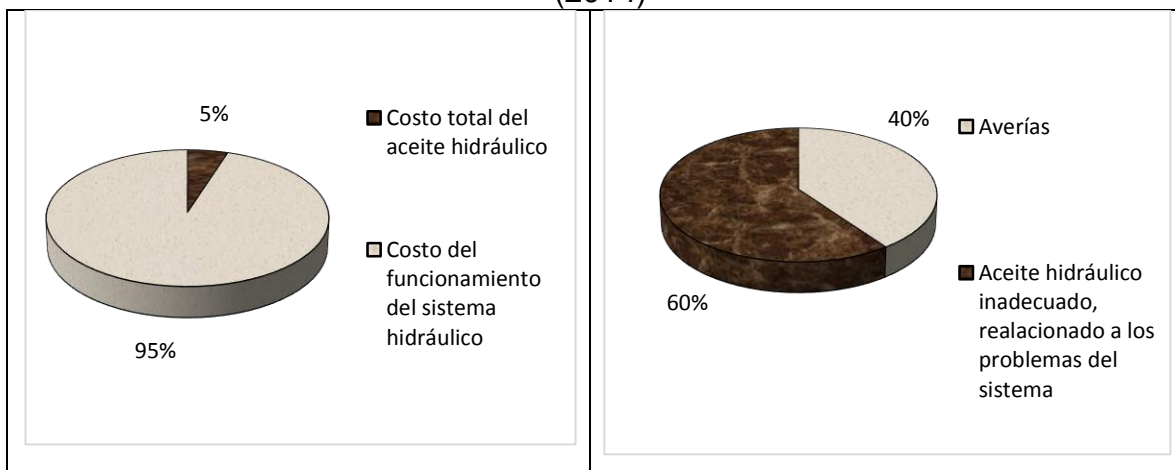
acomodar el fluido que está siendo utilizado. Fabricantes específicos tanto del fluido y los componentes del sistema, deben ser consultados para tomar precauciones adicionales. (STLE, 2005)

Las directrices anteriores, deben dar una idea de la variedad de factores, pertinentes para el uso adecuado de los fluidos resistentes al fuego. En la práctica, el personal experimentado debe de hacer juicio a todas las especificaciones, o los operadores deben hacer un compromiso, entre rendimiento óptimo y el costo financiero, especialmente donde tendrían modificaciones significativas que se deben hacer en sistemas hidráulicos existentes.

2.2. Aspectos financieros

Según la Asociación de Tribólogos e Ingenieros en Lubricación, el aceite hidráulico es de suma importancia dentro de las unidades hidráulicas en operación, tal y como se muestra en el siguiente grafico:

Gráfico 3.
Costo del aceite hidráulico para el funcionamiento de la unidad hidráulica
En relación al impacto en operación
(2014)



Fuente: Elaboración propia, con base en datos de STLE en estudios de fluidos hidráulicos (2005).

Con el gráfico anterior, se observa que solamente un 5% del costo monetario corresponde a los lubricantes utilizados en la operación del sistema hidráulico; pero cuando el aceite hidráulico no cumple con las especificaciones del fabricante -viscosidad, índice de viscosidad, aditivos, TAN, punto de inflamación, combustión, auto-ignición, antiespumantes y contenido de agua-, puede afectar el sistema hasta el 60%; y solo un 40% corresponde a fallos mecánicos por averías -bomba, mangueras, cilindros, entre otros-, lo anterior significa que el porcentaje por el uso de un aceite inadecuado es mayor a las averías ocasionadas por el uso o desgaste del equipo. (STLE, 2005)

Por otro lado, para evaluar el impacto del costo en los beneficios, es necesaria la realización de un análisis de relación B/C, como aspecto financiero, pues es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión, pues pretende determinar la conveniencia de un proyecto o inversión mediante la valoración en términos monetarios de todos los costos y beneficios derivados del mismo. (Sapag & Sapag, 2003)

El razonamiento de este criterio de evaluación, está basado en el principio de obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido, por lo que su cálculo es sencillo, consistente en dividir los beneficios (ingresos) dentro de los costos totales (egresos) generados por el proyecto.

$$\text{Relación B/C} = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Egresos}}$$

2.3. Aspectos ambientales

La gestión ambiental en Guatemala, además de conformar objetivos y estrategias, se rige bajo un marco general que es transversal a todos los procesos, acciones y

fenómenos que suceden en la cotidianidad del territorio y de los actores estratégicos que en éste convergen.

2.3.1. Plan de Gestión Ambiental (PGA)

El Plan de Gestión Ambiental -PGA- es el instrumento de planeación ambiental de largo plazo en el área de su jurisdicción, que permite y orienta la gestión ambiental de todos los actores estratégicos, con el propósito de que los procesos de desarrollo propendan por la sostenibilidad en el territorio y en la región.

Este se presenta como un documento complementario al Estudio de Impacto Ambiental -EIA-, de acuerdo con los requisitos nacionales; el cual puede ser examinado y modificado cuando corresponda, sin afectar la integridad del documento del EIA.

Cualquier estrategia e intervención, debe corresponder y estar conforme con los lineamientos ambientales del PGA, el cual se hace operativo a través de los instrumentos de planeación ambiental de corto plazo y de alcances específicos.

Las medidas de mitigación que se implementan en las diferentes etapas de ejecución del proyecto, muchas son medidas estándar en la industria minera.

El tipo de medidas de mitigación que se utilizan en la industria minera pueden abordar los potenciales impactos ambientales con diferentes propósitos:

- a) Evitar el impacto;
- b) Minimizar el impacto limitando el grado o envergadura de una acción mediante obras de ingeniería y manejo;

- c) Rectificar el impacto a través de la reparación, rehabilitación o recuperación del recurso afectado;
- d) Reducir o eliminar el impacto con el transcurso del tiempo mediante la protección o mantenimiento; y
- e) Compensar el impacto reemplazando u ofreciendo recursos o entornos sustitutos.

Dentro de estas, se han incorporado muchas medidas de mitigación estándar como parte del plan de minado, diseño técnico y planes de manejo ambiental para la minería. Estas medidas incluyen el uso de dispositivos de control de emisión, medidas de control de sedimento y erosión, así como planeamiento de recuperación y cierre. Las medidas de mitigación incluidas, son para evitar o reducir los impactos potenciales se contemplan en el análisis de impacto.

2.3.2. Normativa internacional ISO 14001:2004

Organizaciones de todo tipo están cada vez más interesadas en alcanzar y demostrar un sólido desempeño ambiental, mediante el control de los impactos de sus actividades, productos y servicios sobre el medio ambiente, acorde con su política y objetivos ambientales. Lo hacen en el contexto de una legislación cada vez más exigente, del desarrollo de políticas económicas y otras medidas para fomentar la protección ambiental, y de un aumento de la preocupación expresada por las partes interesadas por los temas ambientales, incluido el desarrollo sostenible. (ISO 14001:2004)

Asimismo, Esta Norma Internacional, no establece requisitos absolutos para el desempeño ambiental más allá de los compromisos incluidos en la política ambiental, de cumplir con los requisitos legales aplicables y con otros requisitos que la organización suscriba, la prevención de la contaminación y la mejora continua. Por tanto, dos organizaciones que realizan actividades similares con

diferente desempeño ambiental, pueden ambas cumplir con sus requisitos. La adopción e implementación de un conjunto de técnicas de gestión ambiental de una manera sistemática, puede contribuir a que se alcancen resultados óptimos para todas las partes interesadas. Sin embargo, la adopción de esta norma internacional, no garantiza en sí misma unos resultados ambientales óptimos. Para lograr objetivos ambientales, el sistema de gestión ambiental puede estimular a las organizaciones a considerar la implementación de las mejores técnicas disponibles cuando sea apropiado y económicamente viable, y a tener en cuenta completamente la relación entre el costo y la eficacia de estas técnicas.

El nivel de detalle y complejidad del sistema de gestión ambiental, la extensión de la documentación y los recursos que se dedican dependen de varios factores tales como el alcance del sistema, el tamaño de la organización, la naturaleza de sus actividades, productos y servicios.

2.4. Aspectos de seguridad industrial

Cualquier actividad que el ser humano realice está expuesta a riesgos de diversa índole, los cuales influyen de distinta forma en los resultados esperados. La capacidad de identificar estas probables eventualidades, su origen y posible impacto constituye ciertamente una tarea difícil pero necesaria para el logro de los objetivos. (Niebel & Freivalds, 2009)

Asimismo, en los últimos años las tendencias internacionales han registrado un importante cambio de visión en cuando a la gestión de riesgos, de un enfoque de gestión tradicional hacia una gestión basada en la identificación, monitoreo, control, medición y divulgación de los riesgos. En el nuevo enfoque de evaluación de la gestión de riesgos, la evaluación de riesgo es continua y recurrente, anticipa y previene, se enfoca en la identificación, medición y control de riesgos, velando que la organización logre sus objetivos con un menor impacto

de riesgo posible, la evaluación de riesgo está integrada en todas las operaciones y procesos, y la política de evaluación de riesgo es formal y entendida.

2.4.1. Análisis de Trabajo Seguro (ATS)

La tecnología se basa en que los comportamientos, a diferencia de las actitudes, son observables, por tanto se pueden registrar, cuantificar, y generar un indicador, el cual por cierto es prospectivo, con el mismo se puede hacer gestión de seguridad a través de un Análisis de Trabajo Seguro, y todo antes de que se produzcan las lesiones. Se puede emplear para un comportamiento en particular, pero la herramienta se puede utilizar también, y es lo usual, para gestionar un conjunto de riesgos en un lugar de trabajo determinado. (Montero, 2006).

El Análisis de Trabajo Seguro –ATS- es un método para identificar los riesgos de accidentes potenciales relacionados a cada etapa de un proceso y el desarrollo de soluciones que en alguna forma, eliminen, minimicen o controlen los riesgos.²⁶

Aunado a lo anterior, este puede ser evaluado en siete procesos que corresponden a las actividades críticas²⁷. Estas se determinan mediante el principio de Pareto, entre estas podemos mencionar:

- a) Colocación de acero.
- b) Encofrado y desencofrado.
- c) Vaciado de concreto.
- d) Colocación de viguetas y bovedillas.
- e) Manipulación de explosivos y procesos de fundición.
- f) Desatado de rocas.

²⁶ <http://www.proseguridad.com.ve/seguridad-laboral/ast/>

²⁷ Para determinar las actividades críticas nos basamos en el principio de Pareto 80/20, donde se abordan los pocos críticos traducidos en actividades críticas para ser observados. (nota del autor)

g) Áreas de alta temperatura

Las categorías generales son:

- I. Equipos de protección personal.
- II. Sistema de protección colectiva.
- III. Herramientas, equipos y materiales.
- IV. Orden y limpieza.
- V. Ergonomía.
- VI. Instalaciones eléctricas.
- VII. Procesos críticos de producción

Los controles a implementar, seguirán la jerarquía que establece la normativa internacional OHSAS 18001:2007:

- a. Eliminación.
- b. Sustitución.
- c. Controles de ingeniería.
- d. Señalización / advertencia y/o controles administrativos.
- e. Equipos de protección personal.

2.4.2. Normativa internacional OHSAS 18001:2007

Normativa internacional OHSAS, es un conjunto de normas emitidas por la entidad británica denominada British Standards Institution (BSI). Tienen el propósito de servir de guía para la gestión de la salud y seguridad de una organización. Además, pretenden ser guías únicas universales, que a través del tiempo, han tenido gran aceptación. (OHSAS 18001:2007)

Asimismo, durante el segundo semestre de 1999, fue publicada la normativa OHSAS 18000, dando inicio así a una serie de normas internacionales relacionadas con el tema -Salud y Seguridad en el Trabajo-, que viene a complementar a la serie ISO 9001 (calidad) e ISO 14001 (medio ambiente).

Podemos indicar entonces, que esta serie en la administración de los riesgos laborales, integra las experiencias más avanzadas en este campo, y por ello es el modelo global de gestión de prevención de riesgos y control de pérdidas. Aunque las series OHSAS no forman parte de las normas ISO, utilizan los mismos fundamentos, y de hecho la norma principal OHSAS 18001:2007, sigue la estructura de ISO 14001:2004 sobre la gestión ambiental; es decir, las organizaciones cuentan ahora con guías de gestión que se complementan e integran fácilmente.

2.5. Aspectos legales

En toda nación, existe una constitución que rige los actos tanto del gobierno en el poder, como de las instituciones y los individuos. A esa norma le siguen una serie de códigos de la más diversa índole, como el fiscal, sanitario, civil, penal; finalmente, existe una serie de reglamentaciones de carácter local o regional, casi siempre sobre los mismos aspectos. (Baca, 2010)

2.5.1. Normativa guatemalteca

En cuanto al marco de regulación minera, el territorio guatemalteco también es partícipe del ordenamiento de esta actividad para el reconocimiento, exploración y explotación; para lo cual se considera primeramente la Constitución Política de la República y posteriormente, las leyes ordinarias y ambientales.

2.5.1.1. Constitución Política de la República de Guatemala

Según el Título II, sección séptima, artículo 97, insta al Estado, las municipalidades y el pueblo guatemalteco, a implementar un desarrollo en armonía con el medio ambiente, e impulsa a que se defina un cuadro normativo para que el aprovechamiento de la naturaleza sea racional, evitando así los daños ecológicos.

Continuando, en la sección décima, artículo 119, regula las obligaciones fundamentales del Estado: "...a) Promover el desarrollo económico de la Nación estimulando la iniciativa en actividades agrícolas, pecuarias, industriales, turísticas y de otra naturaleza;...c) Adoptar las medidas necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos Naturales de una forma eficiente;... n) Crear las condiciones adecuadas para promover la inversión de capitales nacionales y extranjeros."

Asimismo, en el artículo 121, inciso e), declara al Estado propietario del subsuelo, los yacimientos de hidrocarburos y los minerales, así como cualesquiera otras sustancias orgánicas o inorgánicas que se encuentren en él. Para lo cual según el artículo 125, la explotación de recursos naturales no renovables, norma la actividad y confiere al Estado establecer y propiciar las condiciones propias para su exploración, explotación y comercialización, por ser de utilidad y necesidad pública, la explotación técnica y racional de los (...) minerales.

Con lo expuesto anteriormente, son indispensables las leyes específicas, en las cuales se establecen la coordinación, control, seguimiento en la exploración, explotación y comercialización de actividades mineras considerando aspectos de protección ambiental y zonas protegidas.

2.5.1.2. Ley de Minería (Decreto 48-97)

Acerca de esta ley es preciso señalar que según el artículo 2, corresponde al Ministerio de Energía y Minas -MEM- como órgano político y administrativo encargado de aplicar la política minera del Gobierno de la República.

Asimismo, éste Ministerio tiene la competencia de otorgar las licencias mineras a las compañías solicitantes, verificando el cumplimiento de la ley y, llegado el caso, impone sanciones -como multas o suspensión de operaciones-. También, el Ministerio de Ambiente y de Recursos Naturales -MARN-, es responsable del control y seguimiento del cumplimiento de las normas ambientales.

En Guatemala los recursos del subsuelo son de propiedad del Estado y el MEM es el encargado de emitir derechos mineros bajo el amparo de esta ley. Los derechos mineros que incluyen reconocimiento, exploración y extracción de minerales, pueden ser otorgados tanto a inversionistas nacionales como extranjeros. El MEM, emite tres tipos de licencias mineras de metales:

1. Licencia de reconocimiento, establecida en el título I, capítulo III, y permite a su titular identificar y localizar posibles áreas para exploración. Son licencias exclusivas que se otorgan por seis meses renovables hasta otros seis meses adicionales y pueden cubrir entre 500 y 3,000 km².

El Gobierno, ha propuesto la abolición de estas licencias debido a su preocupación de que la acumulación de estas, en pocas manos, impida que otras partes interesadas puedan hacer actividades de reconocimiento. (EITI, 2011)

2. Licencia de exploración, regulada en el Título I, capítulo IV, admite a su titular localizar, estudiar, analizar y evaluar los yacimientos. Se otorgan de

manera exclusiva por tres años con dos extensiones de dos años cada una, debiendo reducir el área vigente en un 50% en cada extensión. Estas licencias cubren una extensión máxima de 100 km². El titular de una licencia de exploración puede solicitar una licencia de explotación si lo desea. El MEM tiene un plazo máximo de 30 días para aprobar una solicitud, pero si es el caso de una solicitud para una licencia de explotación de una mina grande, este plazo puede ser menor.

3. Y por último, la licencia de explotación considera en el Título I, capítulo V, aprueba a su titular explotar los yacimientos. Estas se otorgan por un plazo máximo de 25 años improrrogables. El área de explotación máxima es de 20 km². Las empresas están obligadas a presentar una evaluación de impacto ambiental.

Se reconoce en la Ley de Minería, que el impacto ambiental es distinto si se trata de reconocimiento y exploración o si se trata de explotación.

Las solicitudes de licencias de reconocimiento y de exploración, deberán entregar al MEM un Plan de Gestión Ambiental -PGA-, que sentaría las bases de un plan de trabajo para reducir los posibles impactos ambientales de las labores, según el artículo 19.

Continuando, el artículo 20, los aspirantes a una licencia de explotación deben realizar un informe, o Estudio de Impacto Ambiental -EIA- al MARN y al Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, si la mina se encuentra en área protegida. A grandes rasgos, el informe debe presentar: la descripción del proyecto desde el inicio hasta el cierre; los posibles impactos ambientales y la estrategia para reducirlos; y el programa social de la compañía. El EIA tiene que recibir el aval del MARN, para que sea aprobada la licencia de explotación de la compañía.

En cuanto al tema de regalías, el artículo 6 de la presente ley, las define del siguiente modo: Es la compensación económica que se paga al Estado por la explotación de productos mineros o de materiales de construcción, no considerada como un tributo. El porcentaje de regalías sobre las ganancias de la empresa será de 1%. De este porcentaje, la mitad corresponderá al Estado mismo, y la otra mitad a las municipalidades (artículo 63).

Con lo establecido en esta ley, los aspectos ambientales son necesarios para el inicio de los proyectos de exploración y explotación de los suelos, por lo cual existen decretos de aplicación para la protección del medio ambiente a través de evaluaciones controles y seguimientos, así también consideran el resguardo de áreas protegidas y de valor cultural.

