



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Sistema de regeneración de aceites lubricantes para su reutilización
en máquinas de voladura minera, La Libertad**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Rodriguez Pereda Jorge Luis (orcid.org/0000-0002-6797-9095)

Sopla Vilchez Jholsin Nilson (orcid.org/0000-0002-9944-0641)

ASESOR:

Dr. Luján López, Jorge Eduardo (orcid.org/0000-0003-1208-1242)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Sostenible y Adaptación al cambio Climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

Dedicatoria

Jorge,

A Dios por brindarme la vida, la salud y por todos los logros obtenidos, en especial en el desarrollo de mi proyecto de investigación.

A mi esposa e hijos quienes fueron un pilar muy importante en todo este proceso académico,

A mis padres por sus sabios consejos y guía
Nilson,

A Dios por haber iluminado y guiado mi camino.

A mi familia por su amor, paciencia y su apoyo incondicional, por estar conmigo en todo momento motivándome a cumplir esta meta tan anhelada

Agradecimiento

Agradecemos de manera especial y muy sincera a nuestro asesor, quien en todo momento supo guiarnos para lograr el objetivo planteado en el desarrollo de nuestra investigación, a todos los profesores que fueron parte importante en el desarrollo de nuestra formación académica y sobre todo humanística.

Asimismo, agradecemos a nuestra casa de estudios, la universidad cesar vallejo por brindarnos una educación de calidad, con valores, impartiendo siempre el respeto hacia el alumno.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Variables y operacionalización	11
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	13
3.5. Procedimientos	13
3.6. Método de análisis de datos.....	14
3.7. Aspectos éticos	14
IV. RESULTADOS.....	15
4.1. Objetivo Específico 1. Procedimientos para el proceso de regeneración de aceites lubricantes.....	15
4.2. Objetivo Específico 2. Parámetros normativos de las propiedades físicas y químicas del aceite lubricante usado para su reutilización...22	
4.3. Objetivo Específico 3. Diseñar el sistema de regeneración de aceites lubricantes usados para su reutilización en máquinas de voladura ...26	

4.4. Objetivo Específico 4. Análisis económico de la inversión del sistema de regeneración diseñado	64
V. DISCUSIÓN.....	69
VI. CONCLUSIONES.....	72
VII. RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS.....	75
ANEXOS.....	78

Índice de tablas

Tabla 1 Características típicas de los aceites usados	9
Tabla 2 Evaluación de aceites lubricantes (Primer filtro)	15
Tabla 3. Análisis de factores de valoración	20
Tabla 4. Evaluación de factores y selección del proceso.	21
Tabla 5. Propiedades físicas y químicas del aceite lubricante nuevo y usado	23
Tabla 6. Máquinas de voladura y detalle de aceite lubricante usado obtenido-Mensual	26
Tabla 7. Elección de la zona de actividades del proceso	31
Tabla 8. Promedios de aceite lubricante usados.....	31
Tabla 9. Selección del depósito de almacenamiento para aceite lubricante usado	34
Tabla 10. Tanque de adición de aceite lubricante	37
Tabla 11. Tanque de decantación del proceso.	40
Tabla 12. Propiedades del aceite lubricante usado.....	41
Tabla 13. Valores de temperatura y presión del agua en la parte superior e inferior de la columna de destilación.	42
Tabla 14. Valores de temperatura y presión del aceite lubricante usado en la parte superior e inferior de la columna de destilación.....	42
Tabla 15. Temperatura y presión del aceite lubricado en la columna de destilación en la parte superior e inferior.	43
Tabla 16. Volatilidad relativa en la parte superior e inferior de la columna de destilación.....	43
Tabla 17. Concentración del agua y aceite en la mezcla al inicio y al final del proceso de destilación	45
Tabla 18. Datos de peso molecular y fracción molar del aceite lubricado y agua.	45
Tabla 19. Entalpías de corrientes en la caldera pirotubular	49
Tabla 20. Destiladora para refinación de aceite lubricante usado.	50
Tabla 21. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías.	54
Tabla 22. Dimensiones de tuberías en acero inoxidable AISI 304.	57
Tabla 23. Filtro de prensa o purificador de aceite	62
Tabla 24. Inversión tangible del proceso de regeneración propuesto	64
Tabla 25. Resumen de costos y gastos anuales	66
Tabla 26. Resumen del beneficio del diseño de regeneración propuesta	66
Tabla 27. Análisis económico de la propuesta	67
Tabla 28. Cálculos para Análisis económico.....	68
Tabla 29. Análisis del periodo de recuperación (3 años).....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	DOP del proceso acido arcilla	16
Figura 2	DOP del proceso por extracción con propano líquido	17
Figura 3	DOP del proceso de extracción por disolvente	18
Figura 4	DOP del proceso de re-refinación	19
Figura 5	Imágenes de las muestras tomadas	22
Figura 6	Diagrama de instrumentación del proceso de re-refinado en SolidWorks.....	29
Figura 7	Diagrama de Moody. Cálculo del coeficiente de fricción.....	52
Figura 8	Modelamiento del diseño del Sistema de regeneración del aceite lubricante usado en la empresa minera.....	63

Resumen

La investigación desarrollada tuvo como finalidad proponer un sistema de regeneración de aceites lubricantes para reutilizarlos en las máquinas de voladura en una empresa minera de La Libertad. Y es por esta razón que, se realizó una investigación aplicada, contando con un diseño no experimental transversal. En los resultados se tuvo que, al analizar los procedimientos para el proceso de regeneración de los aceites lubricantes usados mediante la evaluación de sus propiedades y el tipo de aceite, así como luego de realizar un análisis de factores, se tuvo que, el procedimiento que tiene una mayor ventaja es el proceso de regeneración mediante la re-refinación. Según la evaluación de los parámetros normativos analizados de las propiedades del aceite lubricante usado, se demostró que es apto para su reutilización, se analizaron también los componentes, dispositivos y máquinas a utilizarse en el proceso, dentro del diseño del sistema de regeneración y finalmente al realizar un análisis económico de la inversión de la propuesta se evidenció que el VAN se encontró en S/ 290 214,04 y el TIR en 73.71%; llegándose a concluir finalmente que la propuesta es claramente viable.

Palabras clave. Sistema de regeneración, re-refinación, aceites lubricantes usados.

Abstract

The purpose of the research was to propose a system for the regeneration of lubricating oils to reuse them in blasting machines in a mining company in La Libertad. For this reason, applied research was carried out, with a transversal non-experimental design. The results showed that, upon analyzing the procedures for the regeneration process of used lubricating oils by evaluating their properties and the type of oil, as well as after performing a factor analysis, it was found that the procedure that has the greatest advantage is the regeneration process through re-refining. According to the evaluation of the normative parameters analyzed of the properties of the residual lubricating oil, it was demonstrated that it is suitable for its reuse, the components, devices and machines to be used in the process were also analyzed, within the design of the regeneration system and finally when carrying out an economic analysis of the investment of the proposal it was evidenced that the NPV was found in a S/ 290 214,04 and the IRR in 73.71%; finally concluding that the proposal is clearly viable.

Keywords. Regeneration system, re-refining, used lubricating oils.

I. INTRODUCCIÓN

Las manufacturas de los lubricantes, como los aceites lubricantes usados, son medios no renovables que luego de su empleo deben de reciclarse y regenerarse adecuadamente para evitar la contaminación en el medio ambiente de sustancias negativas (Sánchez et al, 2021). Asimismo, existe una competencia entre el reciclaje por regeneración para producir aceite base y el re-procesamiento para la recuperación de energía (Pinheiro et al., 2021). La importancia de los procesos de regeneración y reutilización de aceites lubricantes refieren que es la vía de tratamiento más interesante, reduciendo los efectos medioambientales de este residuo peligroso. Además, una economía circular requiere la reutilización de aceites lubricantes usados para reducir los desechos y el daño ambiental al tiempo que promueve los beneficios sociales (Criollo et al., 2021). Por lo tanto, la reutilización genera beneficios económicos ya que accede a reducir gastos en otros productos, pero sobre todo el generar un desarrollo sostenible que busca un favor para la sociedad y el ambiente. (Pinheiro., y otros, 2020) A pesar de la importancia de la reutilización de los aceites lubricantes se debe tomar en cuenta que pueden ocurrir fenómenos de coagulación en ciertos tipos de aceites lubricantes usados durante los procesos de regeneración que implican tratamientos alcalinos (Pinheiro-Quina y otros, 2020).

Existen diversos métodos de regeneración de aceites lubricantes como lo es la regeneración mediante floculación y adsorción para eliminar las impurezas (Zhu et al., 2019), la regeneración con distintas propiedades por extracción-floculación permite obtener un aceite base intacto (Pinheiro-Pais et al., 2018), también se tiene la regeneración mediante el uso combinado de quitosano, carbonato de sodio y gel de sílice (Zhu et al., 2019). E incluso en el 2018 se planteó una nueva Metodología de Selección de Disolventes para la regeneración de aceites lubricantes usados utilizando criterios de versidad (Pinheiro et al., 2018). El sistema de regeneración involucra métodos de selección y sistemas de recuperación que facilitan el desarrollo de un proceso de regeneración de aceites lubricantes usados (Khalid et al., 2022). También es posible la regeneración por medio del método de re-refinación el cual permite un mayor grado de remoción de contaminantes, obteniendo el aceite base para fabricar nuevos aceites lubricantes. (Sánchez et al,

2021). Asimismo, es importante resaltar que los aceites lubricantes pierden sus propiedades después de un cierto período de uso. (Khudhur y Mohammed, 2020) y por ello se debe analizar la regeneración de las propiedades de los aceites usados a partir de solventes (Velasco et al., 2020). También se tienen los filtros de partículas diésel (DPF) que han sido ampliamente reconocido como la forma más eficaz de mitigar las partículas emitidas por los motores diésel (Wang et al., 2020).

Los lubricantes usados pueden ser un recurso importante para los países productores de petróleo. Los lubricantes se clasifican como residuos peligrosos porque contienen altos niveles de compuestos orgánicos nocivos para el medio ambiente, como PCB, PAH y metales pesados (Lara et al., 2018). El aceite lubricante residual (OTL) es un grave problema medioambiental y de salud por la presencia de contaminantes altamente nocivos que requieren una gestión adecuada basada en un sistema de recogida y un proceso de limpieza eficaz (Mohamad et al, 2022). Los sistemas de gestión de los aceites lubricantes usados en toda Europa pueden ser muy heterogéneos, con discrepancias significativas en su desempeño (Lapuerta et al, 2020). En cuanto a los países suramericanos existe una cantidad muy definida de estudios que dan a conocer sobre las técnicas de recolección, caracterización y procesos de reutilización de los aceites lubricantes usados. Por otro lado, el proceso combinado consistente en el hidrotratamiento a alta presión y el hidro acabado, es capaz de ocasionar la regeneración del aceite lubricante usado en una unidad de hidrotratamiento a escala de banco (Sun et al., 2020).

El problema que se viene dando en la unidad minera en la cual se desarrolla esta investigación, en donde se utilizan en la actividad primaria de voladura 20 máquinas, requieren un alto costo y frecuente consumo de aceites lubricantes para su funcionamiento; es por ello que se plantea evaluar la posibilidad de contar con la manera de reutilizar el aceite lubricante que utilizan en sus unidades.

Por todo lo mencionado esta investigación se justifica debido a que el proceso de voladura es esencial para la actividad minera, en donde se enmarca el inicio de toda actividad y las máquinas de voladura de la unidad minera, tienen un alto nivel de consumo de aceites lubricantes; estos equipos desarrollan una actividad

relevante y su uso de aceite lubricante es indispensable para el correcto desarrollo y un manejo completo de la actividad primaria de extracción de minerales.

Por lo expuesto, la problemática a investigar responde a la interrogante: ¿Cómo reutilizar aceites lubricantes usados en máquinas de voladura de una empresa minera? y se desarrollaron como problemas específicos: ¿Cuáles son los procedimientos para el proceso de regeneración de aceites lubricantes?, ¿Cuáles son los parámetros normativos de las propiedades físicas y químicas del aceite lubricante usado para su reutilización en el diseño de un sistema de regeneración en máquinas de voladura?, ¿Cuál sería el diseño de un sistema de regeneración de aceites lubricantes usados para su reutilización en máquinas de voladura? y ¿Será factible económicamente la inversión en un sistema de regeneración de aceites lubricantes?

Como objetivo general se tiene: Evaluar el diseño de un sistema de regeneración de aceites lubricantes para su reutilización en máquinas de voladura minera, La Libertad. Y como objetivos específicos: Evaluar los procedimientos para el proceso de regeneración de aceites lubricantes para conocer el sistema electromecánico a diseñar, identificar los parámetros normativos de las propiedades físicas y químicas del aceite lubricante usado para su reutilización en el diseño de un sistema de regeneración en máquinas de voladura, diseñar el sistema de regeneración de aceites lubricantes usados para su reutilización en máquinas de voladura y analizar económicamente la inversión del sistema diseñado.

II. MARCO TEÓRICO

Respecto a investigaciones realizadas a nivel internacional se encontró a (Pinheiro et al., 2018), los cuales desarrollaron su investigación en Coímbra Portugal, Esta investigación se abocó a proponer una nueva metodología para la selección de solventes para la regeneración de aceites lubricantes usados, que equilibre criterios técnicos, económicos y ecológicos, para lo cual se tomaron como muestra probabilística 8 de 154 solventes. Se atribuyó una puntuación a cada disolvente en función de la evaluación de la métrica individual. De una lista de 154 disolventes, el 1-butanol, el isobutanol y la metiletilcetona son los disolventes más sostenibles para la regeneración de aceites lubricantes usados. Por último, se concluyó que al ponderar de manera uniforme las fases uno y dos se obtuvo solventes más sostenibles que mejoran las propiedades químicas y físicas del aceite base.

En la investigación de Sánchez et al., (2021) desarrollados en la ciudad de Cuenca, Ecuador, tuvo como propósito caracterizar los aceites lubricantes usados en Cuenca, compararlos con las propiedades de los aceites usados de otros países y sugerir algunas tecnologías de re-refinamiento para aceites con propiedades similares. La población estuvo delimitada por el total de 265 generadores de aceite usado, los cuales fueron seleccionados al azar de un total de 1300 registrados por ETAPA para identificar los métodos de recolección y las condiciones de almacenamiento de los aceites usados. El método consiste en que en la refinación de lubricantes usados se alcance el mayor grado de remoción de contaminantes, obteniendo el aceite base para fabricar nuevos aceites lubricantes. La técnica utilizada fue el pretratamiento regeneración fraccionamiento de bases, este re-procesamiento se lleva a cabo mediante la eliminación de contaminantes de los aceites usados y puede incluir destilación y tratamiento químico. En base a estos resultados, la mejor opción de re-refinamiento para los aceites usados en Cuenca fue la extracción con disolventes en la que a la sedimentación y deshidratación (ya realizada en Cuenca) le sigue un proceso de reacción con disolventes, un proceso de destilación al vacío, un proceso de acabado con bentonita y una etapa final de filtración.

En el artículo realizado por Rumiguano (2020) desarrollado en Ecuador se hizo un estudio comparativo de las características de concentración de residuos y un estudio económico de las técnicas más utilizadas para la regeneración de aceites lubricantes tomando como muestra los aceites usados por las principales máquinas del proceso desarrollado en la empresa. Este estudio se enfocó en la revisión sistemática de la literatura sobre la regeneración de aceites lubricantes usados, determinando la eficiencia de cada método y las características fisicoquímicas de cada producto final, identificando el más adecuado para su implementación en el Distrito Metropolitano de Quito, con la condición de que cumpla con las normas NTE INEN 2030, y así obtener un método eficiente de regeneración de aceites lubricantes que sea amigable con el medio ambiente. Finalmente se obtuvo que, el método de extracción con butanol presenta un mayor rendimiento y extracción de residuos, siendo un residuo orgánico del proceso que puede ser desechado sin ningún riesgo ambiental. En cuanto al método de ácido arcilla, es el más conveniente económicamente y presenta un rendimiento moderado que puede ser mejorado incrementando la concentración de arcilla en el proceso y el método por extracción con butanol reemplaza con éxito al método clásico de ácido arcilla, ya que genera un lodo orgánico que puede ser aprovechado y es un proceso simple con recuperación del disolvente.

Por su parte Velasco et al. (2020) desarrollaron su investigación en Canadá para regenerar las propiedades del aceite sintético lubricante del motor para su reutilización. Esto se logró eliminando los contaminantes de los residuos lubricantes (WL) mediante la extracción con disolventes. La técnica utilizada analiza los diagramas de fase ternarios de las mezclas de disolventes con WL y el WL deshidratado determinan las regiones que permiten la máxima eliminación de lodos húmedos, se eligieron un par de disolventes que son un polar y no polar. Las propiedades de los lubricantes recuperados se evaluaron realizando pruebas de viscosidad y densidad a diferentes temperaturas, así como el punto de inflamación. Los resultados se comparados con los del WLO y el nuevo lubricante (NL). Finalmente, se tuvo que el análisis de diagramas de equilibrio de fases para la extracción de lodos del WL permite diseñar una metodología que identifique la concentración óptima de disolventes.

En la investigación de Pinheiro et al., (2020) elaborada en Portugal orientan sus estudios a identificar nuevas tecnologías con procesamiento de aditivos para mejorar las propiedades de los aceites lubricantes, encaminado a obtener bases lubricantes con las propiedades que demanda el mercado en las mejores condiciones ambientales posibles. Se tuvo como población los aditivos que fueron analizados en laboratorio para validar los resultados. En ese sentido, se analizó las condiciones del mercado para desarrollar las tecnologías e implementarlo en una planta de tratamiento para lograr la recuperación de aceites lubricantes usados, y su posterior proceso de re-refinación de aceites usados. Los resultados mostraron que es posible regenerar los aceites usados a partir de aditivos que permiten aumentar su validez y eficiencia de recuperación de aceites del rango de los lubricantes, así como, tener mayor control de impurezas. Se concluye que el tratamiento de extracción por solventes puede aumentar el potencial de regeneración de aceites lubricantes usados.

Waseem et al., (2022), en donde realizaron sus estudios en Estados Unidos, tuvo como propósito investigar sobre nuevos métodos de procesos de regeneración de aceites lubricantes, tales como, la extracción con solvente, el proceso de ácido arcilla, la extracción por propano, filtración micrónica, la destilación al vacío con hidrotratamiento y de re-refinación. Se tomaron como muestra 6 procesos dentro de los múltiples procesos de regeneración, aplicando la tabulación de datos estadísticos, considerando como dimensiones para ser evaluados cinco etapas de filtración, destilación, deshidratación, mezcla y separación. Se concluye que la re-refinación de aceites lubricantes es uno de los métodos de regeneración económicamente factible en términos de conversión de recursos.

Por su parte Arner (2018) en su investigación desarrollada en la ciudad de Zaragoza-España, el cual propone el diseño y fabricación de componentes que tengan las normas técnicas y faciliten el uso de manera eficaz de los recursos durante todo el ciclo de vida, incluyendo reparación, reutilización, y montaje. Para ello se estudió las condiciones del mercado mediante una muestra de 37 empresas para implementar una planta de recuperación de aceites residuales. Considerando como indicadores, el coste del mercado, su viabilidad, normativas reguladoras y su

comercialización, en la presente investigación se encontró que los indicadores de viabilidad y comercialización se presentaron en mayor nivel. Se concluye que la eficiencia relativa de estos dos instrumentos depende de la eficiencia de la tecnología de reciclaje.

De la misma manera Allauca et al., (2021) en donde las investigaciones fueron desarrolladas en Ecuador, se abocaron a determinar las diferencias en la vida útil de los aceites lubricantes utilizados en motores diésel, teniendo en cuenta diferentes condiciones geográficas y atmosféricas. La población de estudio estuvo conformada por tres vehículos con motor diésel No. 18, No. 4 y No. 6 que operan en diferentes zonas geográficas del país. Para ello se tomaron muestras en los recorridos 0 km, 3000 km, 6000 km y 8500 km utilizando una bomba de vacío 1U-5718 y recipientes plásticos esterilizados, y se realizó un análisis de aceite en un laboratorio especializado donde se obtuvieron los resultados. Datos de viscosidad, hollín y sulfatación, así como datos de envasado de aditivos como calcio, fósforo y datos de desgaste. El procesamiento de datos se realizó mediante los programas estadísticos Excel y MINITAB 19 y se encontró que el lubricante del bloque 18 tiene una diferencia significativa en comparación con los bloques 4 y 6. Por otro lado, la diferencia de viscosidad fue del 2,09%, es decir la diferencia en hollín fue de 41.67% y la sulfatación no ha cambiado ya que los tres carros usan el mismo combustible. Por lo tanto, concluyeron que las diferencias geográficas en el rendimiento del motor causaron las diferencias observadas en el desgaste del aceite lubricante debido al contenido de oxígeno y la pendiente de la ruta. Recomiendan tomar más muestras para mejorar la validez y confiabilidad de los resultados.

La regeneración es el proceso de destilación del aceite usado para eliminar el agua, los sedimentos, los aditivos, los metales pesados y otros contaminantes con el fin de crear bases regeneradas o bases lubricantes que puedan utilizarse para elaborar nuevos aceites. Cortés y Nielsen (2019) definen la regeneración como un conjunto de procedimientos físicos y químicos a los que se somete el aceite usado para dotarlo de un porcentaje sustancial de sus propiedades clave para su reutilización.