2.5.1.3. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto 68-86)

La ley regula y norma todo lo relacionado con el impacto ambiental, haciendo énfasis en la necesidad de prevención. En cuanto a las responsabilidades de su aplicación, los artículos 15 y 16, nombran al Gobierno de la República como responsable de la reglamentación sobre los posibles daños a los recursos hídricos, los suelos, y los sistemas líticos -es decir, las rocas y los minerales-.

El artículo 30, concede acción popular para denunciar ante la autoridad, todo hecho, acto u omisión que genere contaminación y deterioro o pérdida de recursos naturales o que afecte los niveles de calidad de vida de los habitantes de una población.

Según el decreto 90-2000 del Congreso de la República de Guatemala, en el Capítulo II, artículo 5 adiciona la reforma el artículo 2 del decreto 68-86, el cual queda así: “La aplicación de esta ley y de sus reglamentos compete al Organismo

Ejecutivo, a través del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, cuyas funciones establece la Ley del Organismo Ejecutivo”.

Posteriormente, en el Capítulo IV, artículo 11, deroga los artículos 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 y 38 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto 68-86.

2.5.1.4. Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (Acuerdo Gubernativo 431-2007)

Siendo deber del Estado propiciar el desarrollo social, económico, científico y tecnológico para prevenir la contaminación del medio ambiente y mantener el equilibrio ecológico, a través del MARN, se emite el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, para cumplir con el régimen concerniente a la conservación, protección, sostenibilidad y mejoramiento del ambiente y recursos naturales del país.

El Título I, en los dos primeros artículos, se establece que el reglamento contiene los lineamientos, estructura y procedimientos para propiciar el desarrollo sostenible en el tema ambiental, mediante el uso de instrumentos que faciliten la evaluación, control y seguimiento ambiental de las actividades, obras, industrias o proyectos, cuya aplicación se llevará a cabo por conducto de la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales -DIGARN- y la Dirección General de Coordinación Nacional -DIGCN- delegaciones departamentales, y cuando corresponda a través de la Dirección General de Cumplimiento Legal -DIGCL-.

Continuando, el Título VI, artículo 29, indica que el procedimiento administrativo para los proyectos, obras, industrias o actividades ya existentes, se iniciará con la presentación del diagnóstico ambiental, que luego de ser evaluado podría ser rechazado según lo establecido en el artículo 42.

En cuanto a garantía, el Título VII, artículo 63, en relación al cumplimiento ambiental, previo a que una resolución de aprobación cobre vigencia, el proponente del proyecto deberá otorgar a favor del MARN, una fianza de cumplimiento; dicho documento deberá estar vigente durante todo el tiempo de desarrollo de la actividad, con renovación cada dos años -artículo 67-.

El Título IX, artículos del 86 al 93, el seguimiento con el incumplimiento, las cuales se cuantifican con fundamento a la gravedad de los impactos ocasionados en el medio ambiente.

2.5.1.5. Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional (Acuerdo Gubernativo 229-2014)

Este acuerdo considera aspectos de la seguridad industrial y ocupacional de los trabajadores independientemente del tipo de industria, considerando como artículos importantes dentro del proceso de fundición de la industria minera, los siguientes:

En el Capítulo III, los artículos 105 al 108, la señalización de los lugares de trabajo y la seguridad que debe de implementarse en relación a los avisos, símbolos y pictogramas, señales y dimensiones, diseños e iluminación, dispuestos en las normas específicas de Seguridad y Salud Ocupacional -S&SO-.

El Título III, Capítulo IV, artículo 109, considera la prevención y extinción de incendios, lo siguiente: “En los centros de trabajo se debe de observar las normas que para prevención y extinción de incendios, establecen, tanto el presente reglamento como todas las demás normas emanadas de organismos con competencia en la protección civil.”

Asimismo, los artículos 111 al 114, indican que los pasillos y corredores deben ser ignífugos, las puertas libres de obstáculos y las ventanas deberán abrirse al exterior y carecer de rejas, aspectos que deberán estar señalizados e iluminados, según el artículo 122; y según el artículo 123, la instalación de pararrayos, cuando existan sustancias altamente inflamables, entre otros casos.

También este capítulo, en los artículos 124 al 142, establece las medidas y medios de prevención y extinción que ofrezcan riesgos de incendio con o sin explosión, y el equipo adecuado de protección y obligatorio para el trabajador.

En cuanto al Título V, Capítulo I al X, artículos 230 al 266, se detalla el equipo personal y la ropa de trabajo para protección para la cabeza, cara, vista, oído, aparato respiratorio, extremidades inferiores y superiores, así como el uso de cinturones de seguridad. Posteriormente, el mismo Título V, considera los artículos 267 al 270 estableciendo el diseño de los puestos de trabajo, los cuales deben de disminuir los riesgos en las labores de los trabajadores, con el conocimiento del equipo, maquinaria y herramientas en el área de proceso.

Por último, el Título IX, Capítulo I, artículos 421 al 442, determinan los aspectos relacionados a las máquinas, su uso al inicio de las operaciones a través del arranque, las paradas y su funcionamiento en general fuera de riesgo para los trabajadores encargados de su administración, contando para ello con los dispositivos para el manejo de advertencias o peligros. Así también, la inspección y el mantenimiento de máquinas deberá realizarla personas con autorización y con el equipo de protección personal obligatorio.

La breve descripción realizada en este apartado sobre este acuerdo, Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, Acuerdo Gubernativo 229-2014, fue publicada en el Diario de Centroamérica, en fecha ocho de agosto de 2014, el cual entrará en vigencia seis meses después de su publicación; derogando con ello al

Reglamento General sobre Higiene y Seguridad en el Trabajo, Acuerdo Gubernativo de fecha 28 de diciembre de 1957.

2.5.1.6. Código Municipal (Decreto 12-2002)

Según el Título III, artículo 33, corresponde con exclusividad al Concejo Municipal el ejercicio del gobierno del Municipio, velar por la integridad de su patrimonio, garantizar sus intereses con base en valores, cultura y necesidades planteadas por los vecinos, conforme la disponibilidad de recursos. Continuando, artículo 35, establece las atribuciones generales del Concejo Municipal y en la literal y): La promoción y protección de los recursos renovables y no renovables.

Asimismo, el artículo 35, establece las organizaciones de comisiones, en la cual se menciona como obligatoria, la comisión del fomento económico, turismo, ambiente y recursos naturales, entre otras.

El Título IV, artículo 65, constituye que cuando la naturaleza de un asunto afecte en particular los derechos y los intereses de las comunidades indígenas del municipio o de sus autoridades propias, el Consejo Municipal realizará consultas a solicitud, aplicando las modalidades establecidas en el artículo 66 de este acuerdo.

En cuanto al uso del suelo, el Título VII, artículo 143, el ordenamiento territorial y de desarrollo integral del municipio deben respetar, en todo caso, los lugares sagrados o de significación histórica o cultural, entre los cuales están los monumentos, áreas, plazas, edificios de valor histórico y cultural de las poblaciones, así como sus áreas de influencia; aspectos regulados en la siguiente normativa.

Aunado al Código Municipal, para el caso del departamento de Izabal, existe un decreto específico para la protección y conservación de los principales mantos acuíferos existentes en ese lugar.

Con la presentación del estudio legal, culmina la parte teórica del presente informe de tesis; para continuar con la parte práctica se da a conocer la metodología a seguir, como parte del proceso de investigación.

3. Metodología

En este apartado se consideran los aspectos metodológicos que enmarcan la unidad de análisis, el planteamiento del problema, los objetivos, la respuesta al problema de investigación, el enfoque técnico/financiero, gestión ambiental y seguridad industrial a utilizar y los parámetros de su sustento teórico, con relación al mantenimiento con el uso de aceites hidráulicos tradicionales en la industria minera guatemalteca, durante el período 2010-2014; asimismo las variables, culminando con la especificación del método y las técnicas.

3.1. Unidad de análisis

Para la evaluación de los aceites hidráulicos tradicionales, es necesario aclarar que en la República de Guatemala, las únicas minas que utilizan hornos con funcionamiento a través de sistemas hidráulicos para la fundición de minerales metálicos, son:

- A.** Compañía Guatemalteca de Níquel, S.A. –CGN-, ubicada en el municipio de El Estor, departamento de Izabal, cuyo objetivo es la extracción de 590 mil toneladas de níquel en un período de 30 años, la cual reinició sus operaciones de extracción a finales del 2012, identificada en la evaluación técnico/financiero como punto de muestreo 1, en la unidad hidráulica del horno.

- B.** Marlin (Montana Exploradora, S.A.), ubicada en el municipio de San Miguel Ixtahuacán, departamento de San Marcos, en dicha mina se calculan reservas de 2.4 millones de onzas de oro y 40 millones de onzas de plata, el tiempo que se estima esté en producción será de 10 a 15 años,

identificada en la evaluación técnico/financiero como punto de muestreo 2, en la unidad hidráulica de volteo.

Las industrias mineras descritas anteriormente, formarán parte de la unidad de análisis que constituyen el universo del estudio en el proceso de fundición.

Concretada la unidad de análisis y para dar continuidad a la metodología, se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

3.2. Preguntas de investigación

- a. ¿Cuál es el rendimiento esperado de los lubricantes hidráulicos, al realizar un mantenimiento?
- b. ¿Cómo cambia el indicador financiero B/C al disminuir los costos por mantenimiento?
- c. ¿Cómo se desarrolla una buena gestión ambiental y de seguridad industrial, por medio del uso de lubricantes hidráulicos en el mantenimiento?
- d. ¿Qué aspectos son necesarios para cumplir con la certificación ISO 14001:2004 y OHSAS 18001:2007, realizando una buena gestión en el mantenimiento?

3.3. Pregunta general

¿El mantenimiento predictivo, es el adecuado con el uso de los aceites hidráulicos tradicionales en altas temperaturas dentro de la industria minera?

3.4. Objetivos

Los resultados que se desean obtener con el proceso de la investigación y para la posterior, comprobación de la hipótesis, se plantean el siguiente objetivo general y los objetivos específicos.

A. General

Determinar el rendimiento e impacto del uso de aceites hidráulicos tradicionales, como parte del mantenimiento predictivo, en altas temperaturas.

B. Específicos

1. Realizar una comparación de parámetros técnicos de los aceites hidráulicos tradicionales como insumos del mantenimiento.
2. Evaluar desde el punto de vista financiero, la rentabilidad del uso de aceites hidráulicos tradicionales a través del indicador financiero B/C.
3. Evaluar el plan de gestión ambiental, con la finalidad de observar el impacto en el proceso de fundición.
4. Determinar la incidencia que tienen los aceites hidráulicos tradicionales, en la seguridad industrial.

3.5. Hipótesis

Desde una perspectiva técnico-financiero, gestión ambiental y seguridad industrial, el mantenimiento predictivo con el uso de aceites hidráulicos tradicionales, no es el adecuado en altas temperaturas para la industria minera guatemalteca.

3.6. Enfoque

El enfoque de la investigación se realizó desde la perspectiva técnico-financiero, gestión ambiental y seguridad industrial, con relación al mantenimiento con el uso de aceites hidráulicos tradicionales en la industria minera guatemalteca que utiliza hornos de fundición, con funcionamiento a través de sistemas hidráulicos de fundición, durante el período 2010-2014.

3.7. Especificación de las variables

La identificación de las variables fue importante, porque adquieren valor para la investigación cuando llegan a relacionarse con otras; es decir, constituyen una correlación entre ellas, si forman parte de una hipótesis o una teoría. En la siguiente tabla, se describen:

Tabla 3.
Especificación de variables
Metodología
(2014)

Variable independiente	Causa (x)	Mantenimiento predictivo
Variable dependiente	Efecto (y)	Técnico / financiero Gestión ambiental Seguridad industrial

Fuente: Elaboración propia.

El análisis del mantenimiento predictivo y su incidencia con aspectos técnico/financiero, gestión ambiental y seguridad industrial, se sustentaron utilizando los parámetros: pruebas de laboratorio a través de análisis de aceite y costo total anual, producción, precio de mercado de los minerales metálicos, para realizar la relación B/C; PGA e ISO 14001:2004; ATS y OHSAS 18001:2007; respectivamente.

Para la investigación de aceites hidráulicos tradicionales en el área de fundición de la industria minera guatemalteca, se consideraron las siguientes premisas²⁸ metodológicas para cumplir a cabalidad con los objetivos:

Tabla 4.
Premisas metodológicas
Metodología
(2014)

Variables de inclusión	Variables de exclusión
Procesos internos (área de fundición) Personal interno Insumos de aceite hidráulico Mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo Indicador financiero, relación B/C Plan de gestión ambiental Seguridad industrial (ATS)	Impactos ambientales, relacionados al cambio climático Contaminación de agua Contaminación de suelos Análisis por ultrasonido y termografía Análisis por algoritmos estadísticos y eléctrico Análisis por árbol de fallas Conflictos sociales en el área de influencia Análisis contable

Fuente: Elaboración propia.

3.8. Métodos y técnicas

El método utilizado en el proceso de investigación es descriptivo, causal y explicativo de tipo científico, y las técnicas utilizadas:

- a) Encuesta efectuada a Gerentes y Jefes de mantenimiento de la unidad de análisis, la cual consta de cuatro preguntas, relacionadas al enfoque técnico y financiero que conlleva el uso de lubricantes tradicionales en los sistemas hidráulicos utilizados en la unidad de análisis; respuestas con las que posteriormente, se estableció el impacto en la gestión ambiental y la seguridad industrial.
- b) Recopilación de datos existentes sobre el uso de aceites hidráulicos tradicionales utilizados por la unidad de análisis, en cuanto a sus

²⁸ Según RAE, premisa es una señal o indicio por donde se infiere algo o se viene en conocimiento de ello.

características físicas y químicas, frecuencia de cambio y su relación a los aspectos financieros que deben de cumplir según el fabricante.

- c) Análisis de datos estadísticos de aspectos técnicos y financieros en relación a los aceites hidráulicos tradicionales utilizados en relación a los considerados por el fabricante.
- d) Análisis de contenido de documentos, textos y videos, sobre aspectos técnicos, financieros, medio ambiente y seguridad industrial, que conlleva el uso de aceites hidráulicos tradicionales en unidades hidráulicas en los procesos de fundición de la industria minera, en relación al uso de aceites hidráulicos resistentes al fuego.
- e) Observación no participante, con la cual se hizo la recolección de información sobre los enfoques de gestión ambiental y seguridad industrial, principalmente, para realizar un análisis del plan de gestión ambiental existente, análisis de trabajo seguro y la aplicación de éstos según normas internacionales ISO 14001:2004 y OHSAS 18001:2007 dentro del proceso de fundición en la industria minera.

3.9. Limitaciones y referentes de la investigación

El trabajo de gabinete, se complicó por: burocracia en el MEM y MARN para acceder a los Estudios de Impacto Ambiental -EIA- y Plan de Gestión Ambiental -PGA- de las minas, además, las fuentes de información están incompletas, dificultades al momento de adquirir la información administrativa y financiera dentro de la unidad de análisis, inexistencia de sitios de información especializados en Guatemala; en cuanto al trabajo de campo: La distancia a las

plantas de producción es larga y al momento de estar en el sitio, las áreas de evaluación son restringidas o se cuenta con poco acceso.

En cuanto a los referentes, similitud en procesos productivos mundiales de las minas que operan en Guatemala y el mantenimiento predictivo que ha sido implementado en países desarrollados en las últimas dos décadas, lo que impacta en:

- i. Reducción de costos de producción a mediano y largo plazo.
- ii. Normalización en el uso de fluidos hidráulicos
- iii. Estandarización en normas internacionales ISO 14001:2004 y OHSAS 18001:2007, además del manejo adecuado del PGA y ATS

En la siguiente sección se procede a describir y analizar los resultados encontrados.

4. Resultados

Cumpliendo con los objetivos de la investigación, se evaluó el comportamiento de los aceites hidráulicos tradicionales en las unidades hidráulicas, como parte del mantenimiento predictivo, en el proceso de fundición en la industria minera guatemalteca, a través de una evaluación técnica comparativa de los fluidos actuales, respecto a la especificación del fabricante.

En relación al aspecto financiero, se realizó una evaluación para establecer la cantidad de consumo anual de lubricantes hidráulicos como parte del mantenimiento, estableciendo los costos monetarios de su adquisición y el rendimiento dentro de las unidades hidráulicas, así también, la relación B/C y su impacto en los paros no programados de producción.

Además, se realizó una evaluación de impactos dentro de un PGA y la revisión de la normativa establecida por ISO 14001:2004. Asimismo, se hizo un análisis para observar sucesos actuales en cuanto al manejo de lubricantes y desechos, como parte del proceso de operación y su impacto en el medio ambiente.

En cuanto al aspecto de seguridad industrial, resaltando inicialmente la evaluación de un ATS en los aspectos importantes para el personal y posteriormente la norma internacional OHSAS 18001:2007, donde se confrontaron políticas, planificación, implementación, verificación y compromiso en gerencia, para gestionar los requisitos mínimos de la certificación; dichas evaluaciones fueron realizadas en el área crítica de proceso productivo expuesto a elevadas temperaturas -fundición de minerales-.

A continuación, de forma detallada se presentan las evaluaciones: técnico, financiero, gestión ambiental y seguridad industrial, para determinar si estos aspectos son influyentes en el mantenimiento predictivo, con el uso de aceites hidráulicos tradicionales en la industria minera.

4.1. Evaluación técnica

Dadas las propiedades -físicas y químicas- de un lubricante, se procede a mostrar la tabla comparativa, entre los dos fluidos hidráulicos tradicionales que se utilizan en la industria minera actualmente; considerando que el punto de muestreo 1, cuenta con un depósito de 25 toneles y utiliza aceite hidráulico mineral tradicional; respecto al punto de muestreo 2, el depósito es de 15 toneles y utiliza aceite hidráulico sintético tradicional.

Según la encuesta realizada a los gerentes y jefes de mantenimiento (ver anexo 1), se determinó a través de sus respuestas a la primera interrogante, que los aspectos más relevantes de las propiedades del aceite hidráulico tradicional, frente a la temperatura de operación en el proceso de fundición, son: viscosidad e índice de viscosidad, resistencia a la oxidación (TAN), alta resistencia a la temperatura y características demulsificantes y antiespumantes.