Los aceites lubricantes son líquidos a base de petróleo y sustancias viscosas compuestas por mezclas de hidrocarburos que se utilizan para disminuir la fricción

en herramientas y equipos en movimiento, así como para proteger contra la corrosión, refrigerar sistemas y limpiar determinados componentes. Los aceites lubricantes utilizados se eliminan después de su vida útil, durante la cual se utilizan para dispersar el calor o evitar la fricción excesiva entre las piezas en movimiento. Una de las cualidades que se observan cuando se utiliza un aceite lubricante es que desarrolla una tonalidad oscura, ya que se combina con elementos como el agua, los compuestos químicos y las partículas metálicas. Debido a la fricción o a la interacción con otros combustibles, los aceites lubricantes usados pueden incluir altas cantidades de contaminantes como metales pesados, así como disolventes clorados derivados del proceso de refinado del petróleo (Rumiguano, 2020).

Según Pinheiro (2018) el sistema de regeneración consiste en el modelamiento de un tratamiento en el que se recuperan las bases lubricantes, así mismo Khalid (2022) define el sistema de regeneración como procesos de selección, dimensionamiento e implementación de componentes que permiten realizar un proceso de regeneración de aceites lubricantes. Para Santos (2018) es el conjunto de métodos y tecnologías para el modelado de un determinado proceso para el desarrollo de una planta de regeneración de aceites lubricantes.

Por otro lado, sobre la reutilización de aceites lubricantes Lins (2021) refiere que es una actividad que permite el aprovechamiento directo del aceite lubricante que inicialmente se considera un residuo sólido de cualquier proceso o actividad realizada y tiene como objetivo que este elemento, el aceite lubricante, cumpla nuevamente la función para el que originalmente fue elaborado. Sánchez (2021) menciona que es el reaprovechamiento de los aceites reciclados con el objeto de iniciar la misma función para la cual fue elaborado, generando una economía circular. Para Wassen (2022) es una alternativa que permite ser utilizado nuevamente con el propósito para lo cual el aceite lubricante fue producido.

Las propiedades físicas de los aceites lubricantes son: la gravedad específica, la fluorescencia, la viscosidad y la rigidez dieléctrica. Sus propiedades térmicas son el punto de inflamación, de combustión, de fluidez, de floculación y de congelación y enturbiamiento. Y sus propiedades químicas son el contenido de agua, el índice de contaminación, la viscosidad y el número básico total, estos parámetros se respaldan bajo normas ASTM y ANA. Es importante recordar que el aceite

lubricante usado contiene más del 90% de un buen aceite base y aditivos disponibles, lo que significa que tiene el potencial de ahorrar energía, proteger el medio ambiente y ahorrar dinero, aunque pierda su rendimiento útil debido a las impurezas, la oxidación y la degradación de los aditivos.

De acuerdo a Infantes Roque (2020), es importante tomar en consideración que las características que obtienen los aceites lubricantes usados después de su uso automotriz, son muy notorias y van desde el nivel de viscosidad, la gravedad, el peso específico entre otros factores. Dichas características típicas, se pueden identificar aplicando 6 parámetros, con se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 1. *Características típicas de los aceites usados*

CARACTERÍSTICA	AUTOMOTRIZ	INDUSTRIAL
Viscosidad a 40°C, SSU	97 – 120	143 – 330
Gravedad a 15.6°C, °API	19 – 22	25,7 - 26,2
Peso específico a 15.6°C	0,9396 - 0,8692	0,9002 - 0,8972
Agua, % vol	0,2 – 33,8	0,1 – 4,6
Numero básico total (mg KOH/g)	<2 de diferencia	<2 de diferencia
Índice de contaminación %	0,1 – 5.0	0,00 – 5.0

Fuente: Información obtenida de (Infantes Roque, 2020)

Dentro de los principales procedimientos de regeneración de lubricantes se tiene el procedimiento de extracción con propano el cual consiste en extraer el propano líquido de cualquier tipo de hidrocarburo mediante tres procesos que consisten en el pre tratamiento químico, la extracción del propano líquido y la destilación atmosférica. Otro de los procedimientos de regeneración es la filtración micrónica que se desarrolla en función a la separación de elementos sólidos del aceite; para lo cual este elemento se pasa por un medio poroso, donde estas partículas quedan atrapadas en cada uno de los filtros; para lo cual se separa el aceite de los elementos sólidos contaminantes.

Luego se tiene uno de los procedimientos más relevantes y considerados en el sector minero el cual es el proceso de re-refinación por su alto grado de recuperación del lubricante, los bajos costos que genera este proceso y los altos beneficios que presenta al momento de procesarlo.

Así mismo en el proceso de regeneración por re-refinación contiene 6 etapas, como son la filtración que retiene las partículas y separa líquidos contaminantes, la deshidratación es una etapa en donde se realiza la cocción del aceite a 150°C para evaporar el agua, la destilación en donde también se realiza la cocción del aceite a 300°C y se eliminan los combustibles, la mezcla en donde se adiciona la arena arcillosa y luego se extrae para separarlas del aceite, separación en donde se realiza el micro filtrado del aceite lubricante para obtener el aceite base y por último la inmersión de aditivos en donde se vierten compuestos químicos para obtener un aceite refinado.

Según el objetivo perseguido por esta investigación y acorde a la necesidad de la empresa, el método más adecuado y en el que se enfocó para realizar es el de re-refinado; por ello se detalla a continuación el proceso a seguir para este método.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

La investigación desarrollada fue de tipo aplicada y es que según los artículos de Magdalena (2019), Nicieza (2022) y Fernández (2021), una investigación aplicada es aquella que utiliza los hallazgos de un estudio básico, puro o fundamental para abordar cuestiones prácticas, cotidianas, empresariales o de la sociedad.

Diseño de investigación

Esta investigación contó con un diseño no experimental transversal debido a que se realizó tanto la observación como el registro de los datos obtenidos en un único momento en el tiempo (Magdalena, 2019; Nicieza, 2022; Fernández, 2021).

3.2. Variables y operacionalización

Variable 1: Sistema de regeneración

Según el artículo de Pinheiro (2018) el sistema de regeneración consiste en el tratamiento en el que se recuperan las bases lubricantes con la finalidad de reutilizarlas y de esta manera poder comercializarlas nuevamente. El aceite lubricante usado sigue considerándose un conjunto de hidrocarburos con una serie de agentes contaminantes, a los cuales es posible refinar y en base a ello conseguir una base lubricante.

Variable 2: Reutilización de aceites lubricantes

Según los artículos de Lins (2021) y Sánchez (2021) es una actividad que permite el reaprovechamiento directo del aceite lubricante que inicialmente se considera un residuo sólido de cualquier proceso o actividad realizada y tiene como objetivo que este elemento, el aceite lubricante, cumpla nuevamente la función para el que originalmente fue elaborado.

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población:

Según el artículo de Magdalena (2019), Nicieza (2022) y Fernández (2021) la población o universo de una investigación se ve representada por el total de elementos que son objeto de investigación.

En el caso de esta investigación se tomó en cuenta como población a los distintos sistemas de regeneración de aceites lubricantes que existen.

- **Criterios de inclusión:** Se consideraron dentro de este trabajo de investigación al sistema de regeneración de aceites lubricantes que mejor se adapte al aceite lubricante usado obtenido en el proceso de voladura de la empresa minera.
- **Criterios de exclusión:** Se excluyeron de este trabajo de investigación a los sistemas de regeneración de aceites lubricantes que no se adapten al aceite lubricante usado obtenido en el proceso de voladura de la empresa minera.

Muestra:

La muestra de una investigación es un subconjunto que lo representa; asumiendo que los resultados encontrados en la muestra se proyectan a la población. Según los artículos de Magdalena (2019), Nicieza (2022) y Fernández (2021).

En el caso de esta investigación se tomaron como muestra el sistema de regeneración seleccionado para el aceite usado obtenido de las máquinas del proceso de voladura.

Muestreo:

En el caso de esta investigación se realizó para la muestra un muestreo no probabilístico-por conveniencia debido a que se seleccionó el sistema de regeneración que mejor se adecuó a la empresa minera.

Unidad de análisis:

Sistemas de regeneración de aceites lubricantes.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Tomando en cuenta a Magdalena (2019), Nicieza (2022) y Fernández (2021) las técnicas son los pasos que ayudan al método a conseguir su propósito. Las técnicas que se utilizaron para la obtención de la información fueron: la *observación no participante* y el *análisis documental*.

Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos son los que apoyan a las técnicas en sus objetivos (Magdalena, 2019; Nicieza, 2022; Fernández, 2021). Los instrumentos que se utilizaron en el presente trabajo sirvieron de apoyo a las técnicas descritas. La técnica observación no participante, se aplicó mediante la ficha de observación, para conocer el consumo de aceite lubricante de la máquina de voladura minera (Anexo 2) y, dos (02) fichas de registro: Ficha de registro para la variable reutilización del aceite lubricante (Anexo 3), y Ficha de registro para la variable sistema de regeneración de aceites lubricantes (Anexo 4) aplicado para la evaluación de los procesos de regeneración. Para la técnica de análisis documental, se utilizó la Tabla de control de mantenimiento mecánico preventivo, donde el encargado de la empresa lleva el control del cambio de aceite de las máquinas de voladura (Anexo 5).

La validación de los instrumentos estuvo a cargo de tres expertos: Un ingeniero químico, un ingeniero mecánico y un ingeniero eléctrico. (Anexo 6)

3.5. Procedimientos

El procedimiento mediante el cual se desarrolló la investigación del diseño de un sistema de regeneración de aceites lubricantes inició con la solicitud a la empresa con lo cual se obtuvo el acceso a la información y se verificó el consumo del aceite lubricante utilizado para el proceso de voladura en la empresa. Luego de ello, se analizaron las principales técnicas de regeneración de los aceites lubricantes mediante el método de factores y se seleccionó a la que mejor puntuación. Se diseñó el sistema de regeneración para proponer a la empresa, además de ello se hizo una evaluación económica con indicadores que permitieron dar un alcance del beneficio obtenido por la propuesta a los encargados de la unidad minera.

3.6. Método de análisis de datos

Se utilizaron hojas de cálculo de Microsoft Excel, con las cuales se revisaron los registros de utilización del aceite lubricante en el total de máquinas que se analizaron del proceso de voladura. Cada una de estas máquinas tuvieron un consumo de aceite que fue revisado y detallado en una tabla y esto incluido en un documento de Microsoft Word para su análisis. (Solidworks-Diseño de los componentes del Sistema de regeneración de aceites lubricantes)

3.7. Aspectos éticos

En la investigación se utilizó como referencia la norma ISO 960 para la redacción de la realidad problemática, los antecedentes y el marco teórico. Y se contempló la veracidad de la información, se respetó la inserción de citas para respetar la autoría de los diversos investigadores. También se respetó la normatividad de la guía vigente de la Universidad César Vallejo y se manejó con estricto nivel de confidencialidad la información proporcionada por la empresa minera.

IV. RESULTADOS

4.1. Objetivo Específico 1. Procedimientos para el proceso de regeneración de aceites lubricantes

En el presente objetivo se demuestra los criterios de selección de los procesos de regeneración de aceites lubricantes usados, teniendo en cuenta la revisión de artículos de literatura, así como el juicio de un experto en temas sobre procesos de regeneración y lubricantes (anexo 9) para lo cual se debe tener en consideración que el aceite lubricante usado obtenido de las máquinas del proceso de voladura minera presenta ciertos factores a tomar en cuenta como su tipo y sus propiedades químicas.

A continuación, se detalla en tabla el primer filtro a través de la evaluación de ciertos factores.

Tabla 2. *Evaluación de aceites lubricantes (Primer filtro)*

Proceso	Tipo de aceite	Propiedades químicas	Pertinencia DE USO
P. Acido/ arcilla	SI	SI	SI
P de Hidrotratamiento	SI	NO	NO
P. por extracción con propano líquido	SI	SI	SI
P. de extracción por disolvente	SI	SI	SI
P. de re-refinación	SI	SI	SI

Fuente: (Chuqui, y otros, 2017), (Arner Güerre, 2018). Este es el primer filtro de selección a partir de los cinco procesos de re-refinación

De los 5 procesos revisados se eliminó el proceso de hidrotratamiento luego de que uno de los factores evaluados como el punto de ebullición no sea favorable para dicho proceso.

Luego de esto se realizará un análisis de factores de los procesos de regeneración de los aceites lubricante de los cuatro procesos restantes y con ello se determinará el mejor procedimiento para el tratamiento del aceite lubricante usado proveniente de las máquinas del proceso primario de voladura de la minera.

Análisis de factores para la selección del proceso de regeneración

A continuación, se detallan cinco procesos de regeneración de aceites lubricantes. Comparando los distintos procesos de recuperación o regeneración y tomando en cuenta el costo de regeneración y el impacto ambiental; así como otros factores.

Proceso Acido/ arcilla: En este proceso se realiza la recuperación del aceite lubricante usado de las máquinas de voladura por medio de aplicar ácido sulfúrico y también arcillas absorbentes. Mediante este proceso de regeneración se obtiene un beneficio global del 70% peso en la carga de aceite, no existe un control en el rango de viscosidad, las arcillas (tierras Fuller) utilizadas quedan contaminadas por impurezas y se da la generación de emisiones atmosféricas debido al ácido sulfúrico (Chuqui, y otros, 2017).

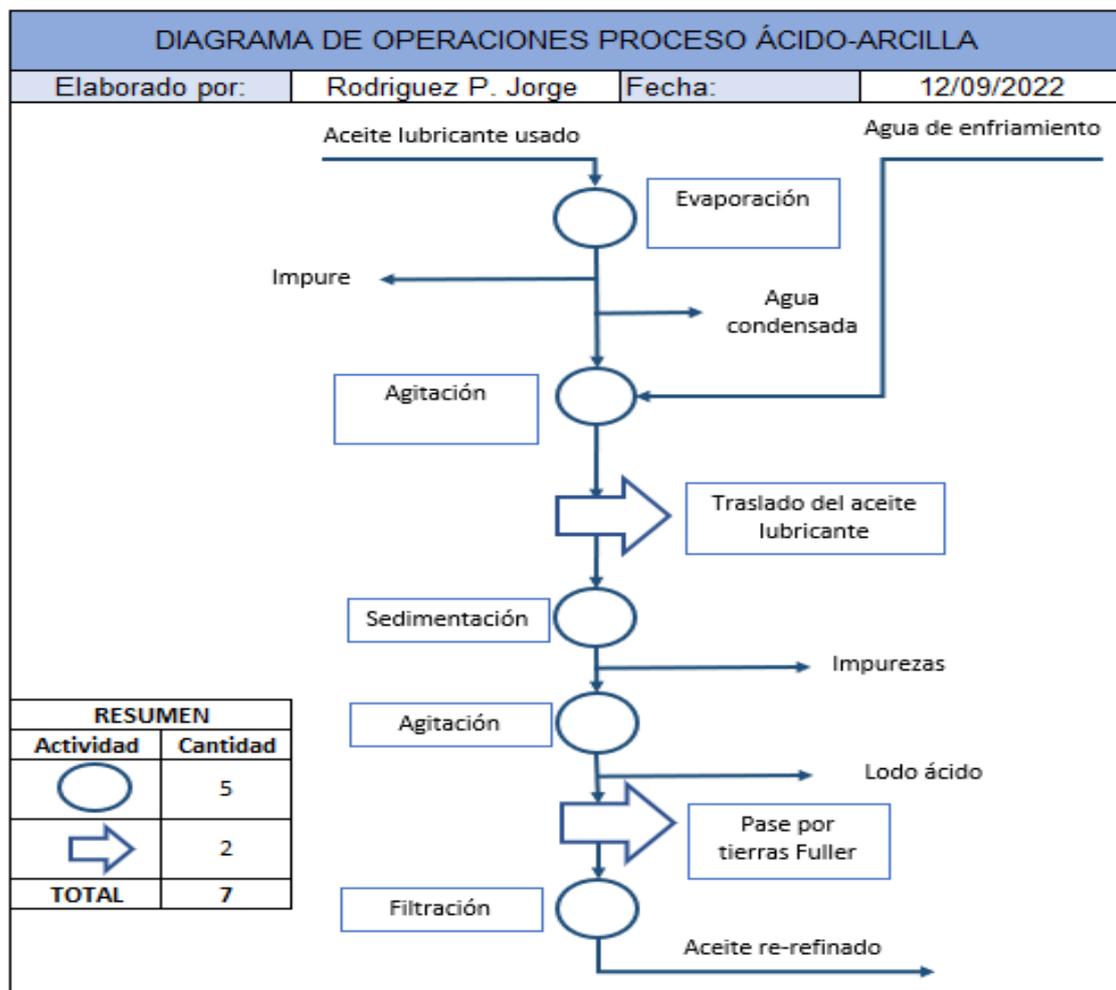


Figura 1 . DOP del proceso ácido arcilla

Fuente: Referenciado de (Sánchez, y otros, 2021)

Proceso por extracción con propano líquido: En este proceso se realiza la recuperación del aceite lubricante usado de las máquinas de voladura por medio de la extracción con propano líquido y un proceso de destilación. Se obtiene bases regeneradas de alta calidad similar al primer filtro, no hay requerimiento de hidrotratamiento, viable en el caso de plantas de baja capacidad por su reducido nivel de inversión (Chuqui, y otros, 2017).

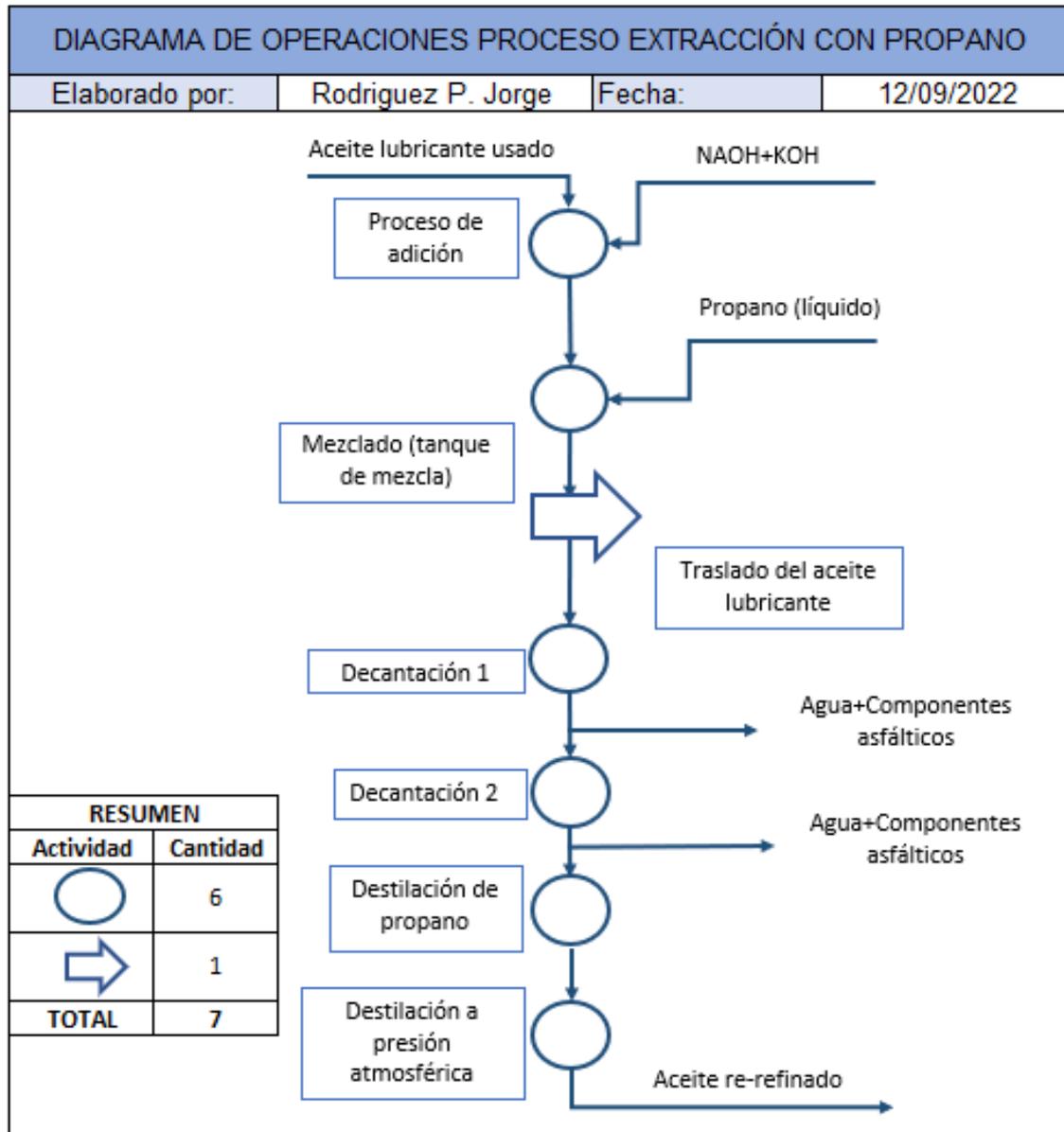


Figura 2 DOP. del proceso por extracción con propano líquido

Fuente. Referenciado de (Sánchez, y otros, 2021)

Proceso de extracción por disolvente: En este proceso se realiza la recuperación del aceite lubricante usado de las máquinas de voladura mediante el precalentamiento con disolventes en conjunto con la deshidratación, destilación y también un proceso de acabado. Es considerado uno de los procesos más eficientes y económicos; En cuanto al tema ambiental se encuentra en ventaja frente al proceso ácido-arcilla. Mediante este proceso es posible la remoción de entre 10-14% de aceite que es usado como contaminante (Cortés, y otros, 2019).