El orden de las características técnicas de los aceites hidráulicos tradicionales en la industria minera, fue estructurada, según la importancia para los encuestados dentro del área de mantenimiento, y se rigen según la Asociación de Tribólogos e Ingenieros en Lubricación -STLE-, en su libro Hidráulicos (2005), tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.
Características técnicas normadas
Aceite hidráulico tradicional mineral y sintético
(2014)

Características	Método de ensayo ⁽¹⁾	Aceite mineral	Aceite sintético
(a) Viscosidad @ 40°C	ASTM D-445	46	68
Viscosidad @ 100°C	ASTM D-445	6.7	8.6
Índice de viscosidad	ASTM D-2270	106	110
(b) Protección a la oxidación (TAN)	ASTM D 664	Excelente	Excelente
(c) Punto de inflamación °C	ASTM D-92	222	240
Punto de combustión °C	ASTM D-92 / IP36	260	290
Punto de auto-ignición °C	ASTM E659	298	410
Resistencia al fuego		Pobre	Justo
(d) Contenido de Agua (Demulsibilidad)	ASTM D-1401	<0.05%	<0.05%

Fuente: Asociación de Tribólogos e Ingenieros en Lubricación -STLE-, hidráulicos (2005)

Adaptación de tabla para efecto de resultados, según encuesta realizada. *Libro anual de las normas ASTM (1986), productos derivados del petróleo, lubricantes y combustibles fósiles, ASTM D 56 - D 1947 y ASTM D 1949 – D3601.

Con base a la tabla anterior, se procedió a realizar el muestreo en las dos unidades hidráulicas -punto de muestreo 1 y 2-, para establecer el comportamiento de los aceites hidráulicos tradicionales durante la temporalidad de la toma de muestras de aceite, considerando que la encuesta específica, que los equipos hidráulicos operan a temperaturas elevadas de 85 a 105 grados centígrados durante la fundición de los minerales y asimismo, puntualiza que el aceite a utilizar debe de ser de calidad para el óptimo funcionamiento del equipo.

Los resultados obtenidos del muestreo en las unidades hidráulicas, se describen a continuación:

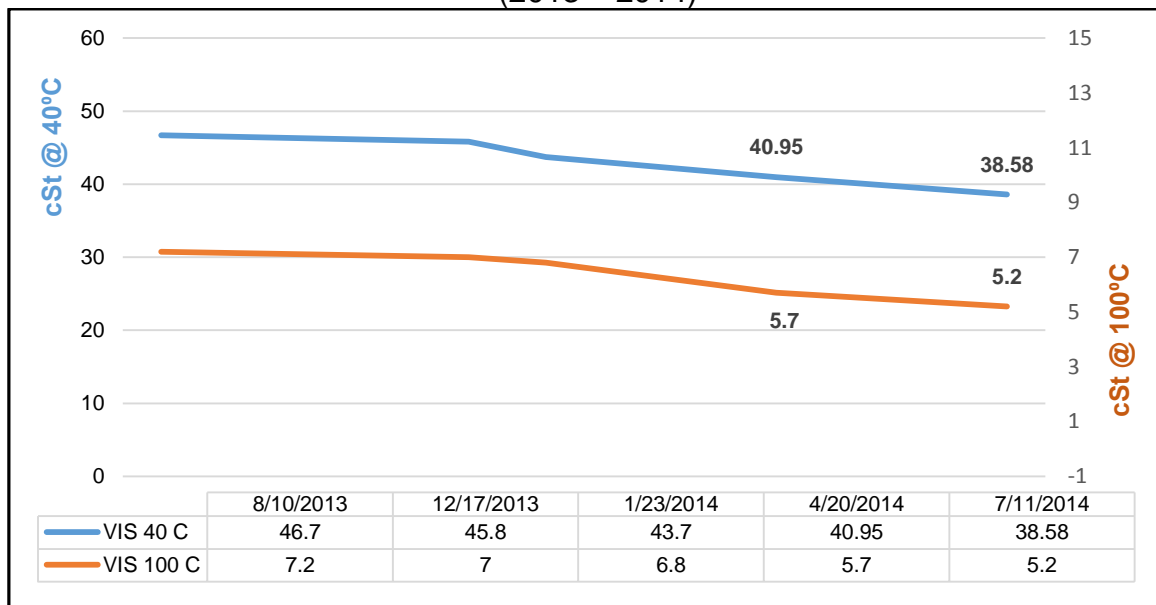
a) Análisis de viscosidad e índice de viscosidad²⁹

La teoría, establece cambio de lubricante cuando este ha disminuido en un (+/-15%) de su viscosidad original, por lo que es un parámetro considerable, para que el aceite hidráulico siga operando.

²⁹ Para detalles del análisis, ver marco teórico (nota del autor)

Se muestra el comportamiento gráfico, que se obtuvo en cinco muestreos realizados durante un año en el punto de muestreo 1, la cual tuvo tendencia lineal decreciente:

Gráfico 4
Análisis de viscosidad y VI
Punto de muestreo 1 - Unidad hidráulica -Horno-
(2013 – 2014)



Fuente: Elaboración propia, con base a los análisis de laboratorio -Castrol North American- dentro del período establecido.

Según los datos obtenidos, a lo largo del período de evaluación mencionada, se observó una disminución en la viscosidad a 38.58 cSt., lo que representa un -16.13% de la viscosidad original³⁰; por lo que el aceite hidráulico tradicional, está operando un 1.13% por debajo del límite mínimo establecido³¹.

Además, según la tendencia observada, la viscosidad a 100 °C ha descendido considerablemente en los cinco análisis realizados y el índice de viscosidad -IV- al final del período ha disminuido a 87. El aceite hidráulico tradicional, no ha

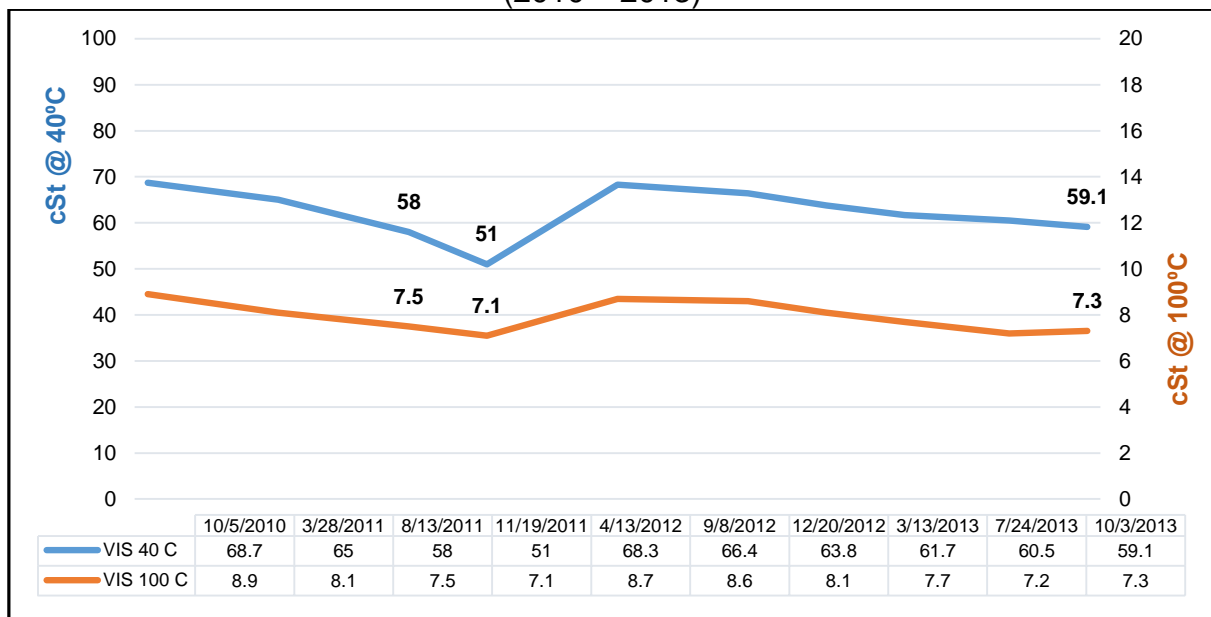
³⁰ Según los libros de Tribología, para obtener el porcentaje de variación en la viscosidad, se debe de dividir la viscosidad obtenida en el muestreo dentro de la viscosidad teórica o normada por el fabricante.

³¹ La teoría establece cambio de aceite cuando este ha variado un +/- 15% de la viscosidad original. (nota del autor)

cumplido un año de operación y presenta condiciones anómalas en propiedades de viscosidad e índice de viscosidad.

A continuación, se muestra el comportamiento gráfico del análisis de viscosidad e índice de viscosidad en el punto de muestreo 2, con 10 muestreos realizados durante tres años, la cual tuvo tendencia lineal decreciente:

Gráfico 5.
Análisis de viscosidad y VI
Punto de muestreo 2 - Unidad hidráulica -Volteo-
(2010 – 2013)



Fuente: Elaboración propia, con base a los análisis de laboratorio -Castrol North American- dentro del período establecido.

Según datos obtenidos en el primer año de evaluación, se observó una disminución en la viscosidad a 51 cSt., lo que representa un -25%, de la viscosidad original, lo que indica precaución y riesgo para que la unidad hidráulica de volteo siga operando.

Dadas las condiciones de viscosidad anteriores, se realizó cambio de lubricante el 10 de enero de 2012. Se continuó con el análisis de muestreo, donde se

determinó tendencia similar para octubre de 2013, la viscosidad descendió nuevamente a 59.1 cSt., lo que representa una disminución en la viscosidad de 13.08%.

La viscosidad a 100 °C tuvo tendencia descendente durante los muestreos realizados, además el índice de viscosidad -IV- al final del período ha disminuido a 95. Son componentes a considerar, para tomar acciones predictivas en los factores influyentes, debido al cambio prematuro en un período menor a dos años.

La tabla a continuación, muestra los resultados finales del período de evaluación, respecto al punto de muestreo 1 y 2:

Tabla 6.
Resultado final, análisis de viscosidad y VI
Unidades hidráulicas - Industria minera
(2014)

Características	Método de ensayo	Punto de muestreo 1	Punto de muestreo 2
(a) Viscosidad @ 40°C	ASTM D-445	38.58	59.1
Viscosidad @ 100°C	ASTM D-445	5.2	7.3
Índice de viscosidad	ASTM D-2270	87	95

Fuente: Elaboración propia, con base a los datos obtenidos en los análisis de laboratorio.

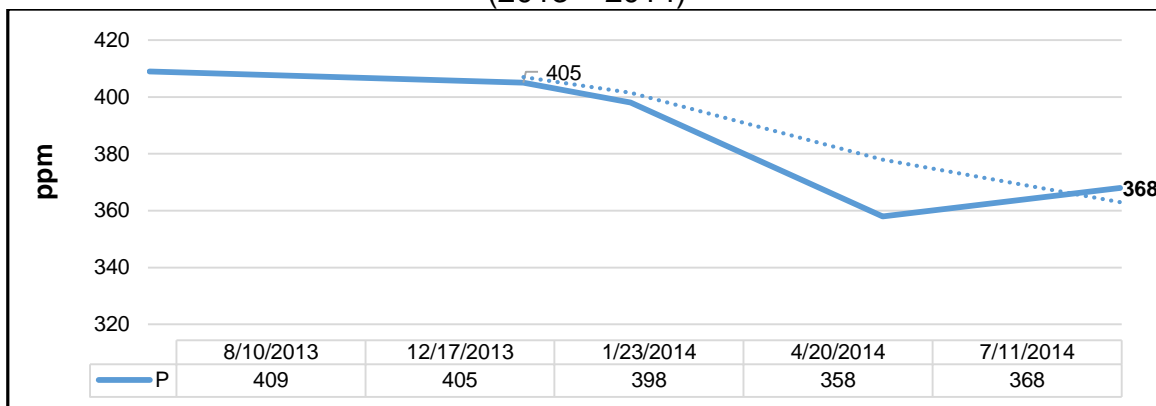
Se procedió a realizar otros ensayos de laboratorio, para establecer si la disminución de la viscosidad original y el IV, fue ocasionado por la temperatura de operación dentro de las unidades hidráulicas, considerando:

b) Análisis del aditivo y número total de acidez -TAN-³²

Los aceites hidráulicos tradicionales, están inversamente relacionados con el rendimiento y el envejecimiento del mismo, a continuación se muestran los resultados obtenidos durante el proceso de muestreo:

³² Para detalles del análisis, ver marco teórico (nota del autor)

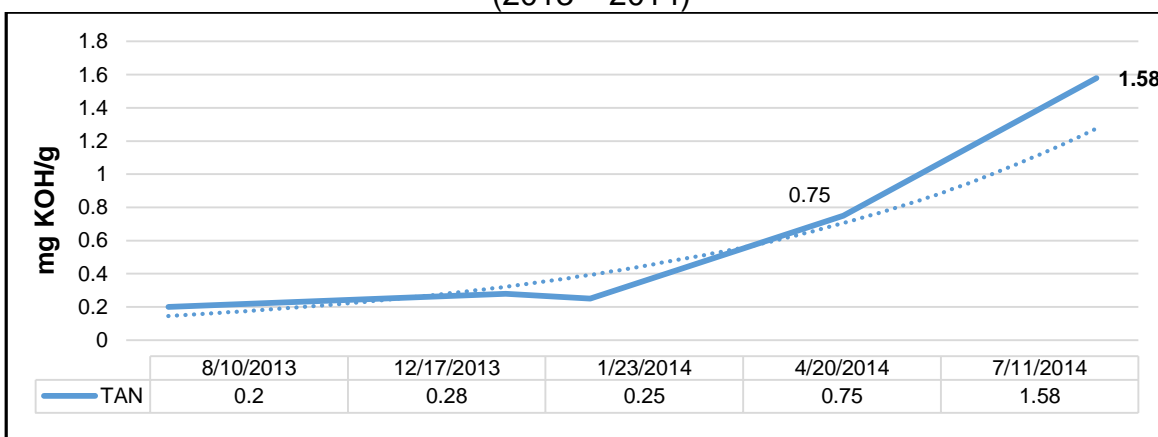
Gráfico 6.
Análisis de aditivos en partes por millón -ppm-
Punto de muestreo 1 - Unidad hidráulica -Horno-
(2013 – 2014)



Fuente: Elaboración propia, con base a los análisis de laboratorio -Castrol North American- dentro del período establecido.

Como se observa en la gráfica anterior, el aditivo fósforo -P- a lo largo del período de muestreo, decae considerablemente; para establecer los parámetros aceptables, se debe de consultar con el fabricante del lubricante, pero se percibe una disminución en el fósforo de -9.14%, durante los últimos cuatro muestreos realizados.

Gráfico 7.
Análisis del número total de acidez -TAN-
Punto de muestreo 1 - Unidad hidráulica -Horno-
(2013 – 2014)



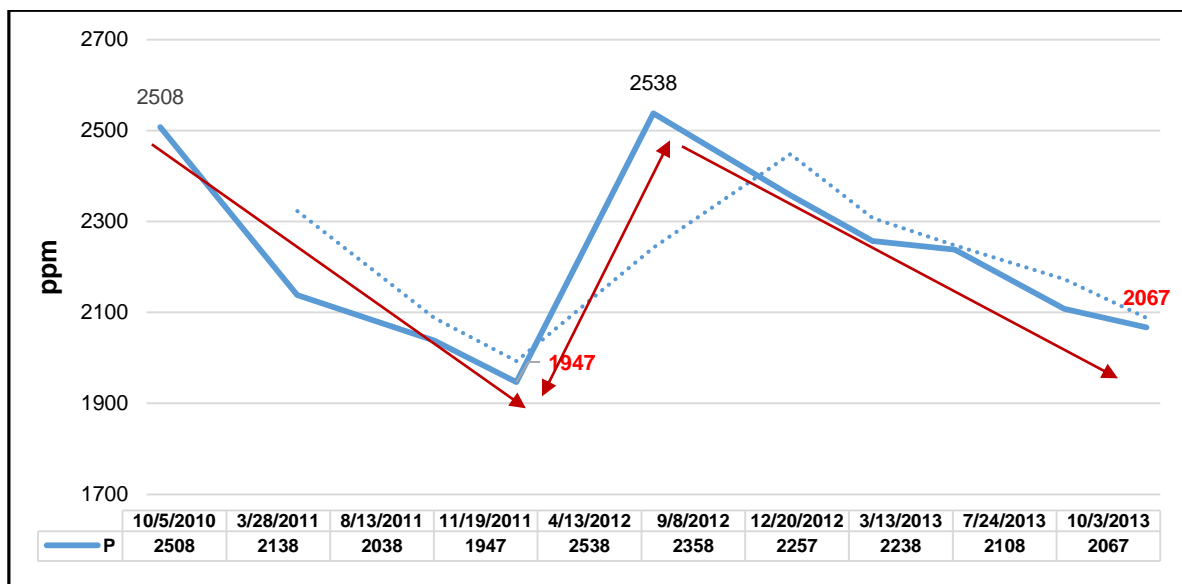
Fuente: Elaboración propia, con base a los análisis de laboratorio -Castrol North American- dentro del período establecido.

El comportamiento del TAN, cambió 1.33 mg KOH/g más, durante el primer semestre de 2014, lo que significa incremento en los niveles aceptables³³.

El resultado, según los datos obtenidos durante el proceso de relevación; de febrero a julio de 2014, el TAN se eleva aceleradamente, obteniendo una tendencia exponencial. Esto, denota poca resistencia del aceite frente a la temperatura, debido al poco uso del mismo, no se le puede atribuir al envejecimiento y desgaste por tiempo de operación.

Por otro lado, el paquete de aditivos en el punto de muestreo 2, descendió un -22.37% en el primer año de monitoreo del aceite, tal y como se muestra en el primer segmento del gráfico siguiente:

Gráfico 8.
Análisis de aditivos en partes por millón -ppm-
Punto de muestreo 2 - Unidad hidráulica -Volteo-
(2010 - 2013)



Fuente: Elaboración propia, con base a los análisis de laboratorio -Castrol North American- dentro del período establecido.

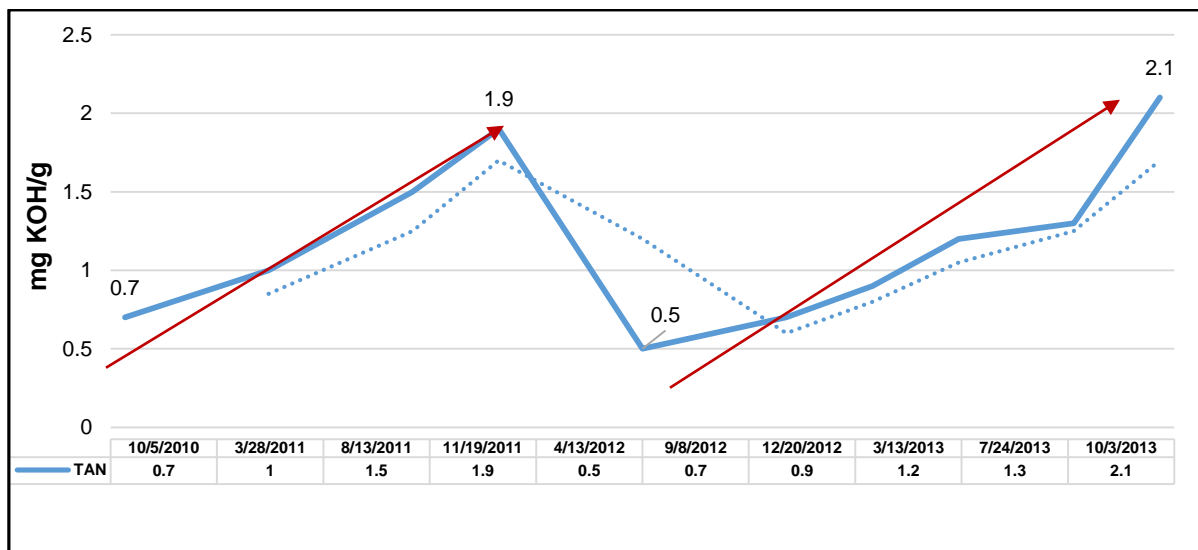
³³ Los libros de Tribología, establecen variación máxima en el TAN de 1 punto respecto al valor inicial, en lubricantes tradicionales. (nota del autor)

En enero de 2012, se realizó un cambio de aceite en la unidad hidráulica, por múltiples parámetros fuera de los rangos; entre ellos, viscosidad degradada, oxidación, TAN elevado, entre otros.

Aunado a lo anterior, a pesar del cambio de aceite hidráulico, continuó con la misma tendencia; es decir, el aditivo fósforo, se empieza a degradar aceleradamente y, para octubre de 2013, ha perdido un 18.56% de sus características primarias.

Respecto al análisis del número total de acidez -TAN- en el punto de muestreo 2, se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfico 9.
Análisis del número total de acidez -TAN-
Punto de muestreo 2 - Unidad hidráulica -Volteo-
(2010 – 2013)



Fuente: Elaboración propia, con base a los análisis de laboratorio -Castrol North American- dentro del período establecido.

Como se observa en la gráfica anterior, de marzo a noviembre de 2011, el TAN se incrementa exponencialmente a 1.9, aproximadamente duplicado en un período menor a un año. Dentro del período, enero de 2012 a octubre 2013, se incrementó un 1.6 mg KOH/g.

La operación constante del equipo, a la que está siendo sometido el aceite, no está soportando principalmente las presiones, por lo que el aceite tiende a la evaporación y degradación.

Tabla 7.
Resultado final, análisis de protección a la oxidación -TAN-
Unidades hidráulicas - Industria minera
(2014)

Características	Método de ensayo	Punto de muestreo 1	Punto de muestreo 2
(b) Protección a la oxidación (TAN)	ASTM D 664	Pobre	Pobre

Fuente: Elaboración propia, con base a los datos obtenidos en los análisis de laboratorio.

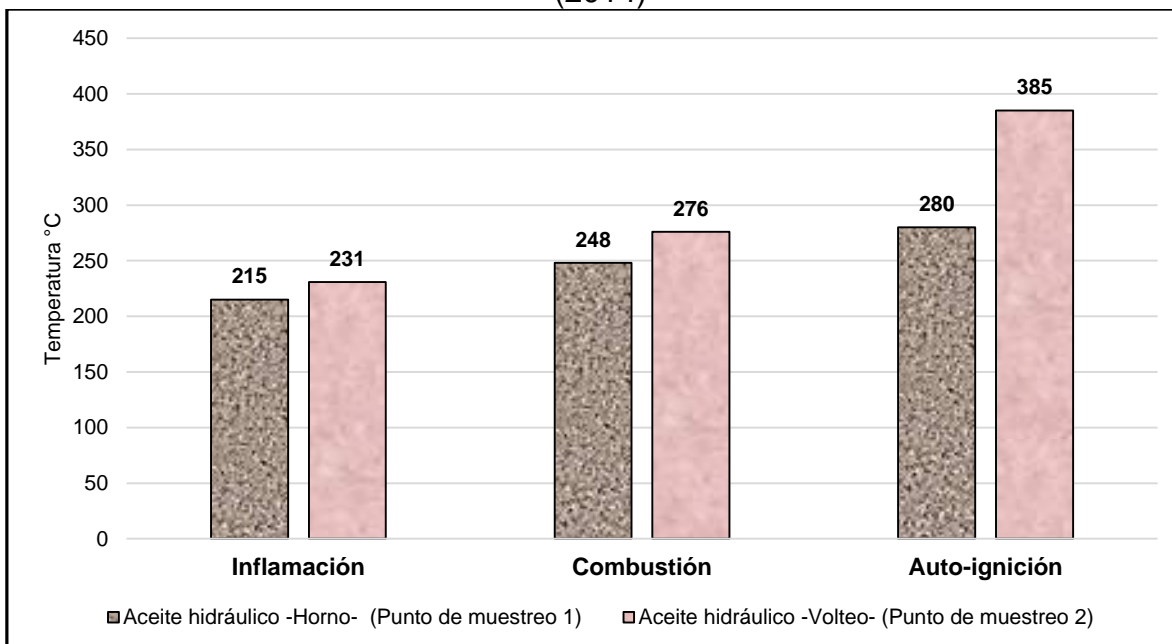
Establecido el análisis de la viscosidad e índice de viscosidad, paquete de aditivos y el TAN, en ambos puntos de muestreo, se procede a realizar un análisis enfocado a la temperatura de operación, factor que incide en el desempeño del aceite hidráulico.

c) Análisis de los puntos de inflamación, combustión y autoignición³⁴

Los resultados obtenidos, respecto a las evaluaciones de inflamación, combustión y autoingnición, en los puntos de muestreo 1 y 2, fueron los siguientes:

³⁴ Para detalles de los análisis, ver marco teórico (nota del autor)

Gráfico 10.
Análisis de puntos de inflamación, combustión y auto-ignición
Punto de muestreo 1 y 2 - Unidades hidráulicas
(2014)



Fuente: Elaboración propia, con base a los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio.

Como se puede observar en la gráfica anterior, según los datos obtenidos en campo en los puntos de muestreo 1 y 2:

El punto de inflamación según *Cleveland* en vaso abierto, se obtuvieron 215 y 231 grados centígrados respectivamente según la prueba, representando un 3.15% y 3.75% por debajo de la norma establecida ASTM D-92 respectivamente; respecto al punto de combustión según *Pensky-Marten* en vaso cerrado, están en 248 y 276, estando 4.62% u 4.83% por debajo de la norma establecida ASTM D-92 / IP 36 respectivamente y, finalmente con la prueba de auto-ignición según *Mini flash*, se obtuvieron valores de 280 y 385 grados centígrados, mostrando una disminución del 6.04% y 6.10% respecto a la norma establecida ASTM E659 respectivamente.

Por lo que se puede demostrar, a mayor temperatura de exposición al fuego, el aceite hidráulico mineral y sintético, tienen a disminuir en sus propiedades técnicas rápidamente.

Tabla 8.
Resultado final, análisis de punto de inflamación, combustión y auto-ignición
Unidades hidráulicas - Industria minera
(2014)

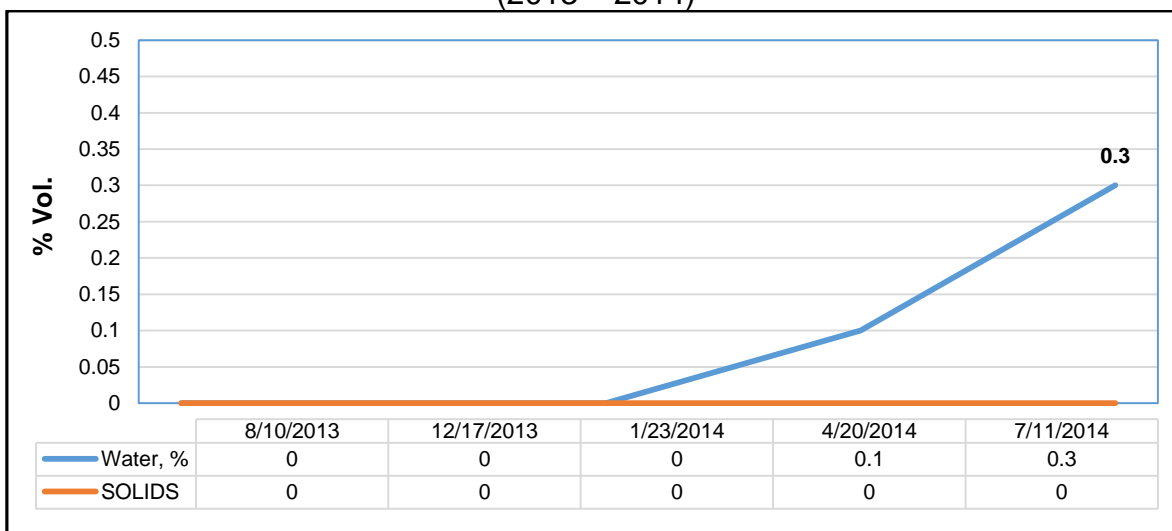
Características	Método de ensayo	Punto de muestreo 1	Punto de muestreo 2
(c) Punto de inflamación °C	ASTM D-92	215	231
Punto de combustión °C	ASTM D-92 / IP36	248	276
Punto de auto-ignición °C	ASTM E659	280	385

Fuente: Elaboración propia, con base a los datos obtenidos en los análisis de laboratorio.

d) Análisis de la demulsibilidad y tendencia a la formación de espuma³⁵

A continuación, se muestra la cantidad de sólidos y contenido de agua en los puntos de muestreo 1 y 2.

Gráfico 11.
Análisis de contenido de agua y sólidos
Punto de muestreo 1 - Unidad hidráulica -Horno-
(2013 – 2014)



Fuente: Elaboración propia, con base a los análisis de laboratorio -Castrol North American- dentro del período establecido.

³⁵ Para detalles del análisis, ver marco teórico (nota del autor)

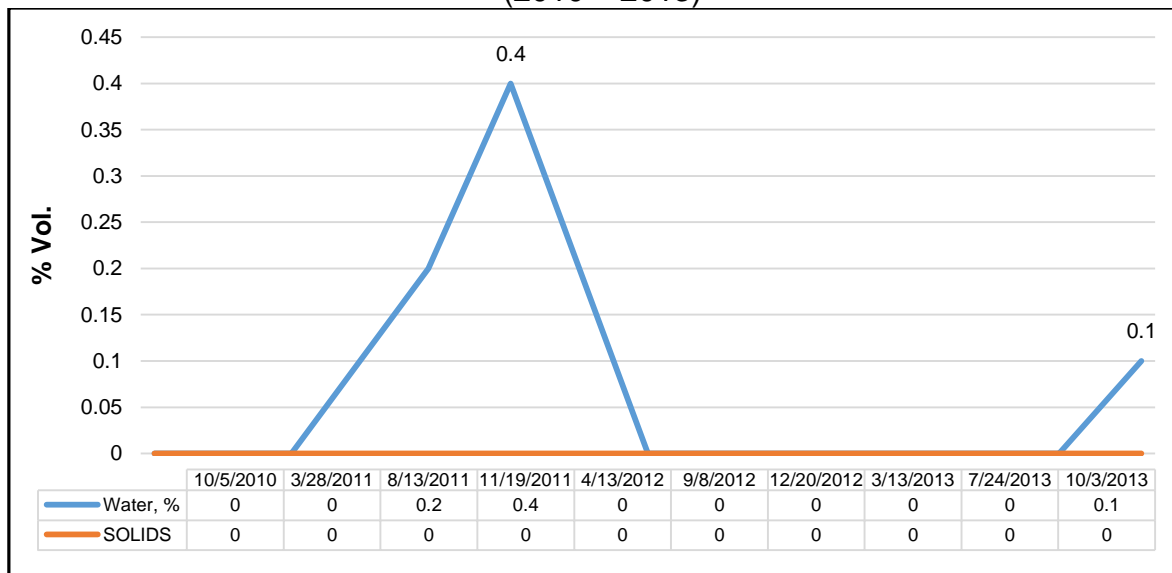
Como se observa en la gráfica anterior, no se encuentran partículas sólidas dentro de los monitoreos de muestra.

El contenido de agua, aparece en los últimos dos muestreos, posible condensado dentro de los depósitos expuestos a la temperatura de operación, según lo que establece la norma ASTM D 1401.

Respecto a la formación de espuma, no se estableció ningún parámetro fuera del rango normal, dentro del ensayo de laboratorio.

Asimismo, se procedió a realizar la medición en el punto de muestreo 2, mostrando a continuación los resultados y análisis:

Gráfico 12.
Análisis de contenido de agua y sólidos
Punto de muestreo 2 - Unidad hidráulica -Volteo-
(2010 – 2013)



Fuente: Elaboración propia, con base a los análisis de laboratorio -Castrol North American- dentro del período establecido.

Como se observa en la gráfica anterior, no se observan partículas sólidas dentro los 10 monitoreos de muestra.

Durante el cambio de aceite establecido en enero de 2012, se determinó cantidad de aceite emulsionado con agua, patrón determinado principalmente por el condensado del depósito y la exposición constante al agua del proceso de fundición, según lo determinado en el análisis de laboratorio respecto a la norma ASTM D 1401.

Asimismo, al parámetro de medición a la formación de espuma, no se determinó ningún parámetro fuera del rango normal, dentro del ensayo de laboratorio.

Tabla 9.
Resultado final, análisis de formación de espuma y demulsibilidad
Unidades hidráulicas - Industria minera
(2014)

Características	Método de ensayo	Punto de muestreo 1	Punto de muestreo 2
(d) Contenido de Agua (Demulsibilidad)	ASTM D-1401	0.3%	0.1%
Sólidos	--	0	0

Fuente: Elaboración propia, con base a los datos obtenidos en los análisis de laboratorio.

A continuación, se muestra la tabla resumen de los análisis técnicos, realizados a los dos puntos de muestreo, comparado con lo establecido por el fabricante.

Tabla 10.
Resumen, análisis de evaluación técnica
Aceite hidráulico tradicional mineral y sintético - Industria minera
(2014)

Características	Aceite mineral -Horno- (Fabricante)	Punto de muestreo 1	Aceite sintético -Volteo- (Fabricante)	Punto de muestreo 2 -Volteo-
(a) Viscosidad @ 40°C	46	38.58	68	59.1
Viscosidad @ 100°C	6.7	5.2	8.6	7.3
Índice de viscosidad	106	87	110	95
(b) Protección a la oxidación (TAN)	Excelente	Pobre	Excelente	Pobre
(c) Punto de inflamación °C	222	215	240	231
Punto de combustión °C	260	248	290	276
Punto de auto-ignición °C	298	280	410	385
Resistencia al fuego	Pobre	Pobre	Justo	Justo
(d) Contenido de Agua (Demulsibilidad)	<0.05%	0.3%	<0.05%	0.1%

Fuente: Elaboración propia, con base a los datos reales de STLE (2005) y los obtenidos en los análisis de laboratorio.

Con el análisis y las tendencias realizadas, en el punto de muestreo 1 y 2 dentro de la industria minera, se determinó que los aceites hidráulicos actuales, están por debajo de los parámetros establecidos por los fabricantes.

A continuación, se presenta la evaluación financiera que respalda el uso actual de los aceites hidráulicos tradicionales dentro de la industria minera:

4.2. Evaluación financiera

Al realizar el diagnóstico de la utilización de lubricantes hidráulicos tradicionales, en el proceso de fundición, se evidenció el cumplimiento de la teoría de los aceites hidráulicos en relación al funcionamiento, y que se explicó en la parte teórica.

Los resultados según la encuesta realizada, muestran que efectivamente el 5% del costo en la operación del sistema hidráulico, corresponde al aceite hidráulico y el 95% al funcionamiento del mismo; por lo que se puede deducir que el impacto del uso del aceite hidráulico tradicional actual, está ocasionando el 60% de los problemas en el proceso de fundición, tal y como se evidenció en la tendencia de las propiedades físicas y químicas descritas y analizadas en la parte técnica.

Aunado a lo anterior, se evaluaron los puntos de muestreo 1 y 2 en la industria minera, con capacidad de 25 y 15 toneles respectivamente; considerando lo establecido por el fabricante y la evaluación de campo, para determinar el costo total anual en aceites hidráulicos como insumos del mantenimiento, dichos resultados se muestran a continuación:

Tabla 11.
Costo total anual en aceite hidráulico
Comparativo del fabricante en relación a la evaluación de campo
(2014)

Unidad hidráulica	Capacidad del depósito (Toneles)	Rellenos anuales (Toneles)	Uso total (Toneles)	Costo unitario (Tonel)	Costo anual de toneles	Vida del aceite hidráulico (años)	Costo total anual en aceite
Horno (Fabricante)	25	-	25	\$ 1,200.00	\$ 30,000.00	2	US\$ 15,000.00
Punto de muestreo 1, (campo)	25	2	27	\$ 1,200.00	\$ 32,400.00	1	US\$ 32,400.00
Volteo (Fabricante)	15	-	15	\$ 2,150.00	\$ 32,250.00	3	US\$ 10,750.00
Punto de muestreo 2, (campo)	15	1	16	\$ 2,150.00	\$ 34,400.00	1.5	US\$ 22,933.33

Fuente: Elaboración propia, con base a los precios promedio de aceites hidráulicos en el mercado y evaluación técnica en trabajo de campo.

*Según Banco de Guatemala, el cambio promedio anual a moneda nacional fue de: US\$7.82, 2012; US\$7.86, 2013 y US\$7.74, 2014.

Con la información proporcionada en la tabla anterior, se determina el incremento de 25 a 54 toneles en el punto de muestreo 1 y de 15 a 32 toneles en el punto de muestreo 2; lo que representa aproximadamente el doble de consumo en toneles en lubricante hidráulico tradicional para el insumo de mantenimiento, en la industria minera.