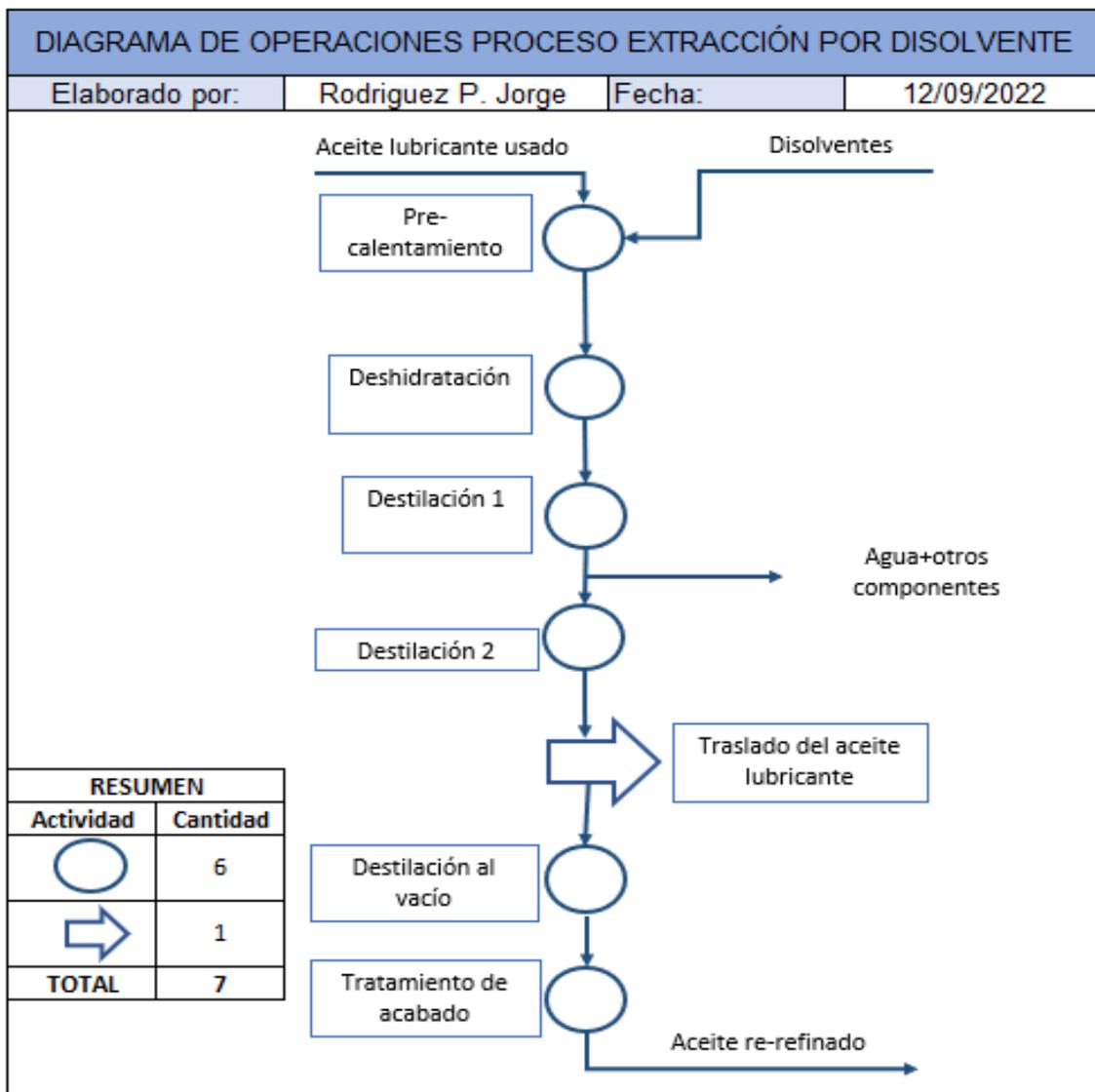


Figura 3 . DOP del proceso de extracción por disolvente
 Fuente. Referenciado de (Sánchez, y otros, 2021)

P. de re-refinación: En este proceso se realiza la recuperación del aceite lubricante usado de las máquinas de voladura por medio de cuatro fases que son el pretratamiento, la limpieza, el fraccionamiento y el acabado. El resultado obtenido de este proceso es de un rendimiento del 70 al 80% de aceite básico natural, pero presenta problemas en emisiones atmosféricas en el proceso de eliminación de aceites livianos; las cuales es posible contrarrestar con un costo razonable (Chuqui, y otros, 2017).

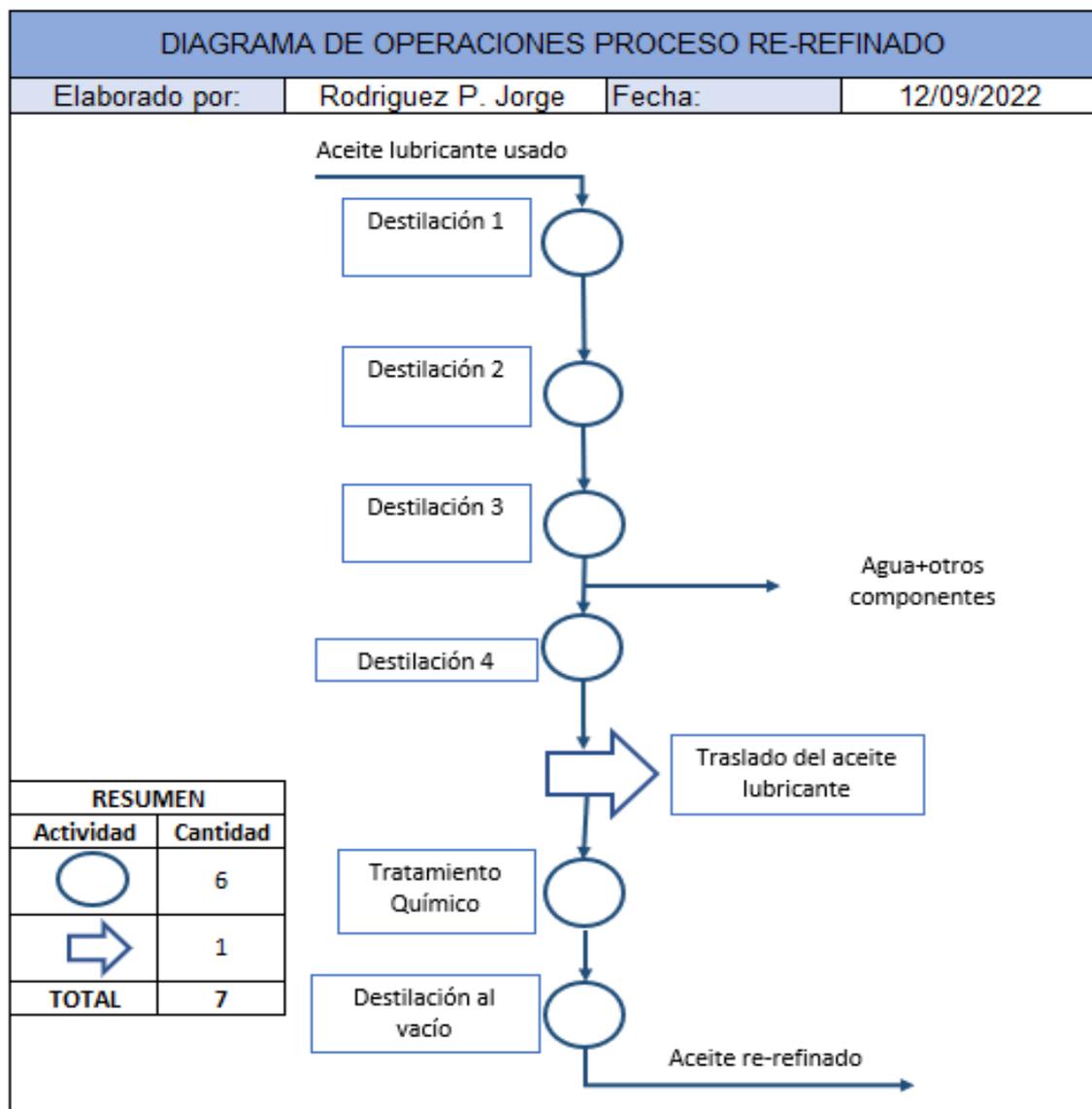


Figura 4 . DOP del proceso de re-refinación

Fuente. Referenciado de (Sánchez, y otros, 2021)

Factores de selección por valoración:

Los factores a utilizar para los procesos de regeneración se describen en detalla en la siguiente tabla.

Tabla 1. Análisis de factores de valoración

Factores por valoración		
Factor	Descripción del factor	Valor
Por su naturaleza	Los aceites lubricantes usados por su naturaleza, los cuales se clasifican en aceites parafínicos, aceites nafténicos y Aceites aromáticos y dependiendo de eso es más o menos frecuente.	0.1
Por la calidad del producto	Se considera en este punto el tipo de producto final obtenido y su porcentaje de calidad.	0.20
Factor ambiental	Se considera la cantidad de contaminantes generados y la afectación de estos en el medio ambiente.	0.15
Mayor generación de producto	Se considera en este punto la cantidad de producto final obtenido.	0.2
Cantidad de residuos	Se toman en cuenta la cantidad de residuos generados por el proceso de regeneración evaluado.	0.15
Económico	Se considera el factor monetario como inversión, beneficio obtenido y gastos anuales requeridos (acorde a planta)	0.2
Total, valoración		1

Fuente: Se consideran los artículos de (del Valle Córdoba, 2019) y (Sánchez, y otros, 2021)

Una vez que se determine una puntuación para cada criterio se selecciona la mejor opción en función de los criterios especificados:

Tabla 2. Evaluación de factores y selección del proceso.

Selección del proceso de regeneración									
Criterio	Valor	PROCESO “Ácido-Arcilla”		PROCESO “Extracción con propano líquido”		PROCESO “Extracción por disolvente”		PROCESO “Re-refinación”	
		Puntaje	Promedio	Puntaje	Promedio	Puntaje	Promedio	Puntaje	Promedio
Naturaleza	0.1	3	0.3	3	0.3	5	0.5	3	0.3
Calidad del producto	0.2	3	0.6	0	1	3	0.6	5	1
Amigable con el medio ambiente	0.15	5	0.75	3	0	3	0.45	5	0.75
Mayor generación de producto	0.2	3	0.6	3	0	3	0.6	5	1
Cantidad de residuos	0.15	3	0.45	3	0	3	0.45	5	0.75
Económico	0.2	5	1	3	0	3	0.6	5	1
TOTAL	1		3.7		1.3		3.2		4.8

Fuente: (Chuqui, y otros, 2017), (Sánchez, y otros, 2021) y (Cortés, y otros, 2019)

Se considera 0=Bajo, 3=Medio y 5=Alto

4.2. Objetivo Específico 2. Identificar los parámetros normativos de las propiedades físicas y químicas del aceite lubricante usado para su reutilización

En este punto es donde se analizan las propiedades del aceite lubricante residual obtenido de los procesos las máquinas utilizadas en el proceso de voladura, las cuales son: Scoop, Dumper, Comprensora y Grupos electrógenos. Para ello primero se procedió a tomar muestras del aceite nuevo y del lubricante usado.



Figura 5. Imágenes de las muestras tomadas

El aceite lubricante residual se envió como muestra de laboratorio a la empresa SGC la cual realiza este tipo de análisis, la cual indicó que los resultados serían entregados transcurridos 10 días desde la recepción de la muestra. En este análisis completo se especificó la evaluación de los parámetros más relevantes para la regeneración de un aceite lubricante entre los cuales se encuentran: la viscosidad, niveles de agua, índice de contaminación, cantidad de metales en la muestra tales como hierro, plomo, cobre, aluminio entre otros. Los resultados de laboratorio obtenidos tanto de la muestra de aceite nuevo como usado se muestran en el Anexo N° 05. Y con ello es que se realizará una tabla resumen para entender mejor las propiedades físicas y químicas.

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del aceite lubricante nuevo y usado

Propiedades	Aceites analizados en la empresa		Rangos especificados en otros estudios		Límites esperados	Tendencia considerando aceites nuevos
	Aceite usado	Aceite nuevo	Aceite usado	Aceite nuevo		
Contenido de agua (%v/v)	0.00	0.00	0.2	0.1	Entre 0,1 y 4,6	Adecuado
Índice de contaminación	0.5	0.00	0.3	0.0	Menor al 5%	Adecuado
TBN (mg KOH/g)	9.53	8.32	5.7	5.3	<2 de diferencia	Adecuado
Viscosidad 40°C	--	108.9	-	-	Menor a 143	Adecuado
Viscosidad a 100 °C	13.62	14.69	11.8	16.4	-	Adecuado
Contenido de metales (mg/kg)						
Al	2.3	1.1	8	<1	<20	Adecuado
Ba	0.00	0.00	1.5	64.7	-	Adecuado
B	1.7	2.3	43	10	-	Adecuado
Cd	0.1	0.0	0.4	-	<2	Adecuado
Ca	3450	3200	1988.7	1396.6	-	Adecuado
Cu	0.3	0.0	13.4	<1	<30	Adecuado
Cr	0.1	0.0	2.9	<1	<10	Adecuado
Sn	0.00	0.00	9.2	<1	<20	Adecuado
P	858	776	910.5	802.2	-	Adecuado
Fe	6.0	1.2	40.6	1.3	<100	Adecuado
Mg	15.6	18.7	37.8	12	-	Adecuado
Mn	0.2	0.0	3.2	-	-	Adecuado
Mo	0.2	0.0	31	97.9	-	Adecuado
Ni	0.1	0.0	1.8	<1	<10	Adecuado
Ag	0.1	0.0	0.7	<1	<3	Adecuado

Pb	0.0	0.0	39.6	<1	<30	Adecuado
Si	4.6	4.6	20.2	4.3	<20	Adecuado
Na	4.4	4.4	62.7	48.1	<50	Adecuado
Ti	0.0	0.0	12	<1	-	Adecuado
V	0.0	0.0	3.3	<1	-	Adecuado
Zn	960	895	781	803.3	-	Adecuado

Fuente: Los artículos revisados fueron (Waseem et al., 2022), (Sánchez et al., 2021), Infantes (2020) y (Tavares et al, 2018).

En la tabla revisada se muestra una comparación de las propiedades físicas, la presencia de metales y la concentración de aditivos de los aceites usados en las máquinas de voladura de la empresa minera con el aceite nuevo antes de ingresar en estas máquinas; así como otros estudios comparando aceites nuevos y usados de artículos revisados.

Interpretación: Se puede observar que el contenido de agua está por debajo de los parámetros encontrados en otros estudios. Propiedades como la viscosidad son interesantes ya que muestran que los aceites no se han degradado demasiado durante su uso, además de indicar un menor contenido en agua.

Por otro lado, metales como Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Mg, Ni, Ag, Sn, Ti y V, conocidos como metales de desgaste, aparecen en el aceite usado debido a las altas temperaturas y presiones de funcionamiento de los motores. Así, las concentraciones de metales encontradas en el aceite usado varían en función de la marca y el tipo de aceite usado, las condiciones del motor que los originó y la distancia recorrida por la máquina hasta que se realiza el cambio de aceite. El Ti está fuera del rango de valores típicos de los aceites usados con un valor mucho más alto. El Ti líquido del aceite se utiliza ampliamente para reducir la fricción y el desgaste de las piezas del motor, lo que podría explicar los valores tan elevados del contenido de Ti. En el caso de los metales debido a desgaste del motor, todos los valores están por debajo de la media de artículos revisados.

Los resultados indican que los aceites tienen una baja contaminación por metales

de desgaste, especialmente en el caso del Si, Al, Cu, Cr y Fe. El Si se considera un material altamente abrasivo. Su presencia en el aceite usado se debe principalmente a la contaminación por sedimentos o algunos líquidos de frenos, así como por el polvo (suciedad) que entra en el motor. La concentración de aditivos como Ba, B, Ca, Mg, Mo, Na, P y Zn se reduce con respecto a sus concentraciones iniciales. El P y el Zn son elementos que generalmente se encuentran en los aditivos anti-desgaste y antioxidantes utilizados para proteger los segmentos metálicos en las condiciones extremas de funcionamiento de los motores. Los sulfatos de Ca, Mg y Na están principalmente asociados a los detergentes/dispersantes utilizados para la limpieza del motor. En cuanto al B, no hay datos suficientes para comparar con otros artículos de estudio, pero está dentro de un rango típico. Algunos metales que son componentes de los motores también sirven como aditivos en los aceites lubricantes. El contenido de Ba y Mg está por debajo de la media de los valores típicos reportados en los artículos, lo que sugiere que parte de estos elementos se perdió durante el funcionamiento de las máquinas. Las concentraciones de Mo, Na, P y Zn también están por debajo de los valores medios, lo que sugiere la pérdida de estos metales, pero siguen estando dentro de los rangos típicos. El Ca tiene un valor superior a los valores esperados. Su contenido depende de los tipos o marcas de aceites presentes en la mezcla.

4.3. Objetivo Específico 3. Diseñar el sistema de regeneración de aceites lubricantes usados para su reutilización en máquinas de voladura

Primero, se determina la cantidad de aceite lubricante obtenido por las máquinas de voladura de la empresa minera evaluada teniendo los volúmenes detallados en la siguiente tabla.

Tabla 4. Máquinas de voladura y detalle de aceite lubricante usado obtenido-Mensual

Tipo de máquina	Frecuencia en cambio de aceite	Cantidad de aceite lubricante (Por máquina)	Cantidad de aceite usado	Total de máquinas	Cantidad total de aceite Lubricante obtenido (Litros)
Scoop	Cambio de aceite lubricante cada 250 horas de trabajo considerando que las máquinas trabajan más de 12 horas diarias (15 días aprox.)	2 baldes de aceite (Es decir 36 litros)	72	10	720
Dumper	Cambio de aceite lubricante cada 250 horas de trabajo considerando que las máquinas trabajan más de 12 horas diarias (15 días aprox.)	1 balde de aceite (Es decir 18 litros)	36	15	540
Comprensora	Cambio de aceite lubricante cada 250 horas de trabajo considerando que las máquinas trabajan 8-10 horas diarias (20 días aprox.)	1 balde de aceite (Es decir 18 litros)	27	15	405
Grupos electrógenos	Cambio de aceite lubricante cada 250 horas de trabajo considerando que las máquinas trabajan más de 12 horas diarias (15 días aprox.)	2 ½ baldes de aceite (Es decir 45 litros)	90	10	900
TOTAL					2565

Fuente: Información proporcionada por la minera.

Proceso de re-refinación para la regeneración del aceite lubricante usado

La regeneración de aceites usados es el proceso de convertir el aceite usado en nuevos aceites base comercializables. Desde un punto de vista técnico, la gran mayoría de los aceites usados pueden regenerarse; sin embargo, la complejidad y el gasto hacen que no sea práctico regenerar aceites usados que incluyen una gran proporción de aceites vegetales, aceites sintéticos, agua y sólidos. El aceite usado es simplemente una combinación de hidrocarburos e impurezas, por lo que teóricamente es posible refinarlo de nuevo y crear un aceite base de igual o mayor calidad que el aceite virgen del primer refinado. Este procedimiento consta de tres pasos:

Recepción y pretratamiento del aceite: Esta primera actividad consta en reducir de manera considerable las impurezas del aceite usado, como el agua, los hidrocarburos ligeros, los lodos y las partículas gruesas, como ocurre en la mayoría de los procedimientos de regeneración. El procedimiento comienza con la recolección del aceite usado, que se mantiene en tanques. A continuación, se transporta a un decantador (tanques tratamiento especiales) con coagulante agregado y elevado a 50°C para acelerar el proceso de deshidratación y parte del lodo removido en el proceso. Los aceites usados deben decantarse durante unas 48 horas antes de estar en condiciones de seguir con el proceso. Terminado el proceso de decantación, el líquido se bombea a un tanque de almacenamiento desde el cual se entregará al sistema de destilación.

Separación y destilación de los productos: El aceite usado es una combinación de hidrocarburos que pueden clasificarse de la siguiente manera: aceites ligeros, aceites pesados (aceites base lubricantes) de diversos tipos y aditivos utilizados en su formación como lubricantes, y otros hidrocarburos más pesados que constituyen el fuel. La destilación se utiliza para separar los diferentes tipos de aceite. Consiste en calentar la mezcla para que la evaporación controlada pueda separar cada producto de la solución desde el más volátil al menos volátil. Así, estos vapores se condensan fuera de la columna de destilación, dando lugar a un producto líquido un poco más limpio. Desde el tanque de alimentación, el aceite a destilar pasa a la columna de destilación. Este aceite se bombea a través de la caldera, que aumenta

lentamente su temperatura. En esta fase, la presión está al nivel del mar. Los aceites ligeros son los primeros en destilarse porque son los más volátiles. Los vapores se envían a un condensador, donde se enfrían y vuelven a convertirse en líquido. Así se obtienen los diferentes subproductos. Cuando la temperatura alcanza los 200°C y no se ha destilado nada, el efluente que no se ha destilado se conecta a una bomba de vacío, que baja la presión dentro del circuito de la presión atmosférica (a 70 mm Hg). Así, los aceites base se destilan a una temperatura inferior a la que tendrían a presión atmosférica, lo que evita que se agriete por efecto de la temperatura. El aceite obtenido de la destilación al vacío es el mismo que el aceite original que se utilizó para fabricar los lubricantes, pero siguen teniendo pequeñas cantidades de aditivos que tendrán que ser eliminados. Luego del proceso de destilación, se utiliza nitrógeno para romper el vacío que se hizo en el sistema. El aceite lubricante permanece en la columna de destilación.