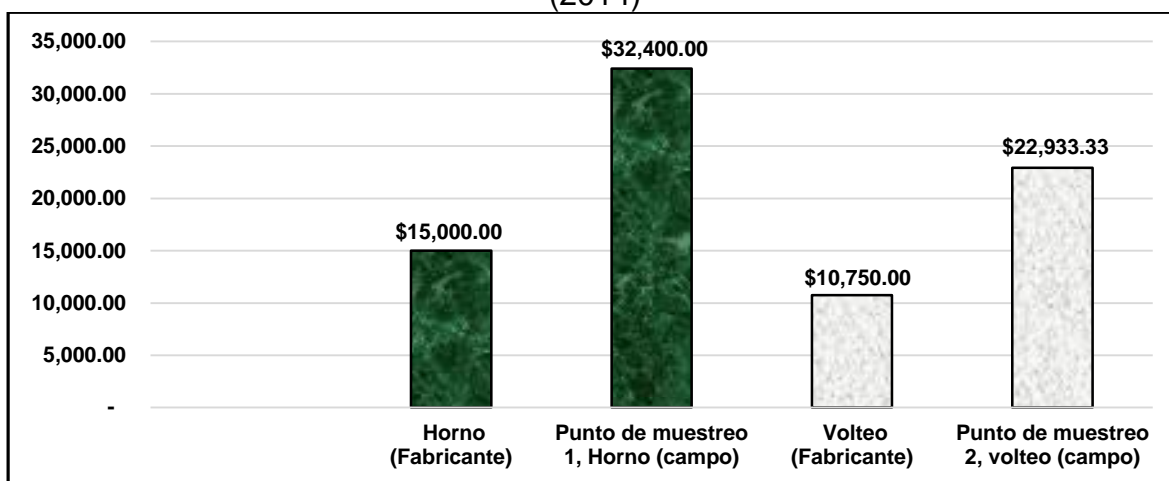
Al observar, la columna del costo total anual en aceite, el punto de muestreo 1 -Unidad Hidráulica del Horno-, se realizó una comparación a lo establecido por el fabricante, representando un incremento en 116% sobre el costo asignado al insumo del mantenimiento, debido a que se realizan cambios anuales del aceite hidráulico; cuando el fabricante especifica, que el cambio total de aceite en el depósito, debe de realizarse una vez cada dos años. A esto se debe de agregar, los rellenos anuales de aceite por averías en las unidades hidráulicas.

Situación similar para el punto de muestreo 2 -Unidad Hidráulica de Volteo-, con un 113% sobre el costo establecido al insumo de mantenimiento, realizando

cambio de aceite cada año y medio; cuando el fabricante especifica, cambio total de aceite cada tres años.

Dadas las condiciones mencionadas anteriormente, se presenta un gráfico comparativo del consumo establecido por el fabricante y el actual:

Gráfico 13.
Consumo anual de aceite hidráulico, cantidades en US\$*
Análisis del fabricante en relación a la evaluación de campo
(2014)



Fuente: Elaboración propia.

*Según Banco de Guatemala, el cambio promedio anual a moneda nacional fue de: US\$7.74, 2014.

Por consiguiente, realizar los cambios totales del aceite hidráulico tradicional, como parte de mantenimientos preventivos a corto plazo, por constantes anomalías en parámetros técnicos del aceite hidráulico; no solamente implica, aumento de los costos en el insumo del mantenimiento, sino también paros de producción; significando una disminución en el porcentaje de producción, rentabilidad y el funcionamiento de la unidad hidráulica a largo plazo.

En las siguientes tablas, se puede visualizar la producción de metales, costos, precios y margen de beneficios promedio en la industria minera; datos que representan la cuantiosa pérdida de producción por cambio total en las unidades

hidráulicas, debido a las evaluaciones técnicas obtenidas a través de los análisis de laboratorio, como herramienta del mantenimiento predictivo.

Tabla 12.
Producción promedio en tonelada métrica*
Punto de muestreo 1 – Industria minera
(2013 – 2014)

Descripción	Promedio
Producción anual total	25,000
Producción mensual	2,083
Producción diaria	69.44
Producción hora	2.89

Fuente: Elaboración propia, según datos de MEM, <http://www.mem.gob.gt/2014/06/02/minera-en-el-estor-reactivara-comercio-con-5-mil-empleos/> *Una tonelada métrica (TM) es equivalente a 32,150.74 onzas Troy o 2,204 lbs.

Con la información anterior, se deduce, por cada hora de paro de producción³⁶ que se realice en el punto de muestreo 1, para cambiar lubricante en la unidad hidráulica, se dejan de producir 2.89 TM; en una jornada de ocho horas de producción, representa una pérdida de 23.12 TM, cuando se realiza un cambio total de aceite hidráulico.

Tabla 13.
Costos y precios promedios en US\$* por tonelada métrica
Punto de muestreo 1 – Industria minera
(2013 – 2014)

Descripción	Tonelada métrica	Producción por hora	Costo total por hora
Costos**	US\$ 8,816.00	2.89 TM	US\$ 25,478.24
Precios***	US\$ 17,385.71		

Fuente: Elaboración propia, según datos de MEM. <http://www.mem.gob.gt/2014/06/02/minera-en-el-estor-reactivara-comercio-con-5-mil-empleos/>

*Según Banco de Guatemala, el cambio promedio anual a moneda nacional fue de: US\$7.86, 2013 y US\$7.74, 2014.

** $(\text{Costo} = \text{US}\$4/\text{Lbs} * 2204 \text{ lbs}/\text{TM} = 8,816.00)$ http://www.solwaygroup.com/itemf_19.htm

***<http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=niquel> (Precios promedios de junio a diciembre de 2014)

³⁶ En promedio, el cambio de aceite hidráulico es de 6 a 10 horas en paros, no programados. Un paro programado, se refiere al seguimiento y cumplimiento de un cronograma de actividades, establecido para los equipos de producción. (nota del autor)

Dada la producción, costos y precio de los lubricantes, se procedió a realizar un análisis de beneficio/costo, para determinar el margen de beneficios que tienen actualmente.

Tabla 14.
Análisis beneficio/costo por hora, precios en US\$
Punto de muestreo 1 – Industria minera
(2014)

Descripción	Por hora	Porcentajes
Ingreso (precio * cantidad)	50,244.70	100
Costo total	25,478.24	50.7
Margen de beneficios	24,766.46	49.3
Relación B/C	1.97	

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de relación beneficio/costo, evidencia que por cada tonelada métrica producida por hora y vendida, se obtiene un margen de beneficios de US\$ 24,766.46; pero por cada hora de paro en la producción por un cambio de aceite hidráulico tradicional, monetariamente significa dejar de percibir 0.97 centavos de dólar.

Respecto al análisis del punto de muestreo 2, se obtuvo lo siguiente:

Tabla 15.
Producción en onzas troy*
Punto de muestreo 2 – Industria minera
(2010 – 2014)

Descripción	Promedio
Producción anual total	9,051,967.73
Producción mensual	754,330.64
Producción diaria	25,144.36
Producción hora	1,047.68

Fuente: Elaboración propia, según datos de: http://www.prensalibre.com/infografia/Mina_Marlin_PREFIL20130926_0001.pdf
*32,150.74 onzas Troy es equivalente a 1 tonelada métrica (TM).

Con la información anterior se deduce, por cada hora de paro de producción que se realice en el punto de muestreo 2, para cambiar lubricante en la unidad hidráulica, se dejan de producir 1,047.68 onzas troy. En una jornada de ocho horas de producción, representa una pérdida de 8,381.44 onzas troy no producidas, cuando se realiza un cambio total de lubricante hidráulico.

A continuación, se muestran los costos y precios promedios en US\$ por onza troy producida:

Tabla 16.
Costos y precios promedios en US\$ por onza troy
Punto de muestreo 2 – Industria minera
(2010 – 2014)

Descripción	Onza troy	Producción por hora	Costo total por hora
Costos	US\$ 279.00	1,047.68 onzas troy	US\$ 292,302.72
Precios	US\$ 1,617.74		

Fuente: Elaboración propia, según datos de: http://www.prensalibre.com/infografia/Mina_Marlin_PREFIL20130926_0001.pdf
*Según Banco de Guatemala, el cambio promedio anual a moneda nacional fue de: US\$8.07, 2010; US\$7.79, 2011; US\$7.82, 2012, US\$7.86, 2013 y US\$7.74, 2014.

Aumentando el costo promedio de producción, la minería pierde más beneficios. Con precios promedio constantes, para los períodos anuales evaluados y cambio en los costos, se visualiza, que cuando estos últimos aumentan, el beneficio disminuye.

Tabla 17.
Análisis beneficio/costo por hora, precios en US\$
Punto de muestreo 2 – Industria minera
(2014)

Descripción	Por hora	Porcentajes
Ingreso (precio * cantidad)	1,694,873.84	100
Costo total	292,302.72	17
Margen de beneficios	1,402,571.12	83
Relación B/C	5.80	

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la relación beneficio/costo, evidencia que por cada onza troy producida por hora y vendida, se obtiene un margen de beneficios de US\$ 1,402,571.12; lo que puede traducirse que por cada dólar invertido, obtiene 4.80 dólares de ganancia.

Con lo expuesto anteriormente, se evidencia que el margen de beneficios promedio en la industria minera es de 66.15%, por cada dólar invertido; porcentaje que puede incrementar considerablemente, con el uso adecuado del mantenimiento predictivo.

Sintetizando, con la pérdida del margen de beneficios actuales por el cambio constante de aceite hidráulico; financieramente, es necesaria la verificación de los costos, de esto, la importancia de adquirir insumos dentro del mantenimiento con especificación técnica adecuada, para el uso de estos en las unidades hidráulicas del Horno y Volteo.

Aunado a lo anterior y congruente con los objetivos establecidos, se hace necesario, realizar una evaluación sobre la gestión ambiental en la industria minera, para determinar la incidencia que tienen los aceites hidráulicos tradicionales en el ambiente.

4.3. Evaluación de la gestión ambiental

Los principales riesgos y peligros potenciales en el área de fundición de minerales en la industria minera, que pueden alterar el ambiente, según lo encontrado es:

Tabla 18.
Evaluación del impacto potencial
Área de fundición de minerales - industria minera
(2014)

Factor ambiental	Impacto potencial	Calificación de la evaluación*
Aire	• Potencial contaminación, a partir de emisiones de partículas y gases por la actividad de las unidades hidráulicas y por las labores de extracción mineral.	(-)
	• Potencial contaminación por generación de ruido y vibraciones originados por la fundición de minerales en el proceso crítico.	(+)
Suelo	• Potencial contaminación por posibles derrames de lubricante hidráulico, (fugas y/o accidentes).	(-)
	• Afectación de características físico-químicas del suelo.	(-)
	• Vibración.	(+)
Aguas superficiales	• Alteración local del sistema de drenaje pluvial con residuos de lubricantes.	(+)
	• Potencial contaminación por aporte de partículas de lubricantes usados provenientes de la unidad hidráulica.	(-)
Aguas subterráneas	• Efectos en la capacidad de recarga de infiltración de la zona bajo el área de operación de la unidad hidráulica.	(+)
	• Potencial contaminación por lubricantes hidráulicos provenientes de la unidad hidráulica.	(-)
Laboral	• Área de trabajo y utilización de bienes y servicios.	(+)
	• Riesgos de trabajo por desarrollo de labores, en condiciones peligrosas.	(-)
	• Incidencia con fuego en altas temperaturas de operación.	(-)
	• Incendios y explosiones	(-)
	• Potenciación de la vulnerabilidad por amenazas naturales	(-)
Producción de residuos	• Potencial impacto por producción de residuos sólidos.	(-)
	• Potencial contaminación por la generación de aguas negras y servidas de los usuarios al momento de los mantenimientos.	(-)
	• Deslizamiento de material inherente acumulado.	(+)

Fuente: Elaboración propia, con base a datos en trabajo de campo. (Revisión realizada del 02 al 19 de julio de 2014).

*El signo de un impacto, indica la naturaleza beneficiosa (+) o perjudicial (-) de los impactos potenciales.

Realizada la evaluación del impacto potencial dentro de la industria minera, en el área de fundición de minerales, no se encontró ningún control y manejo de los lubricantes hidráulicos tradicionales, como parte del proceso de operación.

Los procedimientos para el manejo de lubricantes en el proceso de extracción y procesamiento de los minerales, es de suma importancia para el manejo ambiental, pues el funcionamiento de los equipos depende de estos. También se debe de hacer énfasis que un mal manejo de estos, puede incrementar la contaminación.

En cuanto al análisis del manejo de lubricantes y sus desechos, se determinó que los procedimientos establecidos en el plan de gestión ambiental de la actividad minera en Guatemala, no hacen diferencia en manejo de desechos peligrosos y no

peligrosos; asimismo, no se establecen controles y monitoreos adecuados para evitar desastres que impactan en el entorno.

Aunado a lo anterior, las medidas de mitigación que fueron evidenciadas en el marco teórico, no son consideradas durante la operación y mantenimiento de los equipos de proceso, lo cual puede generar secuelas negativas en el medio ambiente, seguridad al personal y de sectores aledaños a la minería.

Según la evaluación realizada al plan de gestión ambiental, la industria minera no cuenta con la infraestructura ni los procesos adecuados para su control y manejo, funcionan bajo condiciones empíricas y contaminantes; además, producen cantidades significativas de desechos como consecuencia de sus operaciones dentro del proceso.

Por lo general, los desechos son líquidos y sólidos, los cuales son tirados al medio ambiente, basureros cercanos a las plantas de proceso e incluso en terrenos de las mismas plantas, apreciándose a primera vista cenizas, *wipes*, basuras aceitosas, entre otros. Los líquidos generados, como el agua contaminada con hidrocarburos, no llevan un control en períodos establecidos.

En términos generales, los efectos negativos se evidenciaron en la pérdida de valor ambiental y económico del medio natural derivado de la disposición inadecuada, costos en salud curativa por las enfermedades asociadas a la contaminación por manejo en los lubricantes usados y pérdida de bienestar financiero para la industria minera.

Se reconoce que la evaluación y valoración ambiental, es parte importante para la gestión del medio ambiente; para esto, la industria minera puede optar a certificarse con ISO 14001:2004; con el análisis del contenido de estos

documentos, como parte de las técnicas utilizadas, en comparación con los requisitos del PGA de la industria minera guatemalteca, se encontró lo siguiente:

Tabla 19.
Evaluación de los requisitos ambientales ISO 14001:2004
En referencia al plan de gestión ambiental en la industria minera
(2014)

Descripción	Resultados
Requisitos generales:	Se estableció que la documentación, implementación, mantenimiento y mejora continua es inexistente.
Política ambiental:	La definición y autorización de la política ambiental, la cual debe ser apropiada a la naturaleza, magnitud e impactos ambientales, en compromiso de la prevención de la contaminación, no es divulgada ni conocimiento público.
Planificación:	La identificación y determinación de aspectos que pueden tener un impacto significativo en el medio ambiente, no son evaluados ni controlados. Los requisitos legales, relacionados al establecimiento, implementación y mantenimiento ambiental, no están plenamente identificados. La documentación de los objetivos, programas y metas, no pueden ser medibles ni cuantificables en relación a la política ambiental.
Implementación y operación:	La responsabilidad, funciones y autoridad, en determinadas áreas no han demostrado compromiso para el establecimiento, implementación, mantenimiento y mejoramiento de la política ambiental. El desconocimiento de la gestión ambiental, genera falta de conciencia en las personas para la consecución de un sistema que resguarde el medio ambiente. Las personas realizan actividades que pueden impactar en el sistema, pues no poseen el conocimiento ni formación adecuada, para la identificación de consecuencias potenciales de los procedimientos. El sistema no es comunicado en todos los niveles de la organización ni de forma externa, a la vez no hay documentación y control del sistema de gestión ambiental. La determinación de operaciones y actividades asociadas a los aspectos ambientales significativos, deben estar relacionadas a la política ambiental, programas, metas y objetivos, al no estar establecidos, el impacto ambiental es mayor, sin la preparación adecuada ante las emergencias.
Verificación:	El seguimiento, medición, evaluación del cumplimiento legal, las no conformidades, las acciones correctivas y preventivas, no tienen relación a los problemas e impactos ambientales encontrados.
Auditoría:	No existe responsable, ni planificación para la realización de las auditorías, que determinen la frecuencia y los métodos a utilizar.
Revisión por la gerencia:	Por la inexistencia de una planificación y por lo tanto de los resultados que puede conllevar la realización de una auditoría interna, no puede existir una revisión conforme al cumplimiento de la política ambiental, programas, objetivos y metas, que conlleven el mejoramiento continuo.

Fuente: Elaboración propia, con base a las normas internacionales ISO 14001:2004. (Revisión realizada del 11 al 28 de agosto de 2014).

Tal como se apreció en la tabla anterior, la deficiente planificación, monitoreo y control en la gestión ambiental, evidencia el inadecuado manejo de desechos generadores de contaminación en el medio ambiente; y aunque algunos procesos

son monitoreados, divulgados y comunicados a los trabajadores y población en general, se evidenció conforme a la revisión de la normativa internacional ISO 14001:2004, que la unidad de análisis, no llena requisitos para aplicar a una certificación ambiental internacional.

Revisado el plan de gestión ambiental en la industria minera, se procedió a evaluar la seguridad industrial, para verificar el cumplimiento y las anomalías que este presenta, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

4.4. Evaluación de seguridad industrial

Considerando que el proceso de fundición de los minerales, está expuesto a elevadas temperaturas, el riesgo del personal que opera dentro del área, es alta. Se realizó un Análisis de Trabajo Seguro -ATS- dentro de la industria minera, para recabar datos sobre el manejo y control de la seguridad.

El uso de aceites hidráulicos tradicionales dentro del proceso de fundición, es un aspecto a considerar para que el proceso se ejecute adecuadamente; si el aceite presenta deficiencias en operación, es perjudicial y la seguridad industrial de los trabajadores se pone en riesgo, por lo que al evaluar los controles, éstos se deben de cumplir a cabalidad para la realización de ciertas actividades dentro del proceso.