Acabado: Todos lo realizado consigue producir un aceite libre de impurezas, pero aún en este punto no se ha podido eliminar el color del aceite. Se utiliza ácido sulfúrico, cal y arcillas para eliminar los olores e impurezas restantes, consiguiendo el tono deseado. Luego, se procesa a través de un filtro prensa, que es un sistema de filtros de tela que retiene los contaminantes junto con la arcilla de cal, etc. Para evitar que el aceite se oxide, se estabiliza con sustancias químicas.

NOTA: Los problemas medioambientales que se pueden identificar en este proceso de regeneración incluyen la recolección de aguas residuales, los sedimentos gruesos, las emisiones de aire durante el calentamiento del efluente para la eliminación de aceites ligeros, los residuos de arcilla y los filtros contaminados. Es por ello que, esta instalación necesitaría la construcción de una tubería para el tratamiento de las aguas residuales. Asimismo, los residuos creados, como las arcillas y los filtros, deben ser controlados por un gestor cualificado. Es fundamental tener en cuenta que un proceso de re-refinado requiere un tercio menos de energía para producir la misma cantidad de petróleo que una refinería primaria.

Diagrama de instrumentación del proceso de re-refinado del aceite lubricante usado

A continuación, se tiene el diagrama de instrumentación del proceso de re-refinación realizado en SolidWorks.

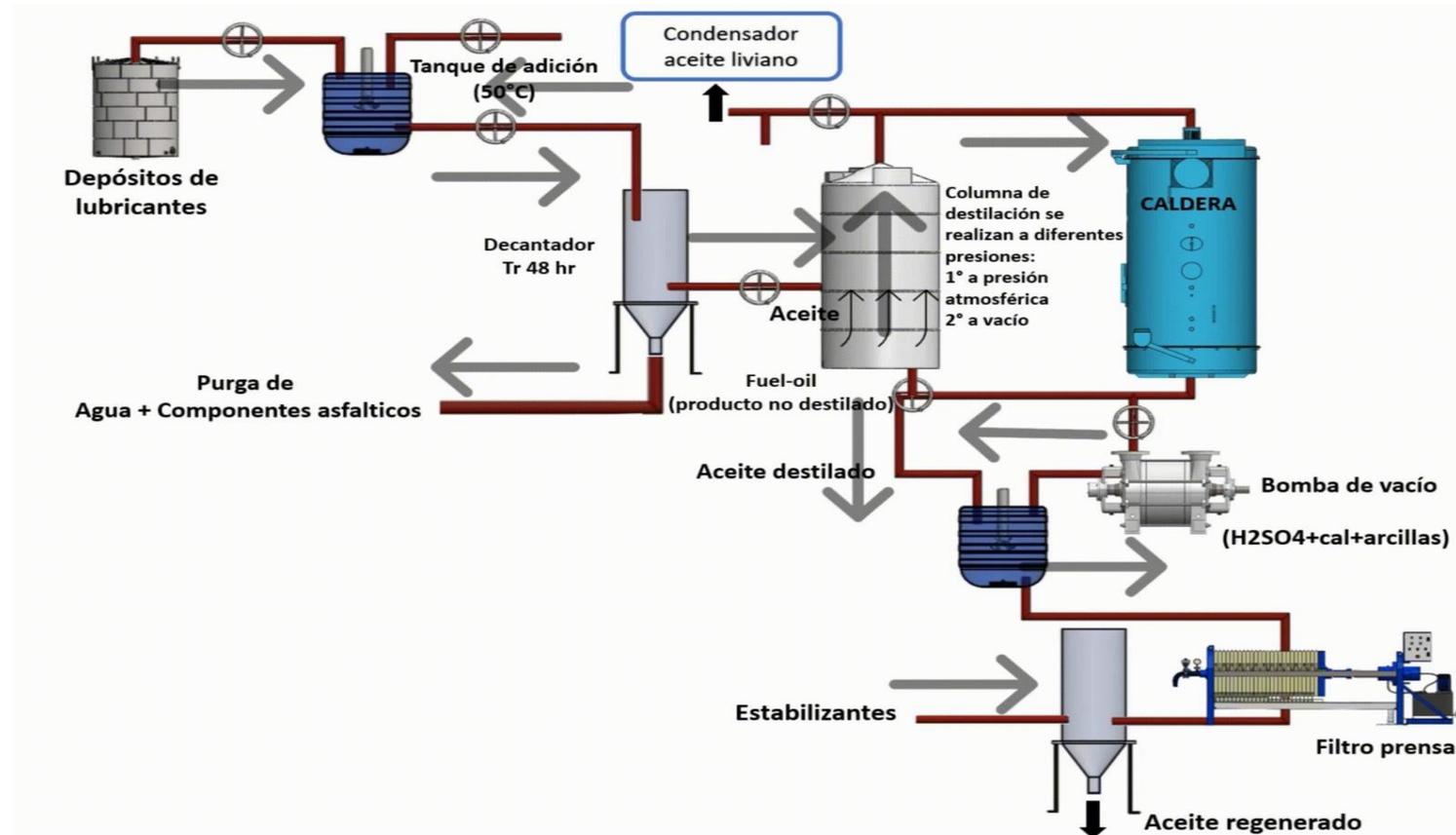


Figura 5. Diagrama de instrumentación del proceso de re-refinado en SolidWorks.

Componentes para el diseño del proceso de regeneración

Área de procesamiento del aceite lubricante

Una correcta localización del área de procesamiento del re-refinado, permitirá evitar posibles problemas futuros que en ocasiones se da por un deficiente estudio de localización, es por ello que se debe de evaluar cada factor que se emplea en este punto. Para ello se evaluarán los siguientes criterios:

Acceso al aceite lubricante para regenerar: Es importante considerar como principal factor de ubicación de planta la cercanía al producto que se debe procesar, porque con ello se soluciona el problema de disponibilidad del mismo, puesto que mientras más cercana se encuentre de la zona, se aminora el costo de transporte a la empresa para su uso. Cercanía a la empresa: Se debe tener también en cuenta que el aceite regenerado será usado nuevamente por la unidad minera y por ello se debe evaluar la proximidad entre la zona de regeneración de aceite lubricante con el que se desarrollará el proceso a I. En este punto se determina la cercanía o proximidad a la empresa para su rápido traslado. Disponibilidad del espacio: Se considera un espacio capaz de cubrir las actividades que se llevaran a cabo. Acceso a mano de obra: Se toma en cuenta la accesibilidad a la mano de obra requerida para la ejecución de las actividades del procedimiento de regeneración del aceite lubricante residual.

Con todo lo analizado se realiza una evaluación de los criterios evaluados.

Una vez analizados los criterios se realiza la evaluación de las mejores opciones para la ubicación del procesamiento de regeneración del aceite lubricante usado. Las opciones que se tienen para el lugar seleccionado son: Espacio propio (no siempre se encontrará ubicado cerca de las actividades realizadas por la empresa), Alquiler en zona de actividades (no hay problemas de ubicación, pero si representa un costo); alquiler en zona lejana a actividades (problemas de ubicación y costos).

Tabla 5. Elección de la zona de actividades del proceso

FACTORES	%	Espacio propio		Espacio en zona de actividades (alquilado)		Espacio en otra zona (alquilado)	
		Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total
(1) Acceso al aceite lubricante para regenerar	30%	2	60	3	90	1	30
(2) Cercanía a la empresa minera	30%	2	60	3	90	1	30
(3) Mano de obra requerida	20%	2	40	3	60	1	20
(4) Disponibilidad del espacio	20%	3	60	2	40	2	40
PUNTAJE TOTAL			220		280		120

Fuente: Elaboración propia

Selección de componentes y equipos del sistema

Es importante considerar los componentes y equipos a utilizar que se deben revisar en esta parte del informe y seleccionarlos de acuerdo a los parámetros calculados para el diseño realizado.

Depósitos de aceite lubricante: Dentro de los depósitos de almacenamiento revisados para el proceso de re-refinación del aceite lubricante usado deben ser seleccionados de acuerdo a los siguientes criterios analizados en el diseño.

Tabla 6. Promedios de aceite lubricante usados

CANTIDAD DE ACEITE LUBRICANTE USADO	LITROS [L]
Aceite lubricante utilizado en promedio por año	30780
Aceite lubricante utilizado en promedio por mes	2565
Aceite lubricante utilizado en promedio por día	85.5
Aceite lubricante utilizado en promedio por hora	3.5625

Volumen de aceite a procesar por día:

$$V_{au} = 0.0855 \text{ m}^3$$

Volumen del aire:

$$V_a = V_{au} \times 0.25$$

$$V_a = 0.0855 \text{ m}^3 \times 0.25$$

$$V_a = 0.021375 \text{ m}^3$$

Volumen de aceite total

$$V_{AT} = V_{au} + V_a$$

$$V_{AT} = 0.0855 \text{ m}^3 + 0.021375 \text{ m}^3$$

$$V_{AT} = 0.106875 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento del depósito de aceite lubricante

Volumen aceite total mínimo (5 veces el volumen del aceite total)

$$V_{ATM} = 0.106875 \text{ m}^3 \times 5$$

$$V_{ATM} = 0.534375 \text{ m}^3$$

$$m_{aceite} = \rho_{aceite} \times V_{ATM}$$

$$m_{aceite} = 865 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.534375 \text{ m}^3$$

$$m_{aceite} = \mathbf{462.23 \text{ kg}}$$

Volumen del depósito cilíndrico

$$V_{DC} = V_{ATM} \times 1.2$$

$$V_{DC} = 0.534375 \text{ m}^3 \times 1.2$$

$$V_{DC} = 0.64125 \text{ m}^3$$

H': altura del aceite lubricante en el depósito cilíndrico

$$V_{\text{líquido cilindro}} = V_{ATM}$$

$$V_{\text{líquido cilindro}} = 0.534375 \text{ m}^3$$

Se asume que $\frac{D'}{A'} = 1$; teniendo que:

$$D' = A'$$

D': Diámetro del líquido del cilindro

A': Altura del líquido del cilindro

$V \text{ líquido cilindro} = VATM$

$$VATM = \frac{\pi}{4} D'^2 \times A'$$

$$VATM = \frac{\pi}{4} A'^2 \times A'$$

$$VATM = \frac{\pi}{4} A'^3 = 0.534375 \text{ m}^3$$

$$A' = 0.8662 \text{ m}$$

D: Diámetro total del depósito cilíndrico

$$A = 1.12 \times A'$$

$$A = 1.12 \times 0.8662 \text{ m}$$

$$A = 0.970144 \text{ m}$$

$$D=A'$$

$$\mathbf{D = 0.8662 \text{ m}}$$

H: Altura total del depósito cilíndrico

VDC: Volumen del depósito cilíndrico

$$VDC = 0.64125 \text{ m}^3$$

$$0.64125 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H$$

$$\mathbf{H = 1.0881 \text{ m}}$$

Volumen del depósito cilíndrico $VDC = 0.64125 \text{ m}^3$

Diámetro del depósito cilíndrico $D = 0.8662 \text{ m}$

Altura del depósito cilíndrico $H = 1.0881 \text{ m}$

En función a los cálculos desarrollados se estima que, se requiere un depósito cilíndrico con un diámetro de 0,866 metros y la altura del depósito debe estar en 1,088 metros, todo lo cual nos permite realizar la elección de los depósitos.

Tabla 7. Selección del depósito de almacenamiento para aceite lubricante usado

	<p>Nombre: Depósito para aceites lubricante usados 1000 L (Dimensiones 1m ø x 1,08 m de altura)</p>
	<p>Información:</p> <p>Durabilidad: la estructura del depósito será de fierro ASTM A-36, con una excelente resistencia mecánica, soportada en una estructura resistente. Accesibilidad: Contiene un visor, e indicador de nivel y cubiertas protectoras. Seguridad: posee un detector de fugas, además de ello contiene una purga o válvula de descarga.</p>
<p>Costo Unitario</p>	<p>S/ 3500.00</p>

Tomando en consideración los cálculos realizados para determinar las dimensiones de los depósitos de aceite lubricante usado, con sus características y diámetro; se eligió el depósito de fierro ASTM A-36 de 1000 L, con un diámetro de 1 m por 1.08 metros de altura.

Tanque de adición de aceite lubricante: En este punto se analiza el diseño del tanque de adición, tomando en consideración el volumen de aceite a procesar por día y la cantidad de floculantes usados en dicho proceso.

Diseño del tanque de adición

Volumen de aceite a procesar por día:

$$V_{au} = 0.0855 \text{ m}^3$$

Volumen del aire

$$V_a = 0.25 \times V_{au}$$

$$V_a = 0.25 \times 0.0855 \text{ m}^3$$

$$V_a = 0.021375 \text{ m}^3$$

Volumen del floculante

El floculante a utilizar será un compuesto de sílice coloidal revestido con poliméricos vinílicos (PVP) cuya densidad es de 1.135 g/ML. El volumen del floculante que se agregará al tanque de adición, será el 3.7% del volumen del aceite total mínimo.

$$V_f = 20 \text{ L}$$

$$V_f = 0.02 \text{ m}^3$$

$$\rho_{floculante} = 1.135 \frac{\text{g}}{\text{mL}} = 1135 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{floculante} = \rho_{floculante} \times V_f$$

$$m_{floculante} = 1135 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.02 \text{ m}^3$$

$$m_{floculante} = 22.7 \text{ kg}$$

Volumen aceite total

$$V_{AT} = V_a + V_{au} + V_f$$

$$V_{AT} = 0.021375 \text{ m}^3 + 0.0855 \text{ m}^3 + 0.02 \text{ m}^3$$

$$V_{AT} = 0.126875 \text{ m}^3$$

Dimensiones del depósito

$$V_T = V_{CIL} + 2V_{C-C}$$

$$V_{CIL} = V_{ATM} = V_{AT} \times 5$$

$$V_{CIL} = V_{AT} \times 5$$

$$V_{CIL} = 0.126875 \text{ m}^3 \times 5$$

$$V_{CIL} = 0.64375 \text{ m}^3$$

Según las correlaciones de diseño impuestas por el código API-650 para tanques cilíndricos:

$$D = \frac{2}{3}H \quad ; \quad h = \frac{D}{4}$$

$$V_{CIL} = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times H$$

$$V_{CIL} = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \frac{3}{2}D$$

$$V_{CIL} = \pi \times \frac{3}{8}D^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{8}{3} \cdot \frac{V_{CIL}}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{8}{3} \cdot \frac{0.64375 \text{ m}^3}{\pi}}$$

$$\mathbf{D = 0.8175 \text{ m}}$$

$$H = \frac{3}{2}D$$

$$H = \frac{3}{2}(0.8175 \text{ m})$$

$$\mathbf{H = 1.226 \text{ m}}$$

$$h = \frac{D}{4}$$

$$h = \frac{0.8175 \text{ m}}{4}$$

$$\mathbf{h = 0.2043 \text{ m}}$$

$$V_{CIL} = \pi \times \left(\frac{0.8175 \text{ m}}{2}\right)^2 \times 1.226 \text{ m}$$

$$V_{CIL} = 0.6435 \text{ m}^3$$

$$V_{C-c} = \frac{\pi \times D^2 \times h}{6}$$

$$V_{C-c} = \frac{\pi \times (0.8175 \text{ m})^2 \times 0.2043 \text{ m}}{6}$$

$$V_{C-c} = 0.07148 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{VT = 0.6435 \text{ m}^3 + 2(0.07148 \text{ m}^3)}$$

$$\mathbf{VT = 2.0731 \text{ m}^3}$$

Presión absoluta en el tanque de adición

$$P_{RD} = P_{ATM} + P_{MANOMÉTRICA}$$

$$P_{MANOMÉTRICA} = \rho_{mezcla} \times g \times H$$

$$\rho_{mezcla} = \frac{m_{aceite} + m_{floculante}}{V_{mezcla}}$$

$$\rho_{mezcla} = \frac{462.23 \text{ kg} + 22.7 \text{ kg}}{0.5343 \text{ m}^3 + 0.02 \text{ m}^3} = 874.85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{MANOMÉTRICA} = 874.85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1.226 \text{ m}$$

$$P_{MANOMÉTRICA} = 10521.87 \text{ Pa} = 10.521 \text{ kPa}$$

$$P_{RD} = 101400 \text{ Pa} + 10521.87 \text{ Pa}$$

$$P_{RD} = 111921.87 \text{ Pa} = 111.921 \text{ kPa}$$

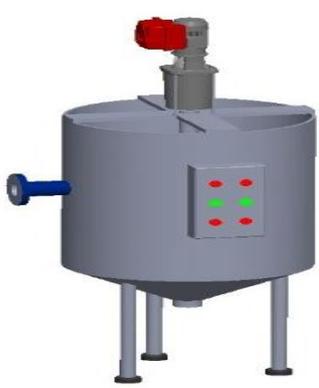
$$\text{Volumen del tanque de adición} = 2.0731 \text{ m}^3$$

$$\text{Diámetro del tanque de adición} = 0.8175 \text{ m}$$

$$\text{Altura del tanque de adición} = 1.226 \text{ m}$$

Considerando el volumen diario a procesar se analiza el tanque de adición que se pretende utilizar en este proceso y el costo del mismo, todo esto se analizó en la siguiente tabla.

Tabla 8. Tanque de adición de aceite lubricante

	Nombre: Tanque de adición de aceite lubricante
	Información: Estructura de fierro ASTM A-36 con una alta resistencia mecánica, con visor de nivel, posee una purga y además de ello cuenta con una estructura de soporte tubular que la vuelven un tanque resistente para diferentes temperaturas. Capacidad: 6,8 m3/ 6800L
Costo Unitario	S/ 8500.00

Diseño del tanque de decantación: En este punto se analiza el equipo de decantación, las dimensiones del tanque, la forma y otros factores. Para ello se inicia calculando el volumen de aceite total ingresado. $VAT = 0.126875m^3$

Dimensiones del depósito

Volumen aceite total mínimo (5 veces el volumen del aceite total)

$$VATM = 0.64125 m^3$$

Volumen del depósito cilíndrico

$$VDC = VATM \times 1.2$$

$$VDC = 0.64125 m^3 \times 1.2$$

$$VDC = 0.7695 m^3$$

H': altura del aceite lubricante

V líquido cilindro= VATM

$$V \text{ líquido cilindro} = 0.64125 m^3$$

Se asume que $\frac{D'}{A'} = 1$; teniendo que:

$$D' = A'$$

D': Diámetro del líquido del cilindro

A': Altura del líquido del cilindro

V liquido cilindro = VATM

$$VATM = \frac{\pi}{4} \times D'^2 \times A'$$

$$VATM = \frac{\pi}{4} \times A'^2 \times A'$$

$$VATM = \frac{\pi}{4} \times A'^3$$

$$0.64125 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \times A'^3$$

$$A'^3 = 0.8164 \text{ m}^3$$

$$A' = 0.9346 \text{ m}$$

Diámetro total del depósito cilíndrico D

$$A = 1.12 \times A'$$

$$A = 1.12 \times 0.9346 \text{ m}$$

$$A = 1.0467 \text{ m}$$

$$D = A'$$

$$D = \mathbf{0.9346 \text{ m}}$$

Altura total del depósito cilíndrico H

VDC= Volumen

$$\mathbf{Volumen = 0.7695 \text{ m}^3}$$

$$0.7695 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H$$

$$H = \mathbf{1.1216 \text{ m}}$$

$$h = \frac{\mathbf{0.9346 \text{ m}}}{4} = \mathbf{0.23365 \text{ m}}$$

$$VT = V_{CIL} + 2V_{C-C}$$

$$V_{C-C} = \frac{\pi \times (0.9346 \text{ m})^2 \times 0.23365 \text{ m}}{6} = \mathbf{0.1068 \text{ m}^3}$$

$$V_{CIL} = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times H = \mathbf{0.7694 \text{ m}^3}$$

$$VT = (0.7694 \text{ m}^3) + 2(0.1068 \text{ m}^3)$$

$$VT = 0.983 \text{ m}^2$$

Por lo tanto:

$$\text{Volumen del depósito cilíndrico} = 0.7695 \text{ m}^3$$

$$\text{Diámetro del depósito cilíndrico} = 0.9346 \text{ m}$$

$$\text{Altura del depósito cilíndrico} = 1.1216 \text{ m}$$

Tabla 9. *Tanque de decantación del proceso.*

	<p>Nombre: Tanque de decantación del proceso para refinar aceite lubricante.</p>
	<p>Información:</p> <p>Esta construido bajo la norma ASTM con fierro A-36 con alta resistencia mecánica, además esta soportada sobre una estructura construida con perfiles de alta resistencia.</p> <p>Altura: 1.12 m</p> <p>Diámetro = 0.9346 m</p>
<p>Costo Unitario</p>	<p>S/ 7500.00</p>

Destiladora: En este punto se revisa la máquina requerida para la destilación que forma parte fundamental del proceso de refinado del aceite lubricante usado.

Diseño de la columna de destilación batch en vacío

Al sistema se suministran 0.0855 m³ de aceite lubricante por día. La columna de destilación se diseñará tomando en cuenta que el fluido está constituido por agua y aceite lubricante usado, por ello se procesará dicha composición que contiene 85 % de aceite lubricante usado y 15% de agua.

Tabla 10. *Propiedades del aceite lubricante usado.*

Densidad	865 kg/m ³
Calor específico	1798 J/Kg °C
Viscosidad dinámica	0.187 Pa*s
Punto de ebullición	452 °C
Masa molecular	423 g/mol
Presión de Vapor	Pa a °C
Constante de Antoine	300

La columna de destilación será alimentada por un flujo de 0.1 m³, este se compone de 15% de agua. El producto destilado debe salir con una composición promedio de 99,9 %. Por lo tanto, el balance de masa será la siguiente:

$$\ln \frac{H}{1} = \int_{0.95}^x \frac{dx_H}{0.999 - x_H} = -\ln \left(\frac{0.999 - x_H}{0.999 - 0.15} \right)$$

Cálculo del reflujo mínimo

Vamos a utilizar la ecuación de Underwood para calcular el reflujo mínimo incluyendo los elementos presentes en el proceso de destilación. Además, se asumirá un número infinito de etapas en la columna de destilación para que se dé la separación de productos destilados y no destilados.

$$\text{Ecuación de Underwood: } Rm = \frac{L}{D} = \frac{1}{\gamma - 1} \left[\frac{x_{DA}}{x_{fA}} - \gamma \frac{1 - x_{DA}}{1 - x_{fA}} \right]$$

x_{fA} : Fracción molar de la componente A en la etapa de alimentación

x_{DA} : Fracción molar de la componente A en el destilado

La volatilidad se representará por γ_{AB} , cuya variable es el índice de separabilidad de los componentes de la mezcla. Para el cálculo de esta variable se debe determinar la presión del vapor en la parte superior e inferior de la columna.

$$\gamma_{AB} = \frac{P_A^v}{P_B^v}$$

Las presiones parciales de vapor se calcularán a través de la ecuación de Antoine:

$$\text{Log}(P^v) = A - \frac{B}{T + C}$$

Los parámetros A, B y C son propiedades de cada compuesto. La presión del vapor P_v se encuentra en mmHg y la temperatura en Kelvin.

A continuación, se encuentran las temperaturas de la parte superior e inferior de la columna de destilación. El rango de temperaturas establecido se hará teniendo como base las características del agua.

Tabla 11. Valores de temperatura y presión del agua en la parte superior e inferior de la columna de destilación.

Columna de destilación: temperatura y presión del agua		
Parte superior	P(62°C) = P(335 K)	165 mmHg
Parte inferior	P(141°C) = P(414 K)	2790 mmHg

Fuente: Tabla de presiones: Propiedades del agua saturada. Termodinámica Cengel 7th.

Para el aceite lubricante usado, se tienen los siguientes datos

Tabla 12. Valores de temperatura y presión del aceite lubricante usado en la parte superior e inferior de la columna de destilación.

Columna de destilación: temperatura y presión del aceite lubricante		
Parte superior	P1 (47°C) = P (320 K)	4.19 mmHg
Parte inferior	P2 (231°C) = P (504 K)	773 mmHg

Fuente: Tabla de presiones. Termodinámica Cengel 7th.

Se determina la constante A para las temperaturas y presión (1) y (2)

$$\text{Log}(P^v) = A - \frac{B}{T + C}$$

$$A = \text{Log } P_1 + \frac{B}{T_1 + C} = \text{Log } P_2 + \frac{B}{T_2 + C}$$

$$\text{Log} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = B \times \left(\frac{1}{T_2 + C} - \frac{1}{T_1 + C} \right)$$

$$\text{Log} \left(\frac{4.19}{773} \right) = B \times \left(\frac{1}{504K + 300} - \frac{1}{320K + 300} \right)$$

$$B = 6138.79$$

Se calcula A reemplazando los valores de T1 y P1

$$A = \text{Log } P_1 + \frac{B}{T_1 + C}$$

$$A = \text{Log} (4.19) + \frac{6138.79}{320 K + 300}$$

$$A = 10.523$$

En la parte superior de la columna de destilación se encuentra a una temperatura de 47 °C= 320 K y la parte del inferior se encuentra a una temperatura de 231°C=504 K. Con la ecuación de Antoine encontramos la presión del aceite lubricante usado a esas dos temperaturas.

$$\text{Log} (P) = 10.523 - \frac{6138.79}{T_n + 300}$$

Tabla 13. *Temperatura y presión del aceite lubricado en la columna de destilación en la parte superior e inferior.*

Temperatura y presión del aceite lubricado en la columna de destilación		
Parte superior	P(62°C) = P(335 K)	7.171 mmHg
Parte inferior	P(141°C) = P(414 K)	84.18 mmHg

Tabla 14. *Volatilidad relativa en la parte superior e inferior de la columna de destilación.*

Volatilidad relativa en la columna γ		
Parte superior	$\gamma_{superior}$	23.001
Parte inferior	$\gamma_{inferior}$	33.143

A continuación, se calcula la volatilidad relativa de la mezcla

$$\gamma_{superior/inferior} = \sqrt{\gamma_{superior} \times \gamma_{inferior}}$$

$$\gamma_{superior/inferior} = \sqrt{23.001 \times 33.143}$$

$$\gamma_{superior/inferior} = \sqrt{762.32}$$

$$\gamma_{superior/inferior} = 27.61$$

Con el valor de la volatilidad relativa de la composición, se puede lograr el reflujo mínimo. En el proceso de destilación existe dos supuestos casos, esto se da porque va cambiando con el tiempo.

A continuación, se muestra el primer supuesto que se da al inicio de la destilación:

$$R_{min} = \frac{1}{27.610 - 1} \left[\frac{0.999}{0.238} - 27.610 \left(\frac{1 - 0.999}{1 - 0.238} \right) \right] = 0.1563$$

Por último, se muestra el segundo supuesto que se da al final de la destilación:

$$R_{min} = \frac{1}{27.610 - 1} \left[\frac{0.999}{0.0054} - 27.610 \left(\frac{1 - 0.999}{1 - 0.0054} \right) \right] = 6.951$$

Para obtener el reflujo mínimo R_{min} , se calcula la media entre el primer supuesto al inicio de la destilación y el segundo supuesto al final de la destilación

$$R_{min} = \frac{0.1563 + 6.951}{2} = 3.553$$

Número de etapas de la columna de destilación tipo Batch

El número de etapas en la columna de destilación se calculará a través de la ecuación de Frenske

$$N_m = \frac{\ln \left[\frac{\left(\frac{x_{D,RS}}{x_{D,LM}} \right)}{\left(\frac{x_{B,LM}}{x_{B,RS}} \right)} \right]}{Lny}$$

RS: Componente más volátil

LM: Componente menos volátil

D: Concentración en el destilado

B: Concentración en el fondo de la columna

Tabla 15. Concentración del agua y aceite en la mezcla al inicio y al final del proceso de destilación

	Agua (RS)	Aceite lubricado (LM)
X_D	0.95	0.05
X_B	0.93	0.07

$$N_m = 1.666$$

Densidad del vapor

La densidad del vapor se obtiene a través de la ecuación de gases de gases ideales

$$\rho = \frac{P \times PM}{R \times T}$$

P: Presión en el fondo de la columna [mmHg]

PM: Peso molecular de la mezcla [g / mol]

R: Constante universal de los gases ideales [L mmHg / mol K]

T: Temperatura absoluta en el fondo de la columna [K].

El peso molecular PM se calculará a partir de la siguiente ecuación:

$$PM_{mezcla} = x_{agua} \times PM_{agua} + x_{aceite\ lub} \times PM_{aceite\ lub}$$

Tabla 16. Datos de peso molecular y fracción molar del aceite lubricado y agua

	ACEITE LUBRICANTE USADO	AGUA
PM: Peso molecular (gr/mol)	387.6	18.015
X: Fracción molar	0.85	0.15

$$PM_{mezcla} = 0.15 \times 18.015 \frac{gr}{mol} + 0.85 \times 387.6 \frac{gr}{mol}$$

$$PM_{mezcla} = 332.16 \frac{gr}{mol}$$

Se calcula la densidad del vapor con la fórmula de gases ideales

$$\rho_v = \frac{84.18 \times 332.16}{62.364 \times 414} = 1.082 \text{ Kg/m}^3$$

Velocidad del vapor en la columna de destilación

$$V_v = \frac{Fr}{\sqrt{\rho_v}} = \frac{3}{\sqrt{1.082 \text{ Kg/m}^3}}$$

$$V_v = \frac{3}{1.040}$$

$$V_v = 2.88 \text{ m/s}$$

Columna de relleno

La columna de destilación empleará un relleno estructural con el propósito de eliminar algunas impurezas presentes en la composición. En el anexo N° 08 se muestra una tabla de los distintos tipos de rellenos con sus propiedades, el material a escoger para el diseño de la columna de relleno será de tipo plástico con un tamaño de 51 mm, con densidad de 68 Kg/m³, área superficial de 102 m² y un factor de relleno de 82 m⁻¹.

Valor de la altura equivalente del estadio teórico (HETP): Con esta altura se logrará un cambio en la composición de las fases obtenidas

$$HETP = 300 \text{ mm} = 0.3 \text{ m}$$

Altura del relleno y columna de destilación

$$\text{Altura del relleno} = \text{Número de etapas} \times HETP$$

$$\text{Altura del relleno} = 1.666 \times 0.3 \text{ m}$$

$$\text{Altura del relleno} = 0.4998 \text{ m}$$

Así, la altura de la columna de destilación se obtendrá tomando el doble de la altura de relleno, es decir:

$$\text{Altura de la columna de destilación} = 0.4998 \text{ m} \times 2$$

$$\text{Altura de la columna de destilación} = 0.9996 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

Las dimensiones para la columna de destilación:

$$\text{Altura de la columna de destilación} = 0.9996 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro de la columna de destilación} = 190 \text{ mm} = 0.19 \text{ m}$$

$$\text{Área de la columna de destilación} = 0.653 \text{ m}^2$$

Cálculo del calor necesario para evaporar la mezcla

$$\dot{Q} = C\dot{m}_{vapor}\Delta T$$

\dot{Q} : Calor necesario para evaporar la mezcla

\dot{m}_{vapor} : flujo másico del vapor

ΔT : diferencia de temperatura

$$\dot{m} = \rho VA$$

ρ : densidad del vapor

V: velocidad del vapor

A: área de la columna de destilación

$$\dot{m}_{vapor} = 1.082 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 2.88 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.653 \text{ m}^2$$

$$\dot{m}_{vapor} = 2.034 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q} = 1798 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times 2.034 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (141^\circ\text{C} - 62^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q} = 1040086 \text{ kJ/h}$$

El calor necesario para evaporar la mezcla será de 1040086 KJ/h

Diseño del condensador

Se procede a calcular el calor necesario en el condensador teniendo en cuenta el flujo másico del vapor de agua y su entalpía de condensación a la temperatura en la parte superior de la columna, es decir $T=62^\circ\text{C}$.

$$\dot{m}_{vapor} = 2.034 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$h_{condensación @ 62^\circ\text{C}} = 2613.08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_{condensador} = -2613.08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 2.034 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q}_{condensador} = -5315.004 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Cantidad de agua que se necesita en el condensador

Por otra parte, se necesita calcular el flujo másico del agua para realizar la condensación, el cual se determinará a partir de la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{condensador} = Cp\dot{m}_{agua}\Delta T$$

$$\dot{m}_{agua} = \frac{\dot{Q}_{condensador}}{\Delta T \times Cp}$$

$$\dot{m}_{agua} = \frac{5315.004 \frac{kJ}{s}}{(141^{\circ}C - 62^{\circ}C) \times \frac{4182kJ}{kg^{\circ}C}} = 0.016 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{agua} = 0.016 \frac{kg}{s} = 57.915 \frac{kg}{h}$$

Selección de caldera: Para seleccionar este equipo se debe hacer un balance de masa y energía, de tal forma que se conozca el caudal del combustible a usar por la caldera a fin de evaporar el agua líquida. El combustible seleccionado es el **gas natural (GLP)**.

A continuación, se muestra la composición elemental de este combustible:

- **Carbono (C)** = 75.117% p/p
- **Hidrógeno (H)** = 23.323% p/p
- **Nitrógeno (N)** = 1.56% p/p

A continuación, se muestran unas proporciones necesarias para realizar el balance de energía y materia en la caldera:

- Proporción de CO en los gases de combustión: 0.01% p/p
- Proporción de O₂ en los gases de combustión es de: 2.2% p/p
- Las pérdidas de calor por combustión se estiman en un 2% de la potencia que entra con el combustible.

Para calcular el flujo másico del combustible en relación a la eficiencia de la transferencia de calor que se realiza dentro de la caldera, se utilizará la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Q}{HHV \times \dot{m}_{comb}}$$

\dot{m}_{comb} : flujo másico del combustible $\frac{kg}{h}$

HHV: poder calorífico superior $\frac{kJ}{kg}$

η : eficiencia

Q: calor adicionado o quitado kJ/h

Para hornos y calderas industriales que operan con GLP se recomienda una eficiencia de $\eta = 0.6$, una presión de 20 psi para la alimentación del combustible y un exceso de aire del 15%. El poder calórico del gas natural HHV es de $49.480 \frac{kJ}{kg}$. La fracción molar de la alimentación teniendo en cuenta las masas del agua y el aceite lubricante usado, concierne a un total de 332.16 kg-mol). De acuerdo a las condiciones dadas en para la alimentación fría (agua a $T=45^{\circ}C$ y 1 atm) y la alimentación caliente (vapor saturado a $T=100^{\circ}C$ y 1 atm), se calculan las entalpías para cada una, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17. Entalpías de corrientes en la caldera pirotubular

Corriente	T (°C)	P(kPa)	Entalpía [Kj/kgmol]
Agua H_F	45	101.325	-4.846×10^5
Vapor saturado H_C	100	101.325	-3937×10^5

Cálculo de energía que cederá la caldera

El calor que la caldera debe ceder para evaporar el agua a $100^{\circ}C$ con una presión de 1 atm se calcula de la siguiente manera:

$$Q = H_C - H_F$$

$$Q = -4.846 \times 10^5 \frac{kJ}{kgmol} - \left(-3.937 \times 10^5 \frac{kJ}{kgmol} \right)$$

$$Q = -90900 \frac{kJ}{kgmol}$$

$$\dot{Q} = Q \times PM$$

$$\dot{Q} = \left(-90900 \frac{kJ}{kgmol}\right) \left(0.332 \frac{kgmol}{h}\right)$$

$$\dot{Q} = -30178.8 \frac{kJ}{h}$$

Cálculo del combustible necesario para la operación en la caldera

$$\dot{m}_{comb} = \frac{\dot{Q}}{HHV \times \eta}$$

$$\dot{m}_{comb} = \frac{30178.8 \frac{kJ}{h}}{49.480 \frac{kJ}{kg} \times 0.6}$$

$$\dot{m}_{comb} = 1016.53 \frac{kg}{h}$$

Cabe destacar que esta máquina destiladora, tiene funciones que reemplazan a cuatro máquinas, pues cuenta con una columna de destilación, una caldera y la bomba al vacío.

Tabla 18. Destiladora para refinación de aceite lubricante usado.

	<p>Nombre: Máquina destiladora Yangjiang para refinar aceite lubricante usado.</p>
	<p>Información:</p> <p>Dimensión (L*W*H): 8*4*7 m</p> <p>Flujo: 2 t/día</p> <p>Energía (W): 15KW</p> <p>Peso: 10,4 t</p> <p>Recycling rate: 93%-95%</p>
<p>Costo Unitario</p>	<p>S/ 18500.00</p>

Cálculo de las tuberías y la bomba

Diámetro óptimo de la tubería: El diámetro óptimo de la tubería se utilizará para calcular el valor de Reynolds y la caída de presión en la tubería. Este se calculará a partir de la siguiente fórmula (Towler y Sinnott, 2008):

$$di_{\text{óptimo}} = 0.550 \times G^{0.49} \times \rho^{-0.35}$$

G: Flujo másico del aceite lubricante [kg/s]

ρ : densidad del aceite lubricante [kg/m³]

Flujo másico del aceite lubricante, G

$$G = \dot{m}_{\text{aceite,lub}} = \left(8.65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (0.001134 \text{ m}^2) \left(3.96 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

$$G = 3.884 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Diámetro interno óptimo, di

$$di_{\text{óptimo}} = 0.550 \times \left(3.884 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)^{0.49} \times \left(865 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)^{-0.35}$$

$$di_{\text{óptimo}} = 0.100 \text{ m} = 100 \text{ mm}$$

Cálculo del número de Reynolds

$$Re_D = \frac{\left(865 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(3.96 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (0.1 \text{ m})}{0.1877 \text{ Pa} \cdot \text{s}}$$

$$Re_D = 1824.93 ; Re < 2000: \text{flujo laminar}$$

Factor de fricción f

Teniendo los valores de diámetro interno óptimo y número de Reynolds se procede a calcular el factor de fricción o rozamiento f para el acero inoxidable AISI 304.

Diagrama de Moody

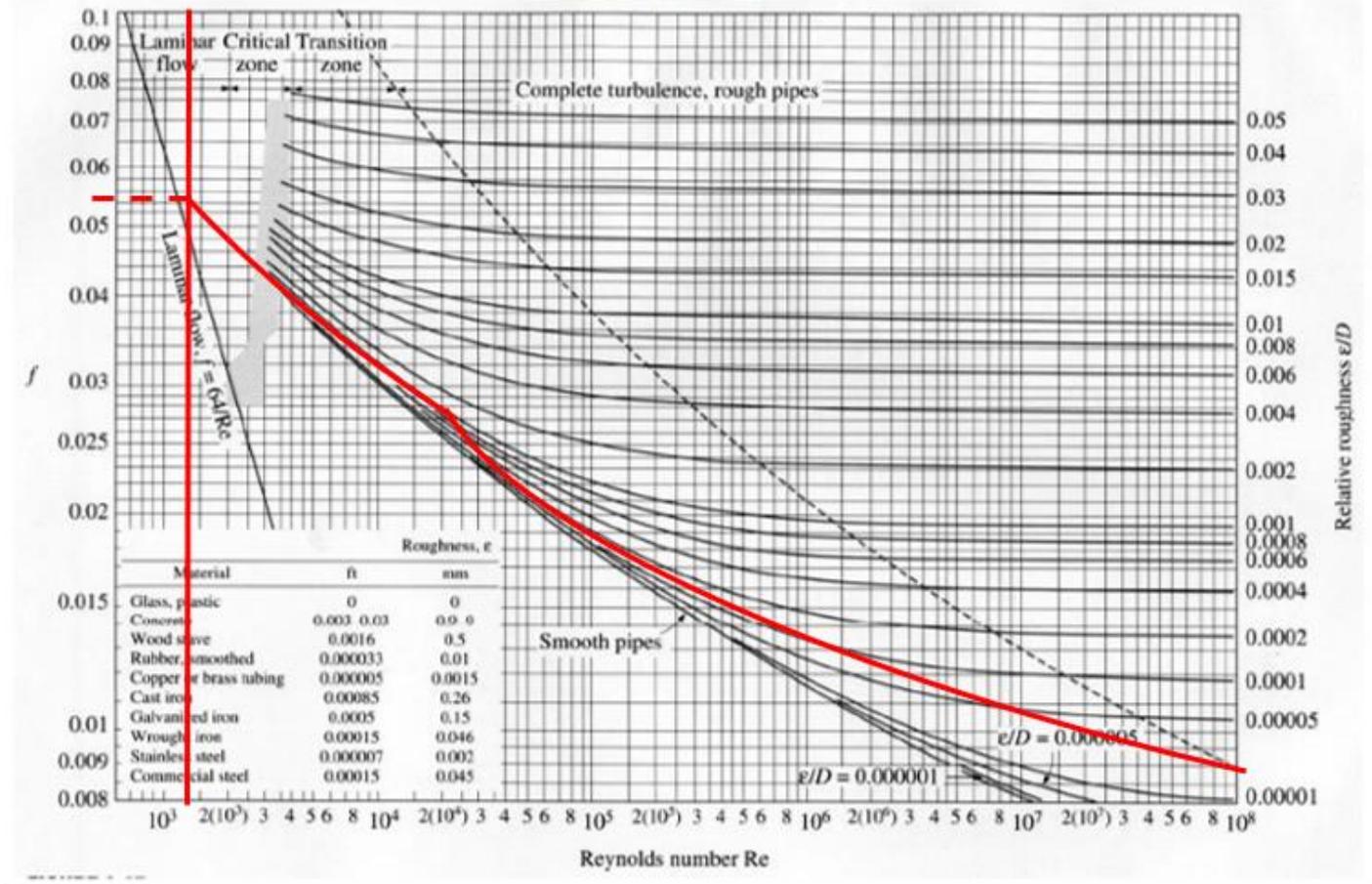


Figura 6. Diagrama de Moody. Cálculo del coeficiente de fricción.

Consideraciones:

$$\epsilon = 0.002 \text{ mm}; D = 100 \text{ mm}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.002 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 0.00002$$

$$Re_D = 1.8 \times 10^3$$

Del diagrama de Moody se ha obtenido un coeficiente de fricción (o factor de rozamiento) de **$f = 0.056$**

A continuación, se calculan las pérdidas por fricción en el tramo de la tubería

$$h_{3,4} = P_{hf} = \frac{4 \times 0.056 \times 0.9 \text{ m}}{0.1 \text{ m}} \times \frac{\left(3.96 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{3_4} = P_{hf} = 1.611 \text{ kPa}$$

Con estos parámetros se procede a calcular la presión de succión normal P_3

$$P_3 = P_s = P + H_s - P_{hf}$$

$$P_3 = 110633.23 \text{ kPa} + 2.4438 \text{ kPa} - 1.611 \text{ kPa}$$

$$P_3 = \mathbf{110634.062 \text{ kPa}}$$

Presión normal de descarga P_4

$$P_4 = P_D = P_{RD} + H_{SD} - P_{hfD}$$

P_{RD} : Presión de diseño del recipiente de destino [kPa]

P_{hfD} : Pérdidas dinámicas en la descarga [kPa]

H_{SD} : Presión estática de descarga [kPa]

Nota: La presión estática de descarga H_{SD} y H_s son aproximadamente iguales, ya que no hay variación en la altura de succión y descarga.