Se consideró una puntuación promedio dentro de la unidad de análisis, para tener un referente porcentual cuantitativo sobre la evaluación en la industria minera guatemalteca, a continuación se muestra la tabla de resultados:

Tabla 20.
Análisis de Trabajo Seguro -ATS-
En el proceso de fundición del mineral en la industria minera
(2014)

No.	Descripción	Ponderación	Resultados*
1	Equipo de protección Personal	15%	11%
	Casco		2
	Guantes		1
	Lentes		3
	Tampones auditivos		2
	Chumpa		2
	Chaleco reflectivo		0
	Botas punta de acero		1
	Mascarilla		0
2	Area de trabajo	20%	12%
	Extintores		2
	Caminamientos		3
	Señalización		2
	Puntos de reunión		2
	Evacuación		3
3	Riesgo de operación	30%	16%
	Controles en altas temperaturas		2
	Control a derrames de lubricante		4
	Acción a rotura de mangueras		3
	Acción a fallos mecánicos		5
	Control al fuego		2
4	Control de proceso de fundición	20%	11%
	Control de operación		2
	Cumplimiento del equipo personal		2
	Capacitaciones a personal		1
	Control de personal externo al proceso (contratistas, proveedores, entre otros)		2
	Alarmas auditivas y visuales		3
	Cámaras de seguridad		1
5	Revisión de sistemas hidráulicos	15%	11%
	Bloqueo y etiquetado de los equipos		2
	Control en arranques arranque		2
	Monitoreo de fugas de aceite		3
	Control en niveles de aceite		2
	Mantenimientos con herramienta adecuada		2
	Total	100%	61%

Fuente: Elaboración propia, con base a datos en trabajo de campo, realizado del 7 al 24 de octubre de 2014.

*El porcentaje mínimo debe de ser 80%, según teoría de Pareto, donde establece que el 20% de una acción producirá el 80% de los efectos.

Con los datos obtenidos, sobre el área de proceso de fundición evaluada, a través del ATS³⁷, el porcentaje total obtenido fue de 61%; dicho porcentaje, está por debajo de lo establecido en un 23.7% para el área crítica que se evaluó; debido a que el mínimo para esta evaluación, debe de ser por lo menos 80%, según la teoría de Pareto aplicada al ATS dentro de la industria.

³⁷ La puntuación sobre cada aspecto evaluado dentro del proceso de fundición en la industria minera, está promediado; con esto se determinó la ponderación final del Análisis del Trabajo Seguro.

Se reconoce que la evaluación y valoración de los riesgos, es parte importante para la gestión de la seguridad industrial; para esto, la industria minera debe de cumplir los requisitos del Sistema de Gestión S&SO -Seguridad y Salud Ocupacional- OHSAS 18001:2007, considerando dichos documentos, como parte de las técnicas utilizadas, se encontró lo siguiente:

Tabla 21.
Evaluación de los Requisitos del Sistema de Gestión -OHSAS 18001:2007-
En referencia al cumplimiento de la seguridad industrial de la industria minera
(2014)

Descripción	Resultados
Requisitos generales:	Se estableció la documentación, implementación, mantenimiento y mejoramiento continuo del sistema en la parte existente del muestreo.
Política:	La definición y autorización de la política S&SO, la cual debe ser apropiada a la naturaleza y escala de los riesgos S&SO, no se encuentra en un lugar visible y accesible para cualquier persona que desee leerla, así como la prevención de lesión y enfermedad, compromiso en cumplimiento de requisitos legales aplicables y relacionados a los peligros, no está previamente documentada, implementada, mantenida y comunicada a todos los colaboradores.
Planificación:	Identificación de peligro, evaluación de riesgo y determinación de los controles, respecto a las actividades, comportamiento y capacidades humanas, no están siendo los adecuados. Se verificaron los requisitos legales, asegurando su establecimiento, implementación y procedimientos para identificar y acceder a los mismos y otros aplicables, los cuales deben de ser actualizados. Los objetivos y programas, debidamente documentados en las funciones y niveles relevantes dentro de la organización. Los objetivos no son medibles para garantizar los requisitos legales, financieros, operacionales y de negocios.
Implementación y operación:	La responsabilidad, funciones y autoridad, en determinadas áreas no han demostrado compromiso para el establecimiento, implementación, mantenimiento y mejoramiento del sistema. Las personas que bajo su control realizan actividades que pueden impactar en el sistema, deben ser sobre la base de competencia, formación y conciencia, en relación a su educación, entrenamiento, experiencia bajo en registro asociado. El sistema es comunicado en todos los niveles de la organización y de forma externa, para la participación apropiada de peligros y evaluación de riesgos para la determinación de controles, así como la documentación y control del sistema. La determinación de operaciones y actividades asociadas a peligros, identificando con controles necesarios para el manejo de riesgos, no se están implementando adecuadamente. Necesitan preparación y respuesta ante emergencias.
Verificación:	La medición y monitoreo del desempeño, evaluación del cumplimiento y la investigación de incidentes, no conformidad, acciones correctivas y preventivas, no se están cumpliendo a cabalidad.
Revisión por la gerencia:	De los resultados de auditorías internas, participación y consulta, desempeño, grado de cumplimiento de objetivos, estado de investigaciones, acciones y recomendaciones consistentes de compromiso para el mejoramiento continuo, se encontraron carencias en las metodologías y monitoreos para la revisión en los períodos establecidos.

Fuente: Elaboración propia, con base al sistema de gestión en seguridad y salud, OHSAS 18001:2007. (Revisión realizada del 8 al 29 de septiembre de 2014).

Tal como se apreció en la tabla anterior, la industria minera de Guatemala, se encuentra deficiente en planificación, monitoreo y control de la seguridad industrial; asimismo, algunos procesos productivos están certificados con el Sistema de Gestión OHSAS 18001:2007 pero, no están cumpliendo a cabalidad los lineamientos.

Aunado a lo anterior, se encontraron deficiencias en la planificación, manejo y control de la unidad de análisis, cumpliendo con lineamientos mínimos del Sistema de Gestión S&SO, OHSAS 18001:2007, dato importante para considerar acciones preventivas a corto plazo, ya que la seguridad industrial, es el primer factor a considerar para que los procesos productivos de alto riesgo se ejecuten eficientemente.

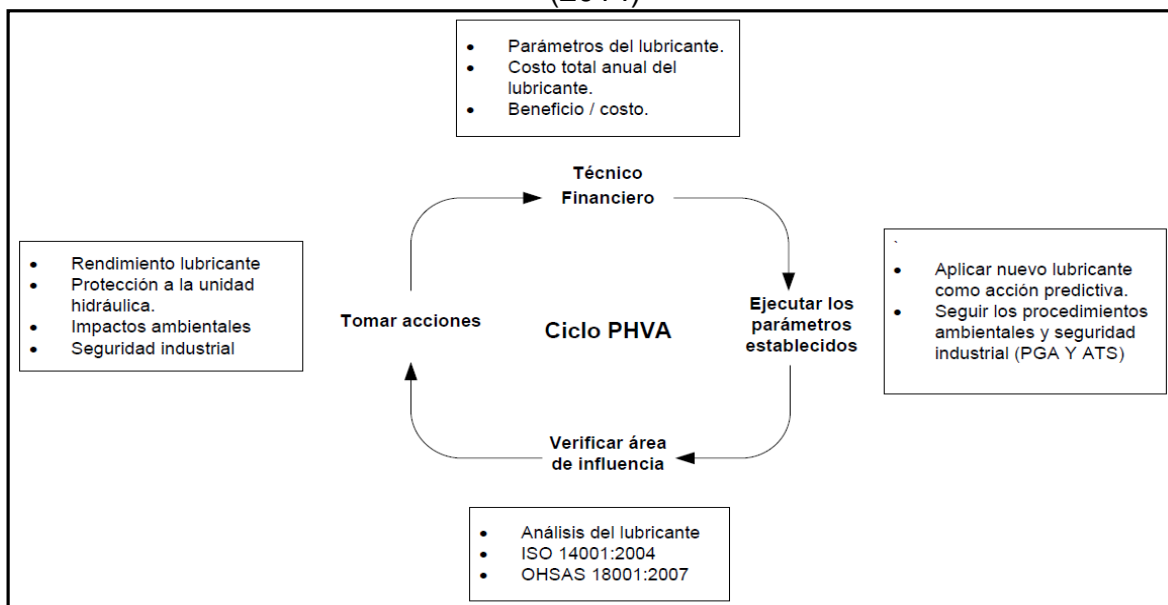
En el apartado siguiente se presenta una propuesta, en los aspectos: técnico-financiero, gestión ambiental y seguridad industrial, exponiendo las diferencias del uso de los fluidos hidráulicos tradicionales respecto a los resistentes al fuego -RF-; así como los beneficios de su aplicación en el área descrita.

5. Propuesta

Se procede a detallar una propuesta, considerando la teoría de Deming, la cual se dirige a una acción ciclica que consiste en planear, hacer, verificar y actuar. (Gutiérrez, 2010)

Aplicando la teoría anterior, se propuso un fluido hidráulico RF, como parte de la planeación en el mantenimiento³⁸ predictivo para la industria minera en los aspectos técnicos y financieros, tal y como se muestra a continuación:

Figura 4.
Ciclo de mejora con aceite hidráulico RF
Teoría de Deming
(2014)



Fuente: Elaboración propia, adaptación a la teoría de Deming.

A lo anterior, se deben de ejecutar correctamente los parámetros establecidos, para que el cumplimiento de los mismos al mediano y largo plazo, tengan soporte valido e influyente al momento de realizar las verificaciones periódicas.

³⁸ Para ampliar información, de los mantenimientos realizados en fluidos y sistemas hidráulicos, ver marco teórico. (nota del autor)

Posteriormente, con la verificación, se visulizarán los beneficios en la reducción de desechos como parte del PGA y el aumento de la seguridad industrial, con el monitoreo del ATS.

Seguidamente, se deberá re-planificar, con el objetivo de aplicar la mejora continua, factor determinante del cumplimiento de los requisitos de las normas internacionales ISO 14001:2004 y OHSAS 18001:2007.

5.1. Fluidos resistentes al fuego

Descritas las dos opciones de fluidos hidráulicos resistentes al fuego en el marco teórico, se procede a realizar una comparación técnica con los utilizados actualmente, para demostrar la importancia de esta aplicación en las unidades hidráulicas de la industria minera:

Tabla 22.
Comparación técnica de aceites hidráulicos tradicionales
En relación a los aceites RF
(2014)

Características Fluido hidráulico*	Aceite mineral -Horno-	Aceite sintético -Volteo-	Agua Glicol (A)	Sintético, Éster (B)
	Convencionales		Resistentes al fuego	
(a) Viscosidad @ 40°C	46	68	33	46 - 68
Viscosidad @ 100°C	6.7	8.6	NA	15.8
Índice de viscosidad	106	110	150	186
(a) Protección a la oxidación (TAN)	Excelente	Excelente	Bueno	Excelente
(b) Punto de inflamación °C	222	240	NA	260
Punto de combustión °C	260	290	NA	315
Punto de auto-ignición °C	298	410	440	482
Resistencia al fuego	Pobre	Justo	Bueno	Excelente
(c) Contenido de Agua (Demulsibilidad)	<0.05%	<0.05%	NA	<0.05%
Aprobación <i>Factory Mutual</i> **	NA	NA	Si	Si
Biodegradable**	NA	NA	NA	Si

Fuente: Asociación de Tribólogos e Ingenieros en Lubricación -STLE-, hidráulicos (2005)

*Adaptación de tabla para efecto de propuesta. **Consideraciones extras, para efectos de la evaluación.

Como se puede observar en la tabla anterior, los aceites agua glicol RF, tienen un índice de viscosidad de 150, superior a los aceites hidráulicos tradicionales pero, al tener contacto con temperaturas superiores a 70 °C suele evaporarse; aunque reponiendo la emulsión con agua, puede ser más controlable; además, la temperatura de auto-ignición es de 30 °C superior al lubricante sintético tradicional.

Por otro lado, el fluido hidráulico sintético RF, tiene un índice de viscosidad superior en 76 cSt. al sintético actual, por lo que tiene mejor variabilidad en la temperatura, lo que evita rellenos de aceite por evaporación, mejor capacidad de la oxidación en altas temperaturas de operación, además de contar con un punto de auto-ignición de 482 °C, lo que representa mayor vida dentro de los sistemas hidráulicos y mayor protección a piezas mecánicas. Las características de rendimiento de este tipo, son similares a los fluidos hidráulicos sintéticos tradicionales pero, además, tiene altos niveles de biodegradabilidad y bajos niveles de toxicidad, sin olvidar la aprobación de *Factory Mutual*³⁹.

Considerando lo anterior, con los datos recabados en los puntos de muestreo 1 y 2, con capacidad de 25 y 15 toneles respectivamente; se procede a realizar una comparación de costo total anual, con los aceites agua glicol y sintético RF propuestos para la industria minera:

³⁹ Para ampliar información, acerca de *Factory Mutual*, visitar la siguiente página web: www.fmglobal.com (nota del autor)

Tabla 23.
Costo total anual en aceite hidráulico actual
En relación a opciones (A y B) – Industria minera
(2014)

Unidad hidráulica	Capacidad del depósito (Toneles)	Rellenos anuales (Toneles)	Uso total (Toneles)	Costo unitario (Tonel)	Costo anual de toneles	Vida del aceite hidráulico (años)	Costo total anual en aceite (US\$)**
Punto de muestreo 1, (campo)	25	2	27	US\$ 1,200.00	US\$ 32,400.00	1	32,400.00
Punto de muestreo 2, (campo)	15	1	16	US\$ 2,150.00	US\$ 34,400.00	1.5	22,933.33
Industria minera	Total						55,333.33
(A) Aceite hidráulico agua glicol* (RF)	40	3	43	US\$ 1,575.00	US\$ 67,725.00	1.5	45,150.00
(B) Aceite hidráulico sintético (RF)	40	2	42	US\$ 2,744	US\$ 115,248.00	3	38,416.00

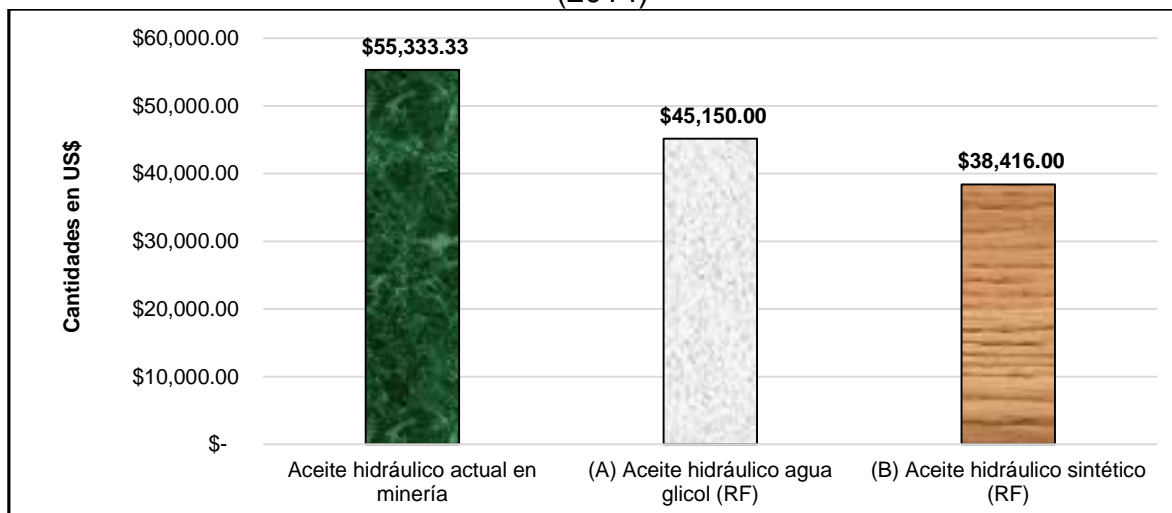
Fuente: Elaboración propia, con base a los resultados y los precios actuales en el mercado de lubricantes.

*Los lubricantes agua glicol, contienen un 40-50% de lubricante, el resto es agua destilada.

**Según Banco de Guatemala, el cambio promedio anual a moneda nacional fue de: US\$7.74, 2014.

Dada la tabla anterior, sobre el consumo total anual de aceite hidráulico en la industria minera, se realizó un comparativo con los fluidos hidráulicos RF propuestos -A y B-, donde se observa que la inversión inicial es superior en un 31% por tonel de agua glicol y un 129% más para el sintético en relación al mineral actual y, un -27% por tonel de agua glicol y un 28% respecto al sintético actual pero, demostrados los parámetros técnicos comparativos anteriores; se deduce que el costo total anual, es menor en 18% y 31% para los lubricantes hidráulicos RF propuestos respectivamente, tal y como se muestra en el siguiente gráfico:

Gráfico 14.
Comparativo, costo total anual en aceite hidráulico actual
En relación a opciones (A y B) – Industria minera
(2014)



Fuente: Elaboración propia.

Aunado y congruente a la expuesto, no solamente el costo total anual de los aceites hidráulicos RF es menor con los utilizados actualmente; sino también, disminuye la cantidad de aceite usado anual de 38 a 29 toneles con el uso de agua glicol y a 14 toneles con el sintético -Éster-; lo cual significa, una reducción porcentual de 25% y 63%, respectivamente. A continuación, se muestra el ahorro anual y proyectado en US\$ que se obtendrá al utilizar lubricantes RF.

Tabla 24
Ahorro anual y proyectado en US\$
Industria minera
(2014)

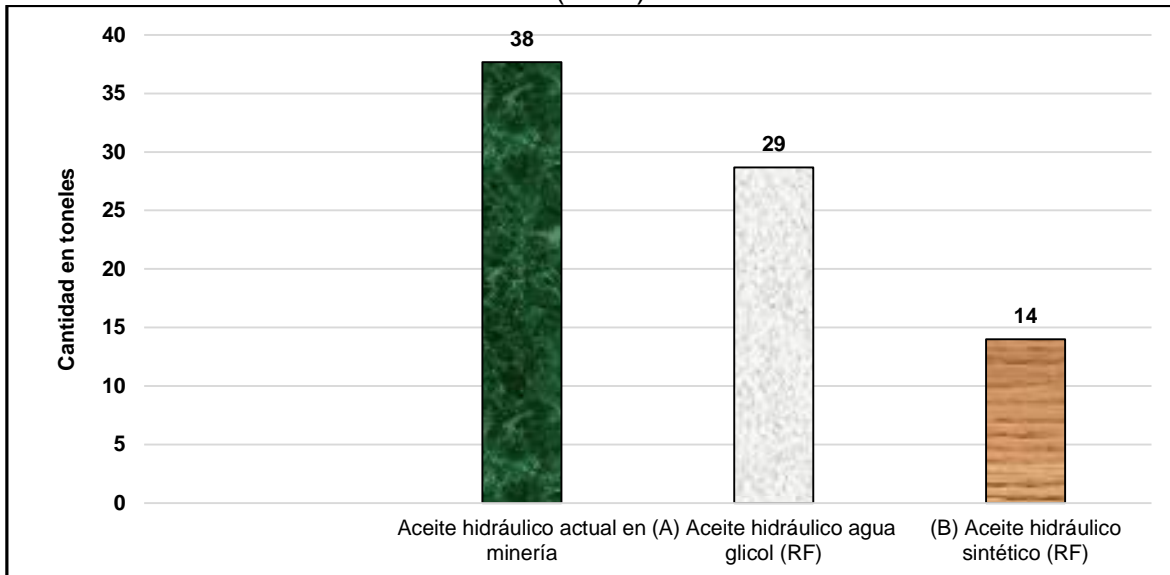
Aceite RF	Ahorro en toneles	Costo por tonel	Ahorro anual	Ahorro proyectado a tres años
Agua Glicol	9	1,575.00	14,175.00	42,525.00
Sintético (Éster)	24	2,744	65,856.00	197,568.00

Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se mostró en la tabla anterior, utilizando aceites RF en la industria minera, se logran ahorros anuales. Además, generando menor cantidad de

desechos y reciclaje, disminuye la cantidad del aceite usado y mejora el control en la gestión ambiental, tal y como se muestra en el gráfico siguiente:

Gráfico 15.
Generación de desechos anual
En relación a propuestas (A y B) – Industria minera
(2014)



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico anterior, el uso de un aceite hidráulico RF, reduce la cantidad de desechos, aspecto importante para los costos asociados que representan la restauración y limpieza al cierre de operaciones de una mina.

Asimismo, la reducción de contaminantes en el medio ambiente, debe ser parte integral de un plan de gestión ambiental, documento considerado dentro de la normativa internacional ISO 14001:2004, la cual debe de ser divulgada, implementada y controlada según sus requisitos. En los hallazgos encontrados, se visualizó carencia de un documento que contemple los desechos por lubricantes usados, el cual debe de ser considerado dentro de los procesos mineros y, según la evaluación y comparación realizada con la normativa, la industria minera guatemalteca a pesar de la divulgación de la protección al medio

ambiente, omite los registros y controles para el manejo de desechos peligrosos que deterioran el ecosistema, tal y como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 25.
Evaluación de PGA y medidas de mitigación
Proceso de fundición de minerales - industria minera
(2014)

Factor ambiental	Impacto potencial	Calificación de la evaluación*	Medidas de mitigación
Aire	<ul style="list-style-type: none"> Potencial contaminación, a partir de emisiones de partículas y gases por la actividad de las unidades hidráulicas y por las labores de extracción mineral. 	(-)	<ul style="list-style-type: none"> Colocar filtros respiraderos desecantes, para disminuir la emisión de gases. Colocar recipientes de basura, exclusivos para el manejo de aceites usados.
	<ul style="list-style-type: none"> Potencial contaminación por generación de ruido y vibraciones originados por la fundición de minerales en el proceso crítico. 	(+)	
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> Potencial contaminación por posibles derrames de lubricante hidráulico, (fugas y/o accidentes). 	(-)	<ul style="list-style-type: none"> Controlar los derrames de lubricantes mediante monitoreos constantes, como parte del mantenimiento predictivo. Minimizando los derrames, disminuye la probabilidad de alterar características del suelo.
	<ul style="list-style-type: none"> Afectación de características físico-químicas del suelo. 	(-)	
	<ul style="list-style-type: none"> Vibración. 	(+)	
Aguas superficiales	<ul style="list-style-type: none"> Alteración local del sistema de drenaje pluvial con residuos de lubricantes. 	(-)	<ul style="list-style-type: none"> Colocar recipientes para evitar drenar los lubricantes usados en los drenajes pluviales.
	<ul style="list-style-type: none"> Potencial contaminación por aporte de partículas de lubricantes usados provenientes de la unidad hidráulica. 	(+)	
Aguas subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> Efectos en la capacidad de recarga de infiltración de la zona bajo el área de operación de la unidad hidráulica. 	(+)	<ul style="list-style-type: none"> Controlando y manejando los derrames, se mejora la infiltración de lubricantes en el área de operación. Revisiones periódicas de las unidades hidráulicas, para controlar derrames.
	<ul style="list-style-type: none"> Potencial contaminación por lubricantes hidráulicos provenientes de la unidad hidráulica. 	(-)	
Laboral	<ul style="list-style-type: none"> Área de trabajo y utilización de bienes y servicios. 	(+)	<ul style="list-style-type: none"> Mejorar el área laboral. Controlar y verificar el área antes de trabajar, para identificar las condiciones peligrosas y así minimizarlas. Utilizando un lubricante RF,
	<ul style="list-style-type: none"> Riesgos de trabajo por desarrollo de labores, en condiciones peligrosas. 	(-)	
	<ul style="list-style-type: none"> Incidencia con fuego en altas temperaturas de operación. 	(-)	
	<ul style="list-style-type: none"> Incendios y explosiones. 	(-)	

	<ul style="list-style-type: none"> • Potenciación de la vulnerabilidad por amenazas naturales 	(-)	minimiza la incidencia y explosión de fuego. <ul style="list-style-type: none"> • Señalización, rutas de evacuación, puntos de reunión y capacitación.
Producción de residuos	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial impacto por producción de residuos sólidos. 	(-)	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitar al personal, para concientizar sobre el manejo de residuos al momento de los mantenimientos.
	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial contaminación por la generación de aguas negras y servidas de los usuarios al momento de los mantenimientos. 	(-)	<ul style="list-style-type: none"> • Incentivar a través de bonos productivos, por limpieza en el área de trabajo y operación de las unidades hidráulicas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Deslizamiento de material inherente acumulado. 	(+)	

Fuente: Elaboración propia.

*El signo de un impacto, indica la naturaleza beneficiosa (+) o perjudicial (-) de los impactos potenciales.

Como parte de la presente propuesta, en relación al tema ambiental, la industria minera debe de considerar la implementación adecuada de un PGA y el inicio de la certificación ISO 14001:2004, la cual permitirá la evaluación, seguimiento y posterior reducción de contaminantes, en el área de fundición de minerales como parte del proceso severo de operación, a través del mejor manejo de desechos y, la conciencia que tendrán los trabajadores, con el uso de los mismos; además, los aspectos futuros en desarrollo sostenible.

En cuanto a los aspectos de seguridad industrial, aproximadamente el 50% de la industria minera, considera algunos mecanismos y monitoreos de los mismos, en cumplimiento de la normativa internacional OHSAS 18001:2007, siendo deficiente en relación a lo que se debería de cumplir según esta normativa. Asimismo, con la evaluación del ATS se evidenció en 61%, resultando ser también deficiente para los controles internos de operación. Se deben de evaluar los métodos utilizados para los monitoreos, registros y controles de los riesgos laborales, así como las auditorías, revisiones y conclusiones de riesgos latentes y potenciales que pudieran afectar al trabajador, los cuales deben de ser comunicados para evitar desastres y muertes.

En relación a utilizar aceites hidráulicos RF y considerando un ATS como propuesta y la normativa OHSAS 18001:2007, aumentan los aspectos de

seguridad de manera considerable, debido a que existe mejor control en la seguridad industrial al momento de un derrame o accidente; tal y como se muestra a continuación:

Tabla 26.
Análisis de Trabajo Seguro -ATS- propuesto
En el proceso de fundición - Industria minera
(2014)

No.	Descripción	Ponderación	Resultados	Propuesto con mejoras
1	Equipo de protección Personal	15%	11%	13%
	Casco		2	2
	Guantes		1	1
	Lentes		3	3
	Tampones auditivos		2	2
	Chumpa		2	2
	Chaleco reflectivo		0	1
	Botas punta de acero		1	1
	Mascarilla		0	1
2	Área de trabajo	20%	12%	18%
	Extintores		2	4
	Caminamientos		3	4
	Señalización		2	3
	Puntos de reunión		2	3
	Evacuación		3	4
3	Riesgo de operación	30%	16%	26%
	Controles en altas temperaturas		2	5
	Control a derrames de lubricante		4	5
	Acción a rotura de mangueras		3	5
	Acción a fallos mecánicos		5	6
	Control al fuego		2	5
4	Control de proceso de fundición	20%	11%	13%
	Control de operación		2	3
	Cumplimiento del equipo personal		2	2
	Capacitaciones a personal		1	1
	Control de personal externo al proceso (contratistas, proveedores, entre otros)		2	3
	Alarmas auditivas y visuales		3	3
	Cámaras de seguridad		1	1
5	Revisión de sistemas hidráulicos	15%	11%	14%
	Bloqueo y etiquetado de los equipos		2	2
	Control en arranques		2	3
	Monitoreo de fugas de aceite		3	3
	Control en niveles de aceite		2	3
	Mantenimientos con herramienta adecuada		2	3
	Total	100%	61%	84%

Fuente: Elaboración propia, con base a características de los fluidos hidráulicos RF y acciones predictivas.

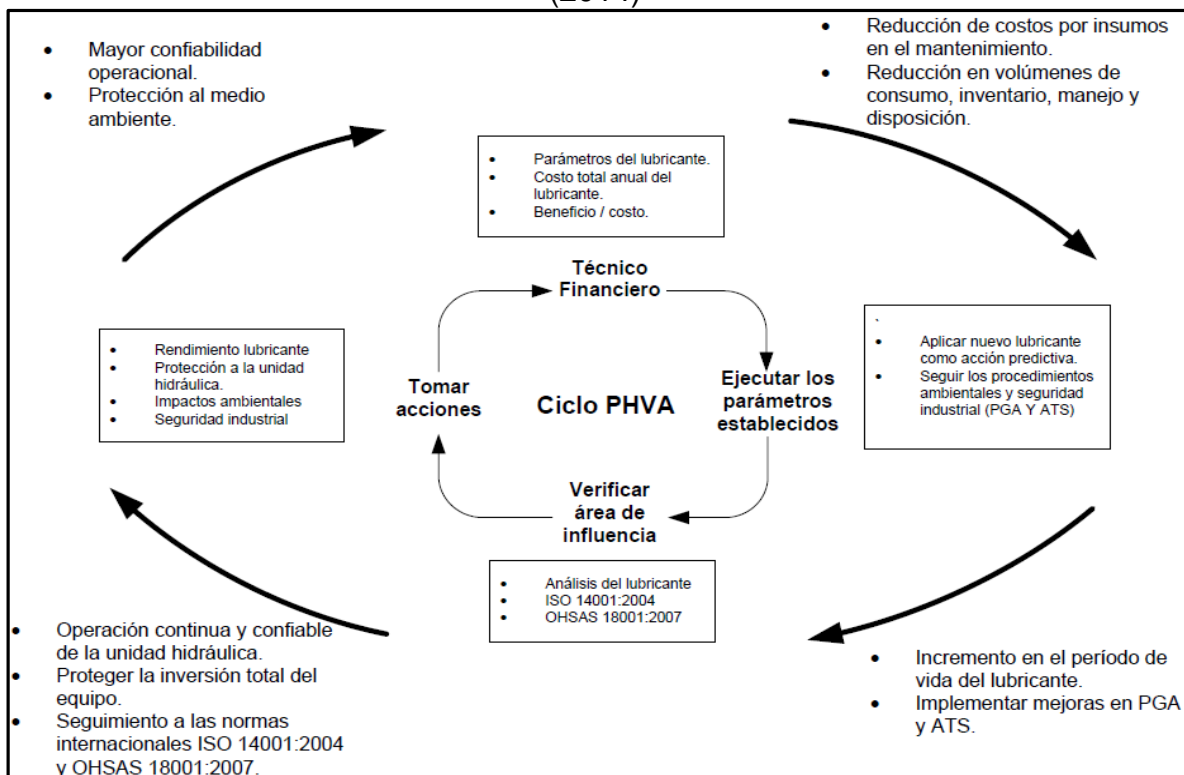
Con la evaluación realizada en el ATS anterior, con el uso de fluidos hidráulicos RF, en el área de proceso de fundición, el porcentaje total puede ascende a un 84%, incrementando un 23% respecto al determinado en la evaluación, por lo que la seguridad dentro del área de proceso de fundición, sería más apropiada para

los colaboradores; con esto, se puede mejorar los parámetros para la certificación OHSAS 18001:2007.

Mencionados los aspectos anteriores, dentro del ciclo de mejora continua de Deming, se debe proceder a tomar acciones concretas a los parámetros establecidos inicialmente, como parte de actuar; con esto, optimizar recursos y monitorear los aspectos técnico/financiero para que impacten positivamente en el ambiente y la seguridad industrial.

Aunado a lo anterior, los beneficios con la aplicación de un aceite hidráulico RF, dentro del ciclo de mejora continua, son los siguientes:

Figura 5.
Mejora continua con uso de aceite hidráulico RF
Área de fundición – Industria minera
(2014)



Fuente: Elaboración propia, adaptación a la teoría de Deming.

Luego de haber presentado una propuesta con base a la teoría de Deming, para la industria minera guatemalteca, se procede a concluir y recomendar desde un enfoque técnico-financiero como parte de planear y hacer, gestión ambiental y seguridad industrial correspondiente a verificar, para actuar frente a los cambios realizados; con esto se llevará a cabo la mejora continua dentro de los procesos críticos de producción en la industria minera guatemalteca.

Conclusiones

Planteada la pregunta general de investigación: ¿El mantenimiento predictivo, es el adecuado con el uso de los aceites hidráulicos tradicionales en altas temperaturas dentro de la industria minera?; se estableció como respuesta tentativa:

Desde una perspectiva técnico-financiero, gestión ambiental y seguridad industrial, el mantenimiento predictivo con el uso de aceites hidráulicos tradicionales, no es el adecuado en altas temperaturas para la industria minera.

De lo anterior, se acepta que los aceites hidráulicos tradicionales no cumplen con las especificaciones técnicas establecidas por el fabricante; elevando los costos en el insumo del mantenimiento, incrementan el manejo de desechos, impactando negativamente el ambiente; ineficiencia en el manejo de la seguridad industrial, dentro del área de fundición.

Luego de los resultados técnicos, financieros, ambientales y seguridad industrial, encontrados en la industria minera de Guatemala, cuyo proceso de fundición de minerales se realiza a través de sistemas hidráulicos, expuestos en altas temperaturas; y en cumplimiento de los objetivos planteados, se realizaron las siguientes conclusiones:

1. Se evidencia que las propiedades físicas y químicas valuadas para efectos de la investigación, en los fluidos hidráulicos actuales son deficientes respecto a las especificaciones establecidas por los fabricantes, en lo relativo a la exposición a temperaturas constantes de 95 grados centígrados, degrada y oxida el fluido hidráulico.

2. El cambio total del aceite hidráulico utilizado por las unidades hidráulicas, se realizan en períodos más cortos de tiempo, incrementando los costos anuales en el aceite hidráulico como insumo del mantenimiento.

A lo anterior se debe agregar, los paros de producción por el cambio de lubricante, considerado como un factor importante, para la eficiencia de productividad de la industria minera, debido a que se reduce la cantidad de toneladas métricas y onzas troy producidas, afectando los ingresos monetarios.

3. A través de la evaluación al plan de gestión ambiental, se determina que la industria minera, no cuenta con las medidas de mitigación, para el control y manejo de aceites hidráulicos en operación dentro del área de fundición. Además, los residuos peligrosos, consecuencia de las operaciones dentro del proceso productivo, funciona bajo condiciones contaminantes.

En relación a la normativa internacional ISO 14001:2004 verificada durante el trabajo de campo, se considera que esta actividad, carece de requisitos para aplicar a una certificación internacional, así poder mitigar los impactos ambientales negativos.

4. La ponderación del Análisis de Trabajo Seguro para el área de fundición de minerales, no satisface los controles y registros para el uso del equipo de protección y áreas seguras en 19%. Porcentaje con que se determina, la incidencia del uso de fluidos hidráulicos tradicionales en el proceso productivo minero, considerado de alto impacto para la seguridad industrial; además, a través de las revisiones y verificaciones de la normativa internacional OHSAS 18001:2007, el 50% de la industria minera, no se encuentra certificada.

Recomendaciones

1. Utilizar un aceite hidráulico resistente al fuego -agua glicol o sintético-, cuando los procesos productivos de fundición sean en temperaturas elevadas, debido a que tienen mejores características técnicas en relación a los hidráulicos actuales; con esto, se minimizará la degradación y oxidación del fluido hidráulico, lo que prolongará la vida del mismo.
2. Con el uso de estos fluidos, disminuyen los paros no programados de mantenimiento; además aumentan los indicadores de producción. Aunque el costo de inversión inicial de los aceites hidráulicos resistentes al fuego, resulta ser superior a los actuales, la vida útil del equipo y del insumo se incrementa, generando beneficios a largo plazo.
3. Lograr una reducción en la contaminación por residuos peligrosos líquidos, hasta en 25% con agua glicol y 63% con el sintético; además, gestionando de mejor manera las medidas de mitigación en el área de fundición, se incrementa la seguridad ambiental.

Aunado a lo anterior, los procesos de producción regulados por una normativa internacional, es un mecanismo administrativo que permite dar seguimiento a situaciones contaminantes, por lo cual, la certificación ISO 14001:2004 debe ser parte de la documentación que debe considerar esta actividad, pues evitaría acciones contaminantes a mediano y largo plazo, reduciría los costos de recuperación ambiental al cierre de la mina y consideraría el desarrollo sostenible para el goce de los recursos de generaciones futuras.

4. Incrementar y garantizar la seguridad industrial de los colaboradores, cumpliendo de forma adecuada las áreas evaluadas dentro el Análisis de Trabajo Seguro, establecido por la teoría de Pareto.

Además, los aceites hidráulicos resistentes al fuego cuentan con la aprobación mundial de *Factory Mutual*; por lo cual, la certificación con la normativa OHSAS 18001:2007, permitirá el cumplimiento en la planeación, verificación y ejecución de forma segura en las áreas de fundición.

Fuentes de información

Bibliográficas

1. Albarracín, P. (2006). *Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz*. (4ta. ed.) Medellín, Colombia: Litochoa.
2. Armengot, Espí & Vásquez (2006). *Orígenes y desarrollo de la minería*. Ingenieros de Minas de Madrid, España.
3. Baca, G. (2010). *Evaluación de Proyectos* (6ta ed.). D.F., México: Mc Graw Hill.
4. Batista & otros (2007). *Evolución y desarrollo de la ingeniería mecánica a través de las grandes áreas culturales*. Cusco, Perú: (s.n.).
5. Carnero, M. (2012). *Programas de mantenimiento predictivo: Análisis de Lubricantes y Vibraciones*. Estados Unidos de América: Académica Española.
6. Delgado & otros (1988). *Los productos petrolíferos*. Madrid, España: G.T.S.
7. Fitch, J. (1998). *Proactivo y Predictivo, Estrategias para Configuración de las alarmas y límites en el análisis de aceite*. Oklahoma, USA: Corporación Noria.
8. Fitch, J. (2000). *La prueba de punto de inflamación perdurable, la práctica en el análisis de aceite*. Oklahoma, USA: Corporación Noria.