Cálculo de pérdidas dinámicas en la descarga

$$P_{hfD} = \left(4 \times f \times \frac{L + \sum_i L_{eq}}{D} + \sum_j K_j \right) \times \frac{u^2}{2}$$

Se asume factor de fricción $f=0.056$. En la descarga de la bomba, la tubería cuenta con una válvula de compuerta como accesorio. En la siguiente tabla se muestra la pérdida por accesorio de esta válvula, cuyo valor es de $k=0.25$. De igual forma, se encuentra la longitud equivalente de la válvula de compuerta, como se muestra en la siguiente imagen.

Tomando un diámetro de 1 ½ in (38 mm), se halla un valor de $L_{eq} = \mathbf{0.3}$

La velocidad del aceite lubricante a la salida de la bomba se muestra en la siguiente tabla, tomándolo como un fluido poco viscoso. De aquí se obtiene que esta velocidad u_4 toma un valor aproximado de 4.7 m/s.

Tabla 19. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías.

		Velocidad	
Fluido	Tipo de Flujo	R/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0,5 – 1	0,15 0,30
	Entrada de bomba	1 – 3	0,3 - 0,9
	Salida de bomba	4 – 10	1,2 – 4,7
	Línea de conducción	4 – 8	1,2 – 2,4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0,2 – 0,5	0,06 – 0,15
	Salida de bomba	0,5 – 2	0,15 – 0,6
Vapor de agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

$$P_{hfd} = \left(4 \times 0.056 \times \frac{0.9 \text{ m} + 0.3 \text{ m}}{0.1 \text{ m}} + 0.25 \right) \times \frac{\left(4.7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$P_{hfd} = 54.32 \text{ kPa}$$

$$P_4 = P_D = P_{RD} + H_{SD} - P_{hfd}$$

$$P_4 = 111.921 \text{ kPa} + 2.4438 \text{ kPa} - 54.32 \text{ kPa}$$

$$P_4 = \mathbf{168.68 \text{ kPa}}$$

Teniendo estos cálculos, se procede a calcular la altura proporcionada por la bomba H_b

$$H_B = \frac{168.68 \text{ kPa} - 110.634 \text{ kPa}}{865 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{\left(4.7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 - \left(3.96 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} + 55.931 \text{ m}$$

$$H_B = \mathbf{56.32 \text{ m}}$$

Potencia suministrada por la bomba

$$W = \rho g Q H_B$$

$$W = \left(865 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) \left(0.00449064 \frac{m^3}{s}\right) (56.32m)$$

$$W = 2146.13 \text{ W} = 2.146 \text{ kW}$$

Selección de la bomba de vacío

Con la siguiente ecuación se conocerá el volumen a ser evacuado por la bomba de vacío, donde V_a es el volumen del equipo en el cuál se realizará el vacío y F_{PD} es el factor de bombeo.

$$V_e = V_a \times F_{PD}$$

Para hallar el factor de bombeo, es necesario conocer la presión absoluta del equipo al cual se le realizará el vacío, es decir, la columna de destilación.

$$P_{Columna} = P_{atm} + P_{manométrica}$$

$$P_{Columna} = 101400 \text{ Pa} + \left(874.85 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 1m\right)$$

$$P_{Columna} = 109982.27 \text{ Pa} = 109.982 \text{ kPa}$$

Para una presión de 109.982 kPa (817 mmHg), se tiene un **Fpd de 1.5**

A continuación, se calcula V_a que es el volumen del equipo en el cual se realizará el vacío.

$$V_a = \frac{\pi \times D^2 \times h}{4}$$

$$V_a = \frac{\pi \times (0.19 \text{ m})^2 \times 1m}{4}$$

$$V_a = 0.0283 \text{ m}^3$$

Por efecto de los distintos equipos que hay en el proceso de destilación, se asumen que el volumen del equipo debe ser 4 veces mayor, por lo tanto

$$V_a = 0.0283 \text{ m}^3 \times 4$$

$$V_a = \mathbf{0.1134 \text{ m}^3}$$

Se procede a calcular el volumen a ser evacuado por la bomba de vacío:

$$V_e = 0.1134 \text{ m}^3 \times 1.5$$

$$V_e = \mathbf{0.170 \text{ m}^3}$$

Parámetros de bomba

Para la selección de bombas es necesario determinar las dimensiones y el material de las tuberías por las cuales se transportará el fluido. A continuación, se muestra una tabla con las dimensiones estandarizadas para las tuberías en acero inoxidable AISI 304.

Tabla 20. Dimensiones de tuberías en acero inoxidable AISI 304.

DIMENSIONES TUBERIA EN ACERO INOXIDABLE PIPE									
DIAMETRO NOMINAL		DIAMETRO EXTERIOR		CEDULA					
PIPE SIZE		DIAMETERS			5	10	20	30	40
Pulg.	mm.	Pulg.	mm						
Inch.	mm.	Inch.	mm						
1/8	3	0.405	10.3	Espesor Pulg.	0.035	0.049			0.068
				Espesor mm.	0.889	1.2446			1.7272
1/4	6	0.54	13.7	Espesor Pulg.	0.049	0.065			0.088
				Espesor mm.	1.2446	1.651			2.2352
3/8	10	0.675	17.1	Espesor Pulg.	0.049	0.065			0.091
				Espesor mm.	1.2446	1.651			2.3114
1/2	13	0.84	21.3	Espesor Pulg.	0.065	0.083			0.109
				Espesor mm.	1.651	2.1082			2.7686
3/4	19	1.05	26.7	Espesor Pulg.	0.065	0.083			0.113
				Espesor mm.	1.651	2.1082			2.8792
1	25	1.315	33.4	Espesor Pulg.	0.065	0.109			0.133
				Espesor mm.	1.651	2.7686			3.3782
1 1/4	32	1.66	42.2	Espesor Pulg.	0.065	0.109			0.145
				Espesor mm.	1.651	2.7686			3.683
1 1/2	38	1.9	48.3	Espesor Pulg.	0.065	0.109			0.145
				Espesor mm.	1.651	2.7686			3.683
2	51	2.375	60.3	Espesor Pulg.	0.065	0.109			0.154
				Espesor mm.	1.651	2.7686			3.9116
2 1/2	64	2.875	73	Espesor Pulg.	0.083	0.12			0.203
				Espesor mm.	2.108	3.048			5.156
3	76	3.5	88.9	Espesor Pulg.	0.083	0.12			0.216
				Espesor mm.	2.108	3.048			5.466
3 1/2	89	4	101.6	Espesor Pulg.	0.083	0.12			0.226
				Espesor mm.	2.108	3.048			5.740
4	102	4.5	114.3	Espesor Pulg.	0.083	0.12			0.237
				Espesor mm.	2.108	3.048			6.020
4 1/2	114	5	127	Espesor Pulg.					
				Espesor mm.					
5	127	5.563	141	Espesor Pulg.	0.109	0.134	0.203		0.258
				Espesor mm.	2.769	3.404	5.156		6.553
6	152	6.625	168.3	Espesor Pulg.	0.109	0.134	0.203		0.28
				Espesor mm.	2.769	3.404	5.156		7.112
				Espesor Pulg.					

Fuente: Tomado de: <http://www.cedipsa.com.mx/wpcontent/uploads/2017/10/ESPECIFICACIONES-PIPE-ACERO-INOXIDABLE-2.pdf>.

El material seleccionado para las tuberías es el acero inoxidable AISI 304, cuyo diámetro nominal es de 1 ½ in (38 mm)

Caudal volumétrico (Q): el caudal se calculará a partir de la siguiente fórmula, en la que V y A son la velocidad del fluido (agua) y el área de la tubería.

Caudal volumétrico del aceite lubricante

$$Q_{aceite,lub} = V_{aceite,lub} \times A_{tubería}$$

Área de la tubería:

$$A_{tubería} = \pi \times r^2$$

$$A_{tubería} = \pi(19 \text{ mm})^2$$

$$A_{tubería} = 1134.11 \text{ mm}^2 = 0.001134 \text{ m}^2$$

Velocidad del fluido (aceite lubricante)

Consideraciones:

- La velocidad del fluido en el punto 1 es mucho menor que en el punto 2. Dada la relación inversa entre área y velocidad, analizada en la ecuación de continuidad ($A_1V_1 = A_2V_2$), podemos asumir que $V_1 \cong 0$.
- La presión atmosférica en Lima, Perú es de $P_{atm} = 101400 Pa$

Por ecuación de Bernoulli se tiene que:

$$P_{1,abs} = P_{2,abs} + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

$P_{1,abs}$: presión absoluta en el punto 1 [Pa]

$P_{2,abs}$: presión absoluta en el punto 2 [Pa]

ρ : densidad del aceite lubricante $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

v_2 : velocidad del aceite lubricante en el punto 2 $\left[\frac{m}{s}\right]$

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{manométrica}$$

$$P_{1,abs} = 101400 Pa + \left(865 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 1.0881m\right)$$

$$P_{1,abs} = 110633.23 Pa$$

$$P_{2,abs} = 101400 Pa + \left(865 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.2881m\right)$$

$$P_{2,abs} = 103844.71 Pa$$

Despejando la variable v_2 de la ecuación de Bernoulli, tenemos

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(110633.23 Pa - 103844.71 Pa)}{865 \frac{kg}{m^3}}}$$

$$V_{\text{aceite,lub}} = 3.96 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{aceite,lub}} = 3.96 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.001134 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{aceite,lub}} = 0.00449064 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 16166.304 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Cálculo del caudal volumétrico del agua

$$Q_{\text{agua}} = V_{\text{agua}} \times A_{\text{tubería}}$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{\dot{m}_{\text{agua}}}{A_{\text{tubería}} \times \rho_{\text{agua}}}$$

$$A_{\text{tubería}} = \pi \times r^2$$

$$A_{\text{tubería}} = \pi(19 \text{ mm})^2$$

$$A_{\text{tubería}} = 1134.11 \text{ mm}^2 = 0.001134 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{0.016 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{0.001134 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ kg/m}^3} = 0.0141 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = 0.0141 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.001134 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.000016 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 57.6 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Altura proporcionada por la bomba (H_B): para calcular la altura manométrica se hace uso de la ecuación de Bernoulli, que no es más que un balance de energías.

$$H_B = \frac{P_4 - P_3}{\rho} + \frac{v_4^2 - v_3^2}{2} + h_{3-4} + h_{\text{equipos}}$$

- P_4 y P_3 son las presiones a la salida y a la entrada de la bomba respectivamente
- ρ es la densidad del fluido

- v_4 y v_3 son las velocidades a la salida y a la entrada de la bomba respectivamente
- h_{3-4} es la pérdida de carga de la línea
- $h_{equipos}$ es la pérdida de carga de los equipos

Presión normal de succión P3

Para estimar la presión a la entrada de la bomba, se calcula P3, que es la **presión normal de succión** del fluido en la línea que conecta el primer tanque de almacenamiento de aceite lubricante con la bomba, a través de la siguiente formula:

$$P_s = P + H_s - P_{hf}$$

P: Presión del recipiente de succión [kPa]

H_s : Diferencia entre el nivel del fluido en el depósito y la entrada de la bomba [kPa]

P_{hf} : Pérdidas dinámicas en la tubería de succión [kPa]

- Cálculo de H_s

$$H_s \left[\frac{kg}{cm^2} \right] = \rho_r \times \frac{h_s}{10}$$

ρ_r : densidad relativa [adimensional]

h_s : altura de la línea de entrada de la bomba con respecto a la base del tanque

$$H_s \left[\frac{kg}{cm^2} \right] = \frac{865 \frac{kg}{m^3}}{1000 \frac{kg}{m^3}} \times \frac{0.2881 m}{10}$$

$$H_s \left[\frac{kg}{cm^2} \right] = 0.0249 \frac{kg}{cm^2} \times \frac{98.0665 kPa}{1 \frac{kg}{cm^2}}$$

$$H_s \left[\frac{kg}{cm^2} \right] = 2.4438 kPa$$

- Cálculo de P_{hf}

$$\begin{aligned}
 h_{3_4} &= P_{hf} \\
 &= \left(4 \times f \right. \\
 &\quad \times \frac{L + \sum_i L_{eq}}{D} \\
 &\quad \left. + \sum_j K_j \right) \times \frac{u^2}{2}
 \end{aligned}$$

f: factor de fricción

L: longitud de la tubería [m]

L_{eq} : longitudes equivalentes de cada accesorio en la tubería [m]

D: diámetro de la tubería [m]

K_j : coeficiente de resistencia de los accesorios

u: velocidad del fluido en la tubería [m/s]

No se considerarán accesorios en el tramo de la tubería, por lo cual L_{eq} y K_j son cero.

El factor de rozamiento o fricción se determinará a través de diagrama de Moody. Para ello es importante tener en cuenta otros parámetros como la rugosidad (ϵ) de la tubería AISI 304 y el número de Reynolds.

$$\text{Número de Reynolds: } Re_D = \frac{\rho v D}{\mu}$$

ρ : densidad del aceite lubricante [kg/m^3]

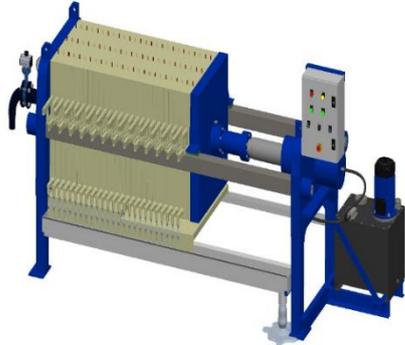
v: velocidad del flujo [m/s]

D: diámetro óptimo de la tubería [m]

μ : viscosidad dinámica [Pa * s]

Filtro de prensa: En este punto se utiliza un Purificador de aceite de vacío para el tratamiento de Aceite Lubricante industrial para eliminar gas, materia particulada y las impurezas de la contaminación de aceite de lubricación.

Tabla 21. *Filtro de prensa o purificador de aceite*

	<p>Nombre: Purificador de aceite de vacío para el Tratamiento de Aceite Lubricante usado</p>
	<p>Información: Dimensión (L*W*H): 8*4*7 m Flujo: 2 t/día Energía (W): 15KW Peso: 10,4 t Recycling rate: 93%-95%</p>
<p>Costo Unitario</p>	<p>\$/ 4000.00</p>

Diseño del sistema de regeneración del aceite lubricante en la unidad minera

Se realizó el diseño completo de las máquinas, tal como quedarían en la empresa minera y su distribución.

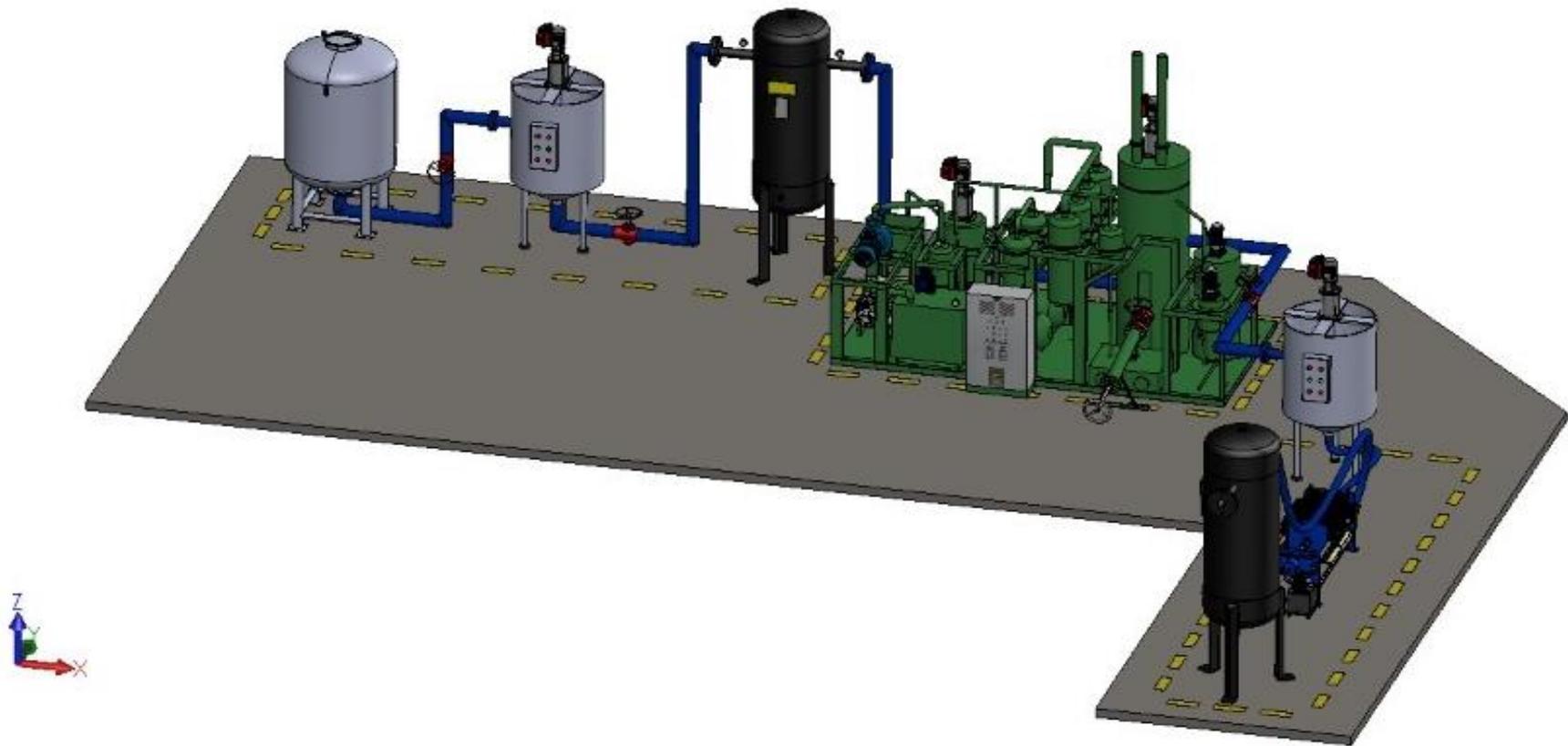


Figura 7. Modelamiento del diseño del Sistema de regeneración del aceite lubricante usado en la empresa minera

4.4. Objetivo Específico 4. Análisis económico de la inversión del sistema de regeneración diseñado

En el análisis económico, se realiza un análisis del beneficio obtenido por la propuesta, luego se desarrolla una evaluación de lo invertido en un flujo económico y se analiza el tiempo de recuperación de dicha inversión; obteniéndose con ello el beneficio económico total de la propuesta de diseño. Para ello, primero se debe tomar en cuenta la necesidad de determinar lo siguiente:

Inversión tangible de la propuesta: En este punto es en el que se revisan los gastos en recursos visibles para el diseño del sistema de regeneración propuesto.

Tabla 22. *Inversión tangible del proceso de regeneración propuesto*

INVERSIÓN TANGIBLE					
Tipo	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Máquinas para el diseño	Tanque de almacenamiento	Unid	1	S/ 3500.00	S/ 3500.00
	Tanque de adición de aceite lubricante	Unid	1	S/ 8500.00	S/ 8500.00
	Tanque de decantación del proceso	Unid	1	S/ 7500.00	S/ 7500.00
	Destiladora para refinación de aceite lubricante usado	Unid	1	S/ 18500.00	S/ 18500.00
	Filtro de prensa o purificador de aceite	Unid	1	S/ 4000.00	S/ 4000.00
Sub Total de Máquinas y equipos					S/ 42000.00
Equipos y otros dispositivos	Bomba	Unid	2	S/ 1 200.00	S/ 2400.00
	Tuberías de acero inoxidable	Metro	80	S/ 80.00	S/ 560.00
	Válvulas de ingreso	Unid	8	S/ 60.00	S/ 480.00
	Otros (Anual)	Unid	2	S/ 1500.00	S/ 3000.00
Sub Total Componentes y dispositivos para proceso					S/ 6440.00
Gastos administrativos	Gastos varios (Anual)	Unid	2	S/ 1500.00	S/ 3000.00
	Oficinas	Unid	1	S/ 4000.00	S/ 4000.00
	Alquiler terreno	Mes	12	S/ 6000.00	S/ 72000.00
	Útiles de oficina	Total	1	S/ 750.00	S/ 750.00
Sub Total Gastos administrativos					S/ 79750.00
INVERSIÓN TOTAL					S/ 128190.00

Inversión intangible de la propuesta: En este punto es en el que se revisan los recursos no visibles para el diseño del sistema de regeneración propuesto.