9. García, R. (2007). *Estudio del trabajo: Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. (2da ed.). D.F., México. Mc Graw Hill.
10. Gutiérrez, H. (2010). *Calidad total y productividad*. (3ra ed.). D.F., México. Mc Graw Hill.
11. Montero, R, (2006). *Comportamientos y Gestión de la Seguridad*. Seguridad Minera, 47(1):6-12. Piura, Perú.
12. Mora, A. (1999). *Mantenimiento Industrial en empresas de tecnología avanzadas*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, España.
13. Mora, A. (2010). *Mantenimiento: planeación, ejecución y control* (1ra. ed.) C.V., México: Alfaomega.
14. Navarro, Pastor & Tejedor (1997). *Gestión integral de mantenimiento*. Barcelona, España: Marcombo Boixareu: p.112
15. Newbrough & Ramond (1982). *Personal de Administración del Mantenimiento Industrial*. D.F., México: Diana: p. 414
16. Niebel & Freivalds (2009). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. (10ma ed.). D.F., México. Mc Graw Hill.
17. Pirro & Wesol (2004). *Fundamentos de lubricación* (2da. ed.) Ohio, E.E.U.U.: Grupo Taylor y Francis.
18. Reed, R. (1971). *Ubicación, diseño y Mantenimiento de Planta*. Buenos Aires, Argentina: El Ateneo.

19. Santos, E. (1992). *Lubricación Industrial*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
20. Sapag, N. & Sapag, R. (2003). *Preparación y evaluación de proyectos*. (4ª. ed.) D.F. México.
21. STLE (2005). *Hidráulicos: Una recopilación de artículos publicados anteriormente aplicados en Ingeniería de Lubricación* (2da. ed.) Illinois, E.E.U.U.: Sociedad de Tribólogos e Ingenieros en Lubricación.
22. Terradillos, J. (1997). *La lubricación y el mantenimiento predictivo*. Gipuzkoa, España: Corporación Noria.
23. Valverde, A. (1994). *Análisis de la disponibilidad de los equipos dinámicos y su incidencia en el mantenimiento en plantas industriales*. (Tesis doctoral). UNED, España.

Documentales

1. Acuerdo Gubernativo 431-2007. *Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental*. Publicada en el Diario Oficial, del 17 de septiembre de 2007. Guatemala.
2. ASTM (1986). *Productos Derivados del Petróleo, Lubricantes y Combustibles Fósiles* (D 56 - D 1947). (Sec. 5, Vol. 05.01). Easton, MD, U.S.A.: Staff.
3. ASTM (1986). *Productos Derivados del Petróleo, Lubricantes y Combustibles Fósiles* (D 1949 - D 3601) (Sec. 5, Vol. 05.01). Easton, MD, U.S.A.: Staff.

4. Constitución Política de la República de Guatemala. Publicada en el Diario Oficial del 14 de enero de 1986. Guatemala.
5. Decreto 4-89. *Ley de Áreas Protegidas*. Publicada en el Diario Oficial del 7 de noviembre 1989. Guatemala.
6. Decreto 12-2002. *Código Municipal*. Publicada en el Diario Oficial del 2 de abril de 2002. Guatemala.
7. Decreto 48-97. *Ley de Minería*. Publicada en el Diario Oficial, del 11 de junio de 1997. Guatemala.
8. Decreto 68-86. *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente*. Publicada en el Diario Oficial, del 5 de diciembre de 1986. Guatemala.
9. Decreto 229-2014. *Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional*. Publicada en el Diario Oficial, el 8 de agosto de 2014. Guatemala.
10. Estudios Mineros del Perú S.A.C. (2010). *Manual de minería*. Lima, Perú.
11. ICEFI (2014). *La minería en Guatemala: Realidad y desafíos frente a la democracia y el desarrollo*, pp. 82
12. MARN (2011). *Panorama Económico y Social de Guatemala, un insumo para el análisis ambiental*.
13. Patton, J. (1995). *Mantenimiento preventivo*. Sociedad internacional de medición y control de América.

E-grafías

1. Aránguiz, Daniela (2005). *La Tragedia del Humo: A 60 años del peor accidente minero en Chile*. Recuperado de <http://www.emol.com/noticias/nacional/2005/06/20/186030/la-tragedia-del-humo-a-60-anos-del-peor-accidente-minero-en-chile.html>. (Consultado el, 07 de julio de 2014)
2. CABI (2012). *Industria minera: Algunos elementos de análisis para su desarrollo*. Recuperado de <https://www.google.com.gt/webhp?sourceid=chromeinstant&ion=1&espv=2&ie=UTF8#q=industria%20minera%3a%20algunos%20elementos%20de%20an%c3%81lisis%20para%20su%20desarrollo> (Consultado el, 10 de agosto de 2014)
3. CONSTRUSUR (2010). *Análisis de Vibración para Mantenimiento Predictivo*. Recuperado de <http://www.construsur.com.ar/Article217.html> (Consultado el, 12 de agosto de 2014)
4. CIEN (2009). *Contribución de la Industria Minera al Desarrollo de Guatemala*. Recuperado de: <http://www.tequila-guatemala.com/cien/wpcontent/uploads/2013/10/mineria2009.pdf> (Consultado el, 11 de agosto de 2014)

5. EITI (2011). *Informe preliminar de alcance de la conciliación de los pagos e ingresos de los sectores minero y de hidrocarburos, República de Guatemala*. Recuperado de https://eiti.org/files/guatemala/Guatemala_Scoping_Study_2011.pdf(Consulta do el, 25 de agosto de 2014)
6. *Factory Mutual* (2014). Recuperado de <https://www.fmglobal.com/> (Consultado, el 27 de octubre de 2014)
7. Gil, M. (2014). *Minería: Procesos para aumentar la eficiencia industrial*. Recuperado de http://www.businessreviewameralatina.com/money_matters/mineria-procesos-para-aumentar-la-eficiencia-industrial. (Consultado, el 1 de septiembre de 2014)
8. Index Mundi (2015). *Precio mensual del Níquel – dólares americanos por tonelada métrica*. Recuperado de <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=niquel> (Consultado el, 8 de enero de 2015)
9. Labaien y Carrasco (2009). *Mantenimiento Predictivo*. Recuperado de <http://www.coiig.com/COIIG/dmdocuments/Formacion%20IKASI/cursos%20presenciales/mantenpredic.documentacion.pdf>. (Consultado el, 10 de septiembre de 2014)
10. LAND Instrumentos Internacionales (2004). *Guía Básica a la Termografía*. Recuperado de http://www.landinst.es/infrarroja/descarga_de_ficheros/pdf/Termografia_Gua_Basica.pdf (Consultado el, 12 de agosto de 2014)

11. MEM. (2006). *Historia de la Minería*. Recuperado de https://www.google.com.gt/search?q=historia+de+la+mineria+en+guatemala&oq=histori&aqs=chrome.0.69i59j69i57j69i59.1473j0j7&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-8 (Consultado el, 18 de agosto de 2014)
16. MEM (2014). *Estadísticas. Licencias vigentes y solicitudes en trámite por tipo según categoría Mineral*. Recuperado de: <http://www.mem.gob.gt/viceministerio-de-mineria-e-hidrocarburos-2/estadisticas-mineras/> (Consultado el, 12 de agosto de 2014)
12. MISEROR (2011). *La Minería en los Países de Desarrollo, Desafíos y Propuestas de Acción*. Recuperado de http://www.misereor.org/fileadmin/redaktion/MISEREOR_Documento-de-posicon-mineria-2012.pdf (Consultado el, 02 de agosto de 2014)
13. MMDS (2002). *Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur*. Recuperado de http://Iniciativa_de_Transparencia_en_la_Industria_Extractiva (Consultado el, 18 de agosto de 2014)
14. Normas ISO 14001:2004. Recuperado de www.uma.es/media/files/ISO_14001_2004.pdf (Consultado el, 05 de octubre de 2014)
15. Normas OHSAS 18001:2007. Recuperado de <http://manipulaciondealimentos.files.wordpress.com/2010/11/ohsas-18001-2007.pdf>. (Consultado el, 05 de octubre de 2014)

16. Reeher, Jason (2014). *Historia de los desastres mineros*. Recuperado de http://www.ehowenespanol.com/historia-desastres-mineros-sobre_267357/ (Consultado el, 05 de septiembre de 2014)
17. Orozco, D. (2011). *Definición de Minería*. Recuperado de conceptodefinition.de/mineria/ (Consultado el, 14 de agosto de 2014)
18. *Solway Group* (2015). *Proyecto Niquel Fénix, Guatemala*. Recuperado de http://www.solwaygroup.com/itemf_19.htm (Consultado, el 05 de enero de 2015)

Anexos

Anexo 1

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ciencias Económicas
Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos

ENCUESTA PARA INGENIEROS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIA MINERA

Buenos días/ tardes mi nombre es _____, estoy realizando una investigación para mi informe de tesis de la maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para verificar si el mantenimiento predictivo, es el adecuado con el uso de aceites hidráulicos tradicionales en altas temperaturas dentro de la industria minera. Le agradeceré brindarme unos minutos de su valioso tiempo y responder las siguientes preguntas:

- 1) ¿Qué parámetros técnicos considera relevantes en los fluidos hidráulicos tradicionales, dentro de procesos críticos de fundición?

Viscosidad e índice de viscosidad	
Resistencia a la oxidación (TAN)	
Paquete de aditivos del aceite	
Características demulsificantes y antiespumantes	
Alta resistencia a la temperatura	

- 2) ¿Qué factores son indispensables en la operación de la unidad hidráulica, para que la producción sea constante?

- 3) ¿Cuál es el costo del fluido hidráulico, relacionado a la operación del sistema hidráulico?

5 % () 10 % () 15 % () 20 % ()

- 4) ¿Cuál es el rendimiento de los fluidos hidráulicos actuales, dentro de los procesos críticos de producción?

0 – 6 meses () 7 – 12 meses () 13 – 24 meses () 25 – 36 meses ()

- 5) ¿Utilizando los aceites hidráulicos actuales, han disminuido los costos de mantenimiento? ¿Por qué?

Si () No ()

Anexo 2

Evaluación del impacto potencial
Área de fundición de minerales - industria minera
(2014)

Factor ambiental	Impacto potencial	Calificación de la evaluación
Aire	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial contaminación, a partir de emisiones de partículas y gases por la actividad de las unidades hidráulicas y por las labores de extracción mineral. • Potencial contaminación por generación de ruido y vibraciones originados por la fundición de minerales en el proceso crítico. 	
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial contaminación por posibles derrames de lubricante hidráulico, (fugas y/o accidentes). • Afectación de características físico-químicas del suelo. • Vibración. 	
Aguas superficiales	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración local del sistema de drenaje pluvial con residuos de lubricantes. • Potencial contaminación por aporte de partículas de lubricantes usados provenientes de la unidad hidráulica. 	
Aguas subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos en la capacidad de recarga de infiltración de la zona bajo el área de operación de la unidad hidráulica. • Potencial contaminación por lubricantes hidráulicos provenientes de la unidad hidráulica. 	
Laboral	<ul style="list-style-type: none"> • Área de trabajo y utilización de bienes y servicios. • Riesgos de trabajo por desarrollo de labores, en condiciones peligrosas. • Incidencia con fuego en altas temperaturas de operación. • Incendios y explosiones • Potenciación de la vulnerabilidad por amenazas naturales 	
Producción de residuos	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial impacto por producción de residuos sólidos. • Potencial contaminación por la generación de aguas negras y servidas de los usuarios al momento de los mantenimientos. • Deslizamiento de material inherente acumulado. 	

Fuente: Elaboración propia, con base a datos en trabajo de campo.

Anexo 3

Evaluación de los requisitos ambientales ISO 14001:2004 En referencia al plan de gestión ambiental en la industria minera (2014)

Descripción	Resultados
<p>Requisitos generales: Establecimiento, documentación, implementación, mantenimiento y mejoramiento continuo del sistema.</p>	
<p>Política S&SO: La definición y autorización de la política ambiental, la cual debe ser apropiada a la naturaleza, magnitud e impactos ambientales, en compromiso de la prevención de la contaminación, con divulgación laboral y de conocimiento público.</p>	
<p>Planificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento, implementación y mantenimiento de identificación de aspectos ambientales en las actividades realizadas, o productos o servicios nuevos; y, determinando los aspectos significativos de contaminación. • Los requisitos legales, relacionados al establecimiento, implementación y mantenimiento ambiental, deben estar identificados y de planificación para ser ejecutados, • La documentación de los objetivos, programas y metas, deben ser medibles y cuantificables en relación a la política ambiental. 	
<p>Implementación y operación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La responsabilidad, funciones y autoridad, deben estar determinadas demostrado el compromiso para el establecimiento, implementación, mantenimiento y mejoramiento de la política ambiental. • El conocimiento de la gestión ambiental, aumenta la conciencia en las personas para la consecución de un sistema que resguarde el medio ambiente. • Las personas realizan actividades que pueden impactar en el sistema, por lo tanto el conocimiento y formación adecuada es importante para la identificación de consecuencias potenciales de los procedimientos. • El sistema debe ser comunicado en todos los niveles de la organización y de forma externa, con documentación y control del sistema de gestión ambiental. • La determinación de operaciones y actividades asociadas a los aspectos ambientales significativos, deben estar relacionadas a la política ambiental, programas, metas y objetivos. 	
<p>Verificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Del cumplimiento legal aplicable en relación a la política ambiental, con los registros de los resultados de las evaluaciones periódicas. • Del cumplimiento de otros convenios suscritos en relación al medio ambiente con sus debidos registros de evaluaciones. • Documentación, establecimiento y mantenimiento de tratamiento de las acciones correctivas y preventivas, en relación a los problemas e impactos ambientales encontrados. • Los cambios que se incorporen deben de ser documentados y registrados al sistema. 	
<p>Revisión por la gerencia: La planificación y los resultados de la auditoria interna, deben de estar sujetos a una revisión conforme al cumplimiento de la política ambiental, programas, objetivos y metas, que conlleven el mejoramiento continuo. Los resultados de las revisiones deben de incluir las decisiones y acciones relacionados a los programas, objetivos, metas en compromiso del mejoramiento.</p>	

Fuente: Elaboración propia, con base al sistema de gestión ambiental, ISO 14001:2004.

Anexo 4

Análisis de Trabajo Seguro -ATS-
En el proceso de fundición del mineral en la industria minera
(2014)

No.	Descripción	Ponderación	Resultados
1	Equipo de protección Personal	15%	
	Casco		
	Guantes		
	Lentes		
	Tampones auditivos		
	Chumpa		
	Chaleco reflectivo		
	Botas punta de acero		
	Mascarilla		
2	Área de trabajo	20%	
	Extintores		
	Caminamientos		
	Señalización		
	Puntos de reunión		
	Evacuación		
3	Riesgo de operación	30%	
	Controles en altas temperaturas		
	Control a derrames de lubricante		
	Acción a rotura de mangueras		
	Acción a fallos mecánicos		
	Control al fuego		
4	Control de proceso de fundición	20%	
	Control de operación		
	Cumplimiento del equipo personal		
	Capacitaciones a personal		
	Control de personal externo al proceso (contratistas, proveedores, entre otros)		
	Alarmas auditivas y visuales		
	Cámaras de seguridad		
5	Revisión de sistemas hidráulicos	15%	
	Bloqueo y etiquetado de los equipos		
	Control en arranques arranque		
	Monitoreo de fugas de aceite		
	Control en niveles de aceite		
	Mantenimientos con herramienta adecuada		
	Total	100%	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5

Evaluación de requisitos del Sistema de Gestión -OHSAS 18001:2007- En referencia al cumplimiento de la seguridad industrial de la industria minera (2014)

Descripción	Resultados
Requisitos generales: Establecimiento, documentación, implementación, mantenimiento y mejoramiento continuo del sistema.	
Política: Definición y autorización de la política S&SO, la cual debe ser apropiada a la naturaleza y escala de los riesgos S&SO, así como prevención de lesión y enfermedad, compromiso en cumplimiento de requisitos legales aplicables y relacionados a los peligros, previamente documentada, implementada, mantenida y comunicada a todos los colaboradores con el fin ponerlos al tanto de obligaciones individuales, garantizando la revisión periódica.	
Planificación: <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de peligro, evaluación de riesgo y determinación de los controles, respecto a las actividades, comportamiento y capacidades humanas. • Requisitos legales, asegurando su establecimiento, implementación y procedimientos para identificar y acceder a los mismos y otros aplicables, los cuales deben de ser actualizados. • Objetivos y programas, debidamente documentados en las funciones y niveles relevantes dentro de la organización. Objetivos medibles cumpliendo con requisitos legales, financieros, operacionales y de negocios. Los programas, con revisión regular, asegurando que los objetivos sean alcanzados. 	
Implementación y operación: <ul style="list-style-type: none"> • Responsabilidad, funciones y autoridad, demostrando compromiso para el establecimiento, implementación, mantenimiento y mejoramiento del sistema. • Las personas que bajo su control realizan actividades que pueden impactar en el sistema, deben ser sobre la base de competencia, formación y conciencia, en relación a su educación, entrenamiento, experiencia bajo en registro asociado. • El sistema es comunicado en todos los niveles de la organización y de forma externa, para la participación apropiada de peligros y evaluación de riesgos para la determinación de controles. • Documentación del sistema • Control de la documentación del sistema • Determinación de operaciones y actividades asociadas a peligros, identificandos con controles necesarios para el manejo de riesgos. • Preparación y respuesta ante emergencias. 	
Verificación: <ul style="list-style-type: none"> • Medición y monitoreo del desempeño • Evaluación del cumplimiento • Investigación de incidentes, no conformidad, acciones correctivas y preventivas 	
Revisión por la gerencia: De los resultados de auditorias internas, participación y consulta, desempeño, grado de cumplimiento de objetivos, estado de investigaciones, acciones y recomendaciones consisientes de compromiso para el mejoramiento continuo.	

Fuente: Elaboración propia, con base al sistema de gestión en seguridad y salud, OHSAS 18001:2007.