INVERSIÓN INTANGIBLE					
Tipo	Detalle	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)	
Costos pre operativos	Ingeniero industrial (para el diseño de planta)	1	S/ 7000.00	S/ 7000.00	
	Informe realizado	1	S/ 5000.00	S/ 5000.00	
Sub Total de Costos preoperativos				S/ 12000.00	
Costos operativos	Encargado de planta (Horas trabajadas al año)	416	S/ 70.00	S/ 29120.00	
	Operario de apoyo (Horas trabajadas al año- dos operarios)	1300	S/ 30.00	S/ 39000.00	
	Técnico electricista (Horas trabajadas al año)	260	S/ 40.00	S/ 10400.00	
	Capacitación a operarios de planta	1	S/ 4000.00	S/ 4000.00	
Sub Total Costos operativos				S/ 82520.00	
INVERSIÓN TOTAL				S/ 94520.00	

Resumen de costos/gastos anuales: Se detallan todos los gastos tanto tangibles como intangibles que se realizarán en el periodo de implantación del proceso de regeneración de aceites lubricantes en la planta.

Tabla 23. Resumen de costos y gastos anuales

Gastos realizados	Gasto Mensual	Gasto Anual
Costos operativos	-----	S/ 82520.00
Gastos administrativos	-----	S/ 79750.00
Gastos en tratamiento de residuos	S/ 3500.00	S/ 42,000.00
TOTAL, ANUAL		S/ 204,270.00

Beneficio económico: Se revisan todos los ingresos obtenidos a partir de la propuesta; es decir se hace una traducción de las mejoras en términos monetarios analizándose los costos previos y posteriores a la mejora.

Tabla 24. Resumen del beneficio del diseño de regeneración propuesta

Resumen del beneficio de la propuesta	Beneficio Mensual	Beneficio Anual
Reducción de costos en Adquisición, compra y traslado de combustible (2565 L)	S/ 127737.00	S/ 383211.00
Costos de tratamiento de residuos	S/ 2500.00	S/ 30000.00
TOTAL, ANUAL		S/ 413,211.00

Tabla 25. Análisis económico de la propuesta

Análisis económico de la inversión del sistema de regeneración diseñado				
DETALLE	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Resumen de costos/gastos anuales		S/ 204270.00	S/ 204270.00	S/ 204270.00
Costos operativos		S/ 82520.00	S/ 82520.00	S/ 82520.00
Gastos administrativos		S/ 79750.00	S/ 79750.00	S/ 79750.00
Gastos en tratamiento de residuos		S/ 42,000.00	S/ 42,000.00	S/ 42,000.00
Resumen del beneficio de la propuesta		S/ 413211.00	S/ 413211.00	S/ 413211.00
Reducción de costos en Adquisición, compra y Traslado de combustible (2565 L)		S/ 383211.00	S/ 383211.00	S/ 383211.00
Costos de tratamiento de residuos		S/ 30000.00	S/ 30000.00	S/ 30000.00
Beneficio		S/ 208 941.00	S/ 208 941.00	S/ 208 941.00
Inversión Tangible	S/ 128190.00			
Costos de Máquinas y equipos	S/ 42000.00			
Costos de Componentes y dispositivos	S/ 6440.00			
Gastos administrativos	S/ 79750.00			
Inversión Intangible	S/ 94520.00			
Costos pre-operativos	S/ 12000.00			
Costos operativos	S/ 82520.00			
Imprevistos (3%)	S/ 6681.30			
TOTALES NETOS	-S/ 229391.30	S/ 208 941.00	S/ 208 941.00	S/ 208 941.00

Considerado que el análisis económico realizado tiene como VAN 290 214,04 soles, con un Costo de Oportunidad del capital (COK) de 10% y una TIR de 73.71%. Luego al calcular el ratio costo/ beneficio se obtiene que fue de 2.27. Todo esto se visualiza en la siguiente tabla.

Tabla 26. *Cálculos para Análisis económico*

Cálculo del VAN	S/ 290 214,04
Cálculo de la TIR	73.71%
Cálculo del ratio Beneficio / Costo	2.27

De los resultados analizados es posible deducir que debido a que el B/C > 1; entonces se indica que la propuesta de un diseño del sistema de regeneración de aceites lubricantes en la unidad minera es viable y económicamente rentable.

Por otro lado, si hacemos uso del horizonte de recuperación de la inversión tenemos lo siguiente:

Tabla 27. Análisis del periodo de recuperación (3 años)

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Flujo de caja final	-S/ 229391.30	-S/ 20 450.30	S/ 188 490.70	S/ 397431.70
Periodo de recuperación (en años)			Recuperación inversión	

En base al análisis del periodo de recuperación, se estima que a partir del segundo año se obtiene una recuperación total de la inversión y un beneficio económico.

V. DISCUSIÓN

El análisis químico de laboratorio realizado para determinar si la muestra de aceite lubricante diésel usado de grado 15w40 chevron, tomada de una máquina de la empresa minera, cumple con los parámetros identificados en la literatura revisada, para su regeneración y que han sido considerados para el presente estudio, son: porcentaje de agua, viscosidad, número básico total, índice de contaminación y la cantidad de partículas metálicas. Tales parámetros básicos, son admitidas por las normas ASTM y ANA, al indicar que las propiedades físicas de los aceites lubricantes son: la gravedad específica, la fluorescencia, la viscosidad y la rigidez dieléctrica. Sus propiedades térmicas son el punto de inflamación, de combustión, de fluidez, de floculación y de congelación y enturbiamiento. Y sus propiedades químicas son el contenido de agua, el índice de contaminación, la viscosidad y el número básico total.

Una vez identificado los parámetros normativos de las propiedades físicas y químicas del aceite lubricante usado, se comparó con los parámetros del aceite lubricante nuevo, realizando la revisión de estudios donde se usan parámetros similares, como es el caso de la investigación de Sánchez et al., (2021) quién desarrolló una investigación exhaustiva de las normativas y los indicadores más resaltantes de estas propiedades.

Al analizar los procedimientos para el proceso de regeneración de aceites lubricantes se identificó que, existen cinco procesos que son los más utilizados: Acido/ arcilla, Hidrotratamiento, por extracción con propano líquido, de extracción por disolvente, re-refinación, que es corroborado por Rumiguano (2020). Similar perspectiva la tiene Arner Güerre (2018) quien desarrolló un análisis de procesos como: Acido/ arcilla, de Hidrotratamiento, por extracción con propano líquido, de extracción por disolvente y de re-refinación, señalando que son capaces de realizar la regeneración de los aceites lubricantes minerales, sintéticos o de tipo automotriz.

Como resultado cualitativo de la presente investigación, se determina seis etapas bien definidas para el proceso de regeneración de aceites lubricantes usados:

- 1º. *Se inicia con la recepción del aceite lubricante usado.*
- 2º. *Luego se toma las muestras para verificar si cumplen con los parámetros normativos.*
- 3º. *Se pasa a diseñar el proceso de regeneración seleccionado.*
- 4º. *Mediante la selección de componentes, realizar una selección de factores.*
- 5º. *Posteriormente, desarrollar el proceso de regeneración a aplicar.*
- 6º. *Finalmente, obtener el lubricante deseado apto para su reutilización.*

La construcción de este proceso, corrobora lo que se describe en el artículo de Pinheiro (2018) quien lo resume en tres etapas básicas: Inicio, Etapa 1 y Etapa 2. Además, afirma que el sistema de regeneración consiste en el modelamiento de un tratamiento en el que se recuperan las bases lubricantes con la finalidad de reutilizarlas y de esta manera poder comercializarlas nuevamente. El aceite lubricante usado sigue considerándose un conjunto de hidrocarburos con una serie de agentes contaminante, a los cuales es posible refinar y en base a ello conseguir una base lubricante.

Los diversos procedimientos de regeneración de aceites lubricantes fueron analizados en función del tipo de aceite a regenerar, sus propiedades físicas, la calidad del producto final, el factor ambiental, todo esto mediante una evaluación de análisis de factores; lo cual coincide con la investigación de Sánchez et al., (2021) dónde también se analizaron diversos factores para dar ponderaciones a los procedimientos analizados.

Las características de los aceites utilizados de las máquinas de voladura de la empresa minera están dentro de los rangos de valores identificados en otros estudios y dentro de la normativa de nuestro país. Esto podría ser el resultado de condiciones climáticas similares, la edad de las máquinas y los tipos de aceites consumidos.

Los valores de las propiedades físicas y el contenido en metales de los aceites usados en nuestro país y de los nuevos aceites lubricantes que se emplean en la región debido a las normativas nacionales. Además, presenta los valores típicos y los límites esperados tanto de las propiedades físicas como del contenido en metales reportados en la literatura, así como las tendencias esperadas de cada propiedad o valor en comparación con los aceites nuevos. Se puede observar que, para los aceites usados en nuestro país, la mayoría de los valores están por debajo de los límites aceptados. Además, el contenido de agua está por debajo de los límites reportados y el resto de los resultados (excepto la concentración de algunos metales) están en el rango de valores esperados. Este resultado sugiere que las opciones de re-refinamiento de los aceites usados en nuestro país deberían aprovechar las experiencias de otros lugares que procesan aceites usados con propiedades similares para garantizar las propiedades del aceite regenerado como se requiere para su uso posterior.

VI. CONCLUSIONES

En concordancia a la problemática general y el objetivo principal de esta investigación se tiene como primera conclusión que es posible diseñar un sistema de regeneración de aceites lubricantes para su reutilización en las máquinas de voladura de la empresa minera estudiada, desde un punto de vista técnico, económico y ambiental.

En cuanto a la evaluación de los procedimientos para el proceso de regeneración de aceites lubricantes, primero se realizó una evaluación del tipo de aceite que se analiza de la empresa y las propiedades de este; así como su coincidencia con el tipo de procedimiento, y en segundo lugar se realizó un análisis de factores en los que se tomó en cuenta la naturaleza del aceite lubricante, la calidad del producto final, el factor ambiental, el procedimiento con mayor generación de producto, la cantidad de residuos y el factor económico. Se llegó a concluir que, de los cinco procesos: Acido/ arcilla, de Hidrotratamiento, por extracción con propano líquido, de extracción por disolvente y de re-refinación, el proceso de regeneración por re-refinación es el mejor procedimiento elegible para la empresa minera y se considera el proceso a diseñar.

En la identificación de los parámetros normativos de las propiedades físicas y químicas del aceite lubricante usado, se hizo una comparativa del aceite lubricante nuevo y usado generado por la empresa minera con el aceite lubricante tanto nuevo como usado y sus principales rangos usados en otros estudios; así como se analizó también los límites esperados para poder realizar un proceso de regeneración en un aceite lubricante. Luego de este análisis se logró identificar que, las características de los aceites utilizados de las máquinas de voladura de la empresa minera están dentro de los rangos de valores identificados en otros estudios y dentro de la normativa de nuestro país.

En cuanto al tercer objetivo que se centra en el diseño de un sistema de regeneración de aceites lubricantes usados para su reutilización en máquinas de voladura, se concluye que cada una de las máquinas, dispositivos y equipos a utilizarse en el diseño son capaces de generar un proceso continuo capaz de realizar las actividades de regeneración por re-refinación del aceite lubricante usado de la empresa minera.

Por último, considerando el análisis económico de la inversión del sistema diseñado se identificó que, debido a que gracias a la propuesta se obtienen indicadores económicos tales como un VAN 290 214,04 soles, una TIR de 73.71%, un ratio de costo/ beneficio de 2.27 y una recuperación de la inversión a partir del segundo año, por lo cual fue posible concluir que la propuesta del diseño de regeneración de aceites lubricantes de la minera es también viable económicamente.

VII. RECOMENDACIONES

Luego de realizar la investigación en la empresa y contando con que el desarrollo de la propuesta será posible gracias a diversas mejoras en la misma; se tienen las siguientes recomendaciones a futuras investigaciones y a la empresa en general.

- Se recomienda seguir estudiando otros procesos de generación de aceites lubricantes usados como el proceso de ácido arcilla, dado que en la tabla de selección de procesos tiene un promedio que nos permite tenerlo como una alternativa viable.
- Se recomienda estudiar nuevas tecnologías que involucren sistemas automatizados que permitan optimizar los procesos de regeneración de aceites lubricantes usados.
- Se recomienda reutilizar aquellos aceites que no cumplieron con los parámetros normativos establecidos según análisis del laboratorio, de esta manera poder aplicar la recirculación de este producto y darle otros usos.
- Se recomienda desarrollar investigaciones frecuentes sobre cambios de normativas en cuanto a disposiciones legales de los desechos tóxicos que generan los aceites lubricantes y sus procesos de regeneración para una futura mejora de esta propuesta o para un desarrollo sostenible de la misma.

BIBLIOGRAFIA

Botas, Juan A., y otros. 2017. Recycling of used lubricating oil: Evaluation of environmental and energy performance by LCA. Julio de 2017, pág. 1.

Waseem, S. Khan, y otros. 2022. Reutilizacion de aceites lubricantes. 2022.

Ahmad Jonidi Yafariun, Malek Hassanpurb,. 2015. Analysis and comparison of used lubricants, regenerative technologies in the world. theran : el servier, 2015.

ALLAUCA GUALOTO, WILMER ANDRÉS y CARRILLO VALLEJO, ALEX ISRAEL. 2021. Estudio del lubricante para motores diésel 6 cilindros en línea turboalimentados basado en análisis del aceite en diferentes condiciones geograficas. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Ecuador, Ecuador : 2021.

ARNER GÜERRE, ASUNCIÓN . 2018. La eficiencia de la responsabilidad ampliada del productor en la gestión de aceites usados con diferenciación del producto. Zaragoza : Grupo Decisión Multicriterio de Zaragoza, 2018.

Choque Huisa, Edwin. 2021. Análisis de la vida útil del lubricante SAE 15W40 por falta de información en clientes de la Distribuidora Solar Representaciones SAC del Distrito de Cerro Colorado de Arequipa. Universidad Autónoma San Francisco, Arequipa : 2021.

Chuqui, Marco Vinicio y Romero, Josué Rodrigo. 2017. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE REGENERACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES USADOS EN LA CIUDAD DE CUENCA EMPLEANDO EL PROCESO DE EXTRACCIÓN CON PROPANO. Cuenca : Universidad Politécnica Salesiana, 2017.

Cortés, Adriann y Nielsen, Michael. 2019. Aprovechamiento de aceite lubricante automotriz usado, como nueva línea de negocio en la empresa EMIR S.A E.S.P. Bogotá : [Universidad El Bosque], 2019.

del Valle Córdoba, Julio Marcelo. 2019. SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA ACEITES LUBRICANTES USADOS. Tucumán : Universidad Tecnológica Nacional, 2019.

Fernández Fernández, Leandro, y otros. 2021. Prevalence by health areas of chronic kidney disease in diabetic population of Extremadura during the years 2012, 2013 and 2014. An observational study. España : Nefrología, 2021.

Hernández Sampieri, Roberto, Fernandez Collazos, Carlos y Baptista Lucio,

Pilar. 2014. Metodología de la investigación. Sexta edición. México DF : McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014.

Hinostroza Gonzales, Bryaan Marcial y Coral Rodriguez, Onill Franklin. 2019. Mejora del sistema de gestión de desechos a través de la reutilización de aceites usados de embarcaciones, TASA Chimbote - 2019. Universidad César Vallejo, Chimbote : 2019.

Infantes Roque, Damaris. 2020. Reaprovechamiento de aceite lubricante residual provenientes del área de mantenimiento de la mina en el proceso de voladura de operaciones mineras a tajo abierto. Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2020.

Infantes, Damaris. 2020. REAPROVECHAMIENTO DE ACEITE LUBRICANTE RESIDUAL PROVENIENTE DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO DE LA MINA EN EL PROCESO DE VOLADURA DE OPERACIONES MINERAS A TAJOS ABIERTOS. Arequipa : [UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA], 2020.

Juan A Botas, Jovita Moreno, Juan J. Espada, David P. Serrano, Javier Dufour. 2017. Reciclado de aceite lubricante usado: Evaluación del desempeño ambiental y energético por LCA. [ed.] Avda. Ramón de la Sagra. mostoles : IMDEA, 2017.

Lins, Tomas, y otros. 2021. Recuperación de aceite base a partir de aceite lubricante usado por extracción con solvente polar intensificada por ultrasonido. Brasil : Investigación en Ciencias Ambientales y Contaminación, 2021.

Magdalena Castro, E.M. 2019. Bioestadística aplicada en investigación clínica: conceptos básicos Biostatistics applied in clinical research: basic concepts. s.l. : Revista Médica Clínica Las Condes, 2019.

Nicieza García, María Luisa, y otros. 2022. Antibiotic consumption in primary care in the adult population of Asturias during 2014–2020 period. España : Atención Primaria, 2022.

Ñaupas et al., Humberto. 2018. Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. s.l. : ISBN. 978-958-762-876-0, 2018.

Pablo Octavio, Zakelj. 2019. Recuperación de aceites minerales usados en Tucumán factibilidad técnica económica y beneficios ambientales. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, Tucumán : 2019.

Pinheiro , CT, y otros. 2020. Efecto de los aditivos químicos en la regeneración del aceite lubricante usado. Coimbra : s.n., 2020.

Pinheiro, Carolina T., Quina, Margarida J. y Gando-Ferreira, Licínio M. 2018. Nueva Metodología de Selección de Disolventes para la Regeneración de Aceites Lubricantes Usados Utilizando Criterios de Versidad. s.l. : ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 2018.

Ríos, Roger Ricardo. 2017. Metodología para la investigación y redacción. Málaga-España : Servicios Académicos Intercontinentales S.L., 2017.

Rivero Almanza, Edwin Jean Franco. 2018. Proyectos de reutilización de aceites residuales del parque automotor del cono sur, de Lima Metropolitana, 2017. Universidad Alas Peruanas. Lima : s.n., 2018.

Rumiguano, Cristhian. 2020. REGENERACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES USADOS QUE CUMPLAN LA NORMA NTE - INEN 2030 EN EL ECUADOR, EMPLEANDO EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN CON BUTANOL Y EL MÉTODO ÁCIDO ARCILLA. s.l. : REVISTA RIEMAT, 2020.

Sánchez, C., y otros. 2021. Caracterización del Aceite Lubricante Usado en una Ciudad Mediana de América Latina y Análisis de Opciones para su Regeneración. [ed.] zuiza basilia. loja : MDPI, 2021.

Santos, JCO , y otros. 2018. Reciclaje de aceites lubricantes utilizados en motores gasolina/alcohol. Budapest : Akadémiai Kiadó, 2018.

Tavares Pinheiro, Carolina, J Quina, Margarida y Gando-Ferreira, Licino M. 2018. A new methodology of solvent selection for regeneration of waste lubricant oil using greenness criteria. 2018.

Velasco-Calderon, JC, y otros. 2020. Regeneracion de aceite lubricante usado por extraccion con solvente y analisis de diagramas de fase. México : Elsevier BV <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2020.06.003>, 2020.

ANEXOS. Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables.

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente Sistema de regeneración	Según el artículo de Pinheiro (2018) el sistema de regeneración consiste en el modelamiento de un tratamiento en el que se recuperan las bases lubricantes con la finalidad de reutilizarlas y de esta manera poder comercializarlas nuevamente. El aceite lubricante usado sigue considerándose un conjunto de hidrocarburos con una serie de agentes contaminante, a los cuales es posible refinar y en base a ello conseguir una base lubricante.	Proceso electromecánico orientado al tratamiento del aceite lubricante que usan las máquinas de voladura minera, a fin de lograr su reutilización, previa verificación de sus propiedades físicas, térmicas y químicas y, comprende seis etapas secuenciales: filtración, deshidratación, destilación, mezcla, separación e inmersión de aditivos.	D1. Filtración	<ul style="list-style-type: none"> Retención de partículas sólidas. Separación de un contaminante líquido. 	Nominal
			D2. Deshidratación	<ul style="list-style-type: none"> Cocción del aceite evaporización del agua. 	
			D3. Destilación	<ul style="list-style-type: none"> Cocción del aceite Eliminación del combustible del aceite lubricante. 	
			D4. Mezcla	<ul style="list-style-type: none"> Verter arena arcillosa al aceite lubricante durante. Extracción de la arena arcillosa mediante componentes químicos. 	
			D5. Separación	<ul style="list-style-type: none"> Microfiltración del aceite lubricante. Obtención del aceite base. 	
			D6. Inmersión de aditivos	<ul style="list-style-type: none"> Verter aditivo. Obtención del aceite lubricante refinado. 	
Variable Dependiente Reutilización de aceites lubricantes	Según los artículos de Lins (2021) y Sánchez (2021) es una actividad que permite el reaprovechamiento directo del aceite lubricante que inicialmente se considera un residuo sólido de cualquier proceso o actividad realizada y tiene como objetivo que este elemento, cumpla la función para el que fue elaborado.	Reaprovechamiento del aceite lubricante que inicialmente es un aceite usado de las máquinas de voladura minera, a partir del análisis de los resultados del análisis de laboratorio y el cumplimiento de parámetros.	D1. Análisis de laboratorio.	<ul style="list-style-type: none"> Aplicación de normas de prueba ASTM. Resultados de laboratorio 	Razón
			D2. Determinación de los parámetros del aceite lubricante refinado	<ul style="list-style-type: none"> Índice de viscosidad Porcentaje de agua. Índice de contaminación Número básico. 	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.**Ficha de Observación****Propósito:**

Registrar el consumo de aceite lubricante usado, obtenido de las máquinas de voladura, en forma mensual.

Mes:					
Tipo de máquina	Frecuencia en cambio de aceite	Cantidad de aceite lubricante (Por máquina)	Cantidad de aceite residual	Total, de máquinas	Cantidad total de aceite Lubricante obtenido (Litros)
Scoop					
Dumper					
Comprensora					
Grupos electrógenos					
TOTAL					

Anexo 3.

Ficha de registro para la variable Reutilización de aceites lubricantes

Instrumento de recolección de información del aceite lubricante nuevo y usado tanto del proceso estudiado como de otros artículos e investigaciones presentadas como antecedentes en el trabajo.

Propiedades	Aceites analizados en la empresa		Rangos especificados en otros estudios		Límites esperados	Tendencia considerando aceites nuevos
	Aceite usado	Aceite nuevo	Aceite usado	Aceite nuevo		
Contenido de agua (%v/v)					Entre 0,1 y 4,6	Adecuado/No adecuado
Índice de contaminación					Menor al 5%	
TBN (mg KOH/g)					<2 de diferencia	
Viscosidad 40°C					Menor a 143	
Viscosidad a 100 °C					-	
Contenido de metales (mg/kg)						
Al					<20	
Ba					-	
B					-	
Cd					<2	
Ca					-	
Cu					<30	
Cr					<10	
Sn					<20	
P					-	
Fe					<100	
Mg					-	
Mn					-	
Mo					-	
Ni					<10	
Ag					<3	
Pb					<30	
Si					<20	
Na					<50	
Ti					-	
V					-	
Zn					-	

Anexo 4

Ficha de registro para la variable Sistema de regeneración de aceites lubricantes

Criterio	Valor	Selección del proceso de regeneración							
		PROCESO "Ácido-Arcilla"		PROCESO "Extracción con propano líquido"		PROCESO "Extracción por disolvente"		PROCESO "Re-refinación"	
		Ptje	Prom	Ptje	Prom	Ptje	Prom	Ptje	Prom
Naturaleza	0.1								
Calidad del producto	0.2								
Amigable con el medio ambiente	0.15								
Mayor generación de producto	0.2								
Cantidad de residuos	0.15								
Económico	0.2								
TOTAL	1								

Tipo de máquina	Frecuencia en cambio de aceite	Cantidad de aceite lubricante (Por máquina)	Cantidad de aceite residual	Total de máquinas	Cantidad total de aceite Lubricante obtenido (Litros)
Scoop					
Dumper					
Comprensora					
Grupos electrógenos					
TOTAL					

Anexo 5. Tabla de control de mantenimiento mecánico preventivo de máquinas voladura minera

Análisis Documental

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MAQUINAS DE VOLADURA MINERA			S1	S2	M	S2	S1	L	S1	S2	M	S2	S1	L	S1	S2	M	S2	S1	L	S1	S2	M	S2	S1	L	S1	S2	M	S2	S1	L	S1	S2	M	S2	
Repuestos Mantenimiento Preventivo	Cant	Periodo Horas	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000	5250	5500	5750	6000	6250	6500	6750	7000	7250	7500	7750	8000	8250	8500	
Aceite de motor (THPD 15W40)	44	250																																			
Kit Filtro y orings de aceite de motor	1	250																																			
Filtro separador de agua	1	250																																			
Aceite de retarder (RP MATIC III)	8	250																																			
Grasa	2.5	250																																			
Filtro de dirección	1	500																																			
Cambio de S. hidraulico	5	1000																																			
Filtro de aire primario	2	1000																																			
Filtro de cabina	1	1500																																			
Aceite de caja de cambios (80W90)	20	1500																																			
Aceite de diferenciales (85W-140)	33	1500																																			
Filtro de caja	1	1500																																			
Filtros de diferenciales	2	1500																																			
Filtro secador de aire	1	1500																																			
Filtro de aire secundario	2	2000																																			
Inhibidor de corrosión	40	6000																																			
Filtro de ventilación de carter	1	6000																																			

Anexo 6. Validación de expertos

Experto 1:

VALIDACIÓN DE CONTENIDO DE FICHA DE REGISTRO PARA LA VARIABLE REUTILIZACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES

INSTRUCCIÓN: A continuación, se le hace llegar el instrumento de recolección de datos (Ficha de registro) que permitirá recoger la información en la presente investigación: Sistema de regeneración de aceites lubricantes para su reutilización en máquinas de voladura minera, La Libertad. Por lo que se le solicita que tenga a bien evaluar el instrumento, haciendo, de ser caso, las sugerencias para realizar las correcciones pertinentes. Los criterios de validación de contenido son:

Criterios	Detalle	Calificación
Suficiencia	El elemento pertenece a la dimensión y basta para obtener la medición de esta	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Claridad	El elemento se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Coherencia	El elemento tiene relación lógica con el indicador que está midiendo	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Relevancia	El elemento es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	1: de acuerdo 0: en desacuerdo

Nota. Criterios adaptados de la propuesta de Escobar y Cuervo (2008).

MATRIZ DE VALIDACIÓN DE FICHA DE REGISTRO DE LA VARIABLE REUTILIZACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES

Definición de la variable: Según los artículos de Lins (2021) y Sánchez (2021) consiste en el reaprovechamiento directo del aceite lubricante que inicialmente se considera un residuo de cualquier proceso o actividad realizada y tiene como objetivo que este elemento, el aceite lubricante, cumpla nuevamente la función para el que originalmente fue elaborado.

Dimensión	Indicador	Elemento	Suficiencia	Claridad	Coherencia	Relevancia	Observación

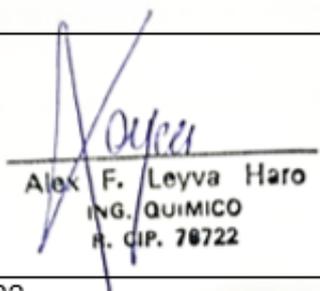
FICHA DE REGISTRO PARA LA VARIABLE REUTILIZACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES

Instrumento de recolección de información del aceite lubricante nuevo y usado tanto del proceso estudiado como de otros artículos e investigaciones presentadas como antecedentes en el trabajo.

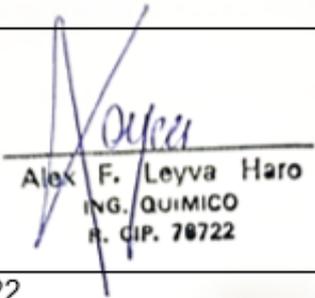
Propiedades	Aceites analizados en la empresa		Rangos especificados en otros estudios		Límites esperados	Tendencia considerando aceites nuevos
	Aceite usado	Aceite nuevo	Aceite usado	Aceite nuevo		
Contenido de agua (%v/v)						
Índice de contaminación						
TBN (mg KOH/g)						
Viscosidad 40°C						
Viscosidad a 100 °C						
Al						
Ba						
B						
Cd						
Ca						
Cu						
Cr						
Sn						
P						

Fe						
Mg						
Mn						
Mo						
Ni						
Ag						
Pb						
Si						
Na						
Ti						
V						
Zn						

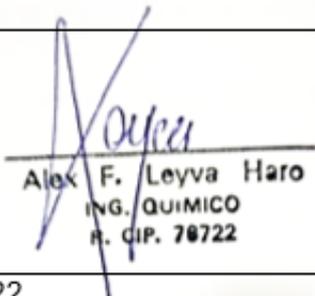
FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Ficha de registro para la reutilización de aceites lubricantes
Objetivo del instrumento	Mediante un análisis previo de laboratorio del aceite lubricante tanto usado como nuevo de las máquinas del proceso de voladura en la minera, se realiza una comparativa, con otras investigaciones y se revisan los límites máximos permitidos en la normativa nacional para establecer si es viable el proceso de regeneración de dicho aceite lubricante usado.
Nombres y apellidos del experto	Alex Felipe Leyva Haro
Documento de identidad	17889668
Años de experiencia en el área	27 años
Máximo Grado Académico	Magister
Nacionalidad	Peruana
Institución	Universidad nacional de Trujillo
Cargo	Docente
Número telefónico	952047153
Firma	 Alex F. Leyva Haro ING. QUIMICO R. QIP. 70722
Fecha	22 /07 / 2022

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Ficha de registro para la reutilización de aceites lubricantes
Objetivo del instrumento	Mediante un análisis previo de laboratorio del aceite lubricante tanto usado como nuevo de las máquinas del proceso de voladura en la minera, se realiza una comparativa, con otras investigaciones y se revisan los límites máximos permitidos en la normativa nacional para establecer si es viable el proceso de regeneración de dicho aceite lubricante usado.
Nombres y apellidos del experto	Alex Felipe Leyva Haro
Documento de identidad	17889668
Años de experiencia en el área	27 años
Máximo Grado Académico	Magister
Nacionalidad	Peruana
Institución	Universidad nacional de Trujillo
Cargo	Docente
Número telefónico	952047153
Firma	 Alex F. Leyva Haro ING. QUIMICO R. CIP. 78722
Fecha	22 /07 / 2022

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Ficha de registro para la reutilización de aceites lubricantes
Objetivo del instrumento	Mediante un análisis previo de laboratorio del aceite lubricante tanto usado como nuevo de las máquinas del proceso de voladura en la minera, se realiza una comparativa, con otras investigaciones y se revisan los límites máximos permitidos en la normativa nacional para establecer si es viable el proceso de regeneración de dicho aceite lubricante usado.
Nombres y apellidos del experto	Alex Felipe Leyva Haro
Documento de identidad	17889668
Años de experiencia en el área	27 años
Máximo Grado Académico	Magister
Nacionalidad	Peruana
Institución	Universidad nacional de Trujillo
Cargo	Docente
Número telefónico	952047153
Firma	 Alex F. Leyva Haro ING. QUIMICO R. DIP. 70722
Fecha	22 /07 / 2022

Experto 2:

VALIDACIÓN DE CONTENIDO DE FICHA DE REGISTRO PARA LA VARIABLE SISTEMA DE REGENERACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES

INSTRUCCIÓN: A continuación, se le hace llegar el instrumento de recolección de datos (Ficha de registro) que permitirá recoger la información en la presente investigación: Sistema de regeneración de aceites lubricantes para su reutilización en máquinas de voladura minera, La Libertad. Por lo que se le solicita que tenga a bien evaluar el instrumento, haciendo, de ser caso, las sugerencias para realizar las correcciones pertinentes. Los criterios de validación de contenido son:

Criterios	Detalle	Calificación
Suficiencia	El elemento pertenece a la dimensión y basta para obtener la medición de esta	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Claridad	El elemento se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Coherencia	El elemento tiene relación lógica con el indicador que está midiendo	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Relevancia	El elemento es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	1: de acuerdo 0: en desacuerdo

Fuente: Criterios adaptados de la propuesta de Escobar y Cuervo (2008).

MATRIZ DE VALIDACIÓN DE FICHA DE REGISTRO DE LA VARIABLE Sistema de regeneración de aceites lubricantes

Definición de la variable: Según el artículo de Pinheiro (2018) el sistema de regeneración consiste en el tratamiento en el que se recuperan las bases lubricantes con la finalidad de reutilizarlas y de esta manera poder comercializarlas nuevamente.

Dimensión	Indicador	Elemento	Suficiencia	Claridad	Coherencia	Relevancia	Observación

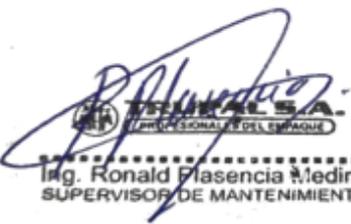
Ficha de registro para la variable Sistema de regeneración de aceites lubricantes

Criterio	Selección del proceso de regeneración								
	Valor	PROCESO O "Ácido- Arcilla"		PROCESO "Extracción con propano líquido"		PROCESO "Extracción por disolvente"		PROCESO O "Re- refinación"	
		Ptje	Prom	Ptje	Prom	Ptje	Prom	Ptje	Prom
Naturaleza									
Calidad del producto									
Amigable con el medio ambiente									
Mayor generación de producto									
Cantidad de residuos									
Económico									
TOTAL									

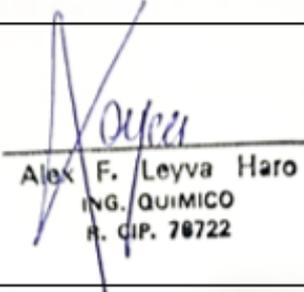
Tipo de máquina	Frecuencia en cambio de aceite	Cantidad de aceite lubricante (Por máquina)	Cantidad de aceite residual	Total de máquinas	Cantidad total de aceite Lubricante obtenido (Litros)
Scoop					
Dumper					
Compresor					

a					
Grupos electrógenos					
	TOTAL				

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Ficha de registro para recolección de datos del aceite lubricante residual y el proceso de regeneración
Objetivo del instrumento	Se desarrollan los análisis de las cantidades de aceite residual obtenido y el proceso a realizar en el sistema de regeneración de aceite lubricante
Nombres y apellidos del experto	Ronald Benjamín Plasencia Medina
Documento de identidad	18858558
Años de experiencia en el área	12 años
Máximo Grado Académico	
Nacionalidad	Peruana
Institución	Planta Papelera Trupal S.A
Cargo	Supervisor de Mantenimiento
Número telefónico	948612337
Firma	  Ing. Ronald Plasencia Medina SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO
Fecha	22 /07 / 2022

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Ficha de registro para recolección de datos del aceite lubricante residual y el proceso de regeneración.
Objetivo del instrumento	Se desarrollan los análisis de las cantidades de aceite residual obtenido y el proceso a realizar en el sistema de regeneración de aceite lubricante
Nombres y apellidos del experto	Alex Felipe Leyva Haro
Documento de identidad	17889668
Años de experiencia en el área	27 años
Máximo Grado Académico	Magister
Nacionalidad	Peruana
Institución	Universidad nacional de Trujillo
Cargo	Docente
Número telefónico	952047153
Firma	 <hr style="width: 100%;"/> Alex F. Leyva Haro ING. QUIMICO N. DIP. 78722
Fecha	22 /07 / 2022

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Ficha de registro para recolección de datos del aceite lubricante residual y el proceso de regeneración
Objetivo del instrumento	Se desarrollan los análisis de las cantidades de aceite residual obtenido y el proceso a realizar en el sistema de regeneración de aceite lubricante
Nombres y apellidos del experto	Edson Julio Atoche Palza
Documento de identidad	46051350
Años de experiencia en el área	7 años
Máximo Grado Académico	
Nacionalidad	Peruana
Institución	Mannucci Diesel S.A.C.
Cargo	Planner de mantenimiento
Número telefónico	942 270 659
Firma	 MANNUCCI DIESEL S.A.C. <i>Ing. Edson José Julio Atoche Palza</i> PLANNER DE MANTENIMIENTO CIP. 196236
Fecha	22 /07 / 2022

Anexo 7. Análisis de laboratorio de aceite lubricante nuevo y usado.

Anexo 7a. Resultados de análisis de laboratorio de aceite usado (Muestra 1)



SGS VERNOLAB - DIAGNOSTICS
MORE THAN OIL ANALYSIS



CONTACTOS

Administración
OGC COMERCIAL
Teléfono: (511)5171900 Ext1371

Técnico
Lic. Jesenia Alvarado

Venta
Karla Carquin .
Teléfono: +51015171900

Resultados Online
<https://sofia.sgs.com>

Contraseña Internet: SY000454

Diagnostico 05/10/2022

JORGE LUIS RODRIGUEZ PEREDA
Mr
URB. INGENIERIA MZ D Lt 14
LA LIBERTAD

5144 LA LIBERTAD
PERÚ

EQUIPO

Nº Registro	02051367/AMOT
Descripción Equipo	SCOPP N°100 / CAT / R1300G / NJB00114
Descripción Componente	MOTOR
Nº flota	TRUJILLO
Ref ID	NJB78003

MUESTRA

Muestra	JA389101
Fecha Muestreo	26/09/2022
Fecha de recepción	05/10/2022
Lubricante	CHEVRON SAE 15W40
Conjunto de ensayos	ELPE+WPI

1. SALUD: Viscosidad dentro del rango de servicio. 2. CONTAMINACIÓN: No hay evidencia de contaminación. 3. DESGASTES: Desgastes normales. 4. RECOMENDACIONES: Continuar con el envío de muestra para monitoreo de resultados.

Evolución

Muestra: JA389101

Fecha Muestreo: 26/09/2022

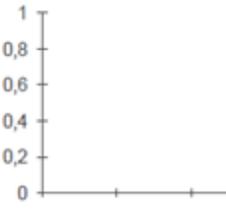
- Contaminación
- Desgaste
- ▲— Lubricante



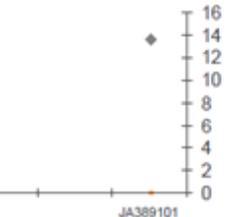
Diagnostico

Correcto

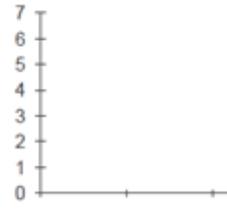
Contenido de agua



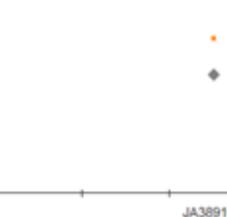
Viscosidad 100°C cSt



Hierro (Fe), ppm



Silicio (Si), ppm



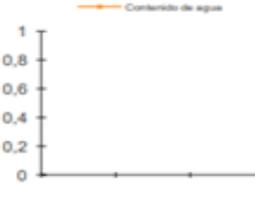
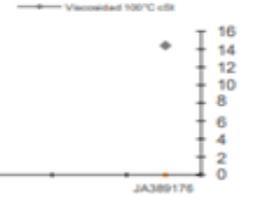
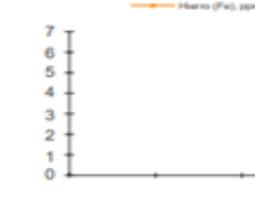
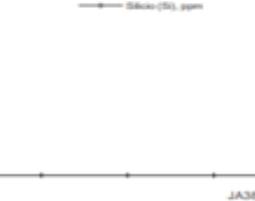
Este documento es emitido por la Compañía bajo las condiciones generales de servicio accesible en <http://www.sgs.com/ver/Terms-and-Conditions.aspx>. Se llama la atención a la limitación de las cuestiones de responsabilidad, indemnización y jurisdicción definidas en el mismo.
Se notifica a todo titular de este documento que la información contenida en adelante refleja los resultados de la Compañía solo en el momento y dentro de los límites de las instrucciones de intervención del Cliente, si los hubiere. La Responsabilidad de la empresa es exclusiva a su cliente y este documento no exime a las partes de una transacción a ejercer todos sus derechos y obligaciones bajo los documentos de la transacción. Cualquier modificación no autorizada, la falsificación del contenido o del aspecto de este documento es ilegal y los infractores pueden ser procesados con todo el peso de la ley.

SGS del Perú S.A.C
Av. Elmer Faucett 3348
Callao 1
Teléfono: 5171900 anexo:1632

RESULTADOS

Orden	1
Muestra	JA389101
Fecha Muestreo	26/09/2022
Fecha de recepción	05/10/2022
Fecha Diagnostico	05/10/2022
Vida del Equipo, Horas	250
Vida del Aceite, Horas	250
Cambio Aceite / Filtro	/ / / / / SI / SI
Rellenado	-
Lubricante	CHEVRON SAE 15W40
Viscosidad 100°C ASTM D7279-18	
Viscosidad 100°C cSt	13.62
Agua ANA-MET-OGC.1	
Agua	NEGATIVO
Spot test ANA-MET-OGC.2	
IC- Índice de contaminación	0.5
Dispersancia	REGULAR
TBN ANA-MET-OGC.3	
TBN mg KOH/g	9.53
Metales por ASTM D5185-18	
Hierro (Fe), ppm	6.0
Cromo (Cr), ppm	0.1
Plomo (Pb), ppm	0.0
Cobre (Cu), ppm	0.3
Estaño (Sn), ppm	0.0
Aluminio (Al), ppm	2.3
Niquel (Ni), ppm	0.1
Plata (Ag), ppm	0.1
Silicio (Si), ppm	4.6
Boro (B), ppm	1.7
Sodio (Na), ppm	4.4
Magnesio (Mg), ppm	15.6
Molibdeno (Mo), ppm	0.2
Titanio (Ti), ppm	0.0
Vanadio (V), ppm	0.0
Manganeso (Mn), ppm	0.2
Potasio (K), ppm	0.6
Cadmio (Cd), ppm	0.1
Fósforo (P), ppm	858
Zinc (Zn), ppm	960
Calcio (Ca), ppm	3450
Bario (Ba), ppm	0.00
FTIR ASTM E2412-10(2018)	
Hollin %	0.00
Oxidación A/0.1 mm	0.025
Nitración A/0.1 mm	0.041
Sulfatación A/0.1 mm	0.024
Hollin A/0.1 mm	0.084
Densidad Ferrosa ASTM D8184-18	
Indice PQ	2

Anexo 7a. Resultados de análisis de laboratorio de aceite usado (Muestra 2)

		SGS VERNOLAB - DIAGNOSTICS MORE THAN OIL ANALYSIS																							
CONTACTOS Administración OGC COMERCIAL Teléfono: (511)5171900 Ext1371 Técnico Lic. Jesenia Alvarado Venta Karla Carquín . Teléfono: +51015171900		JORGE LUIS RODRIGUEZ PEREDA Mr URB. INGENIERIA MZ D Lt 14 LA LIBERTAD 5144 LA LIBERTAD PERÚ																							
Resultados Online https://sofia.sgs.com Contraseña Internet: SY000454		EQUIPO <table border="1"> <tr><td>N° Registro</td><td>02051375/AMOT</td></tr> <tr><td>Descripción Equipo</td><td>SCOPP N°100 / CAT / R1300G / NJB00114</td></tr> <tr><td>Descripción Componente</td><td>MOTOR</td></tr> <tr><td>N° Flota</td><td>TRUJILLO</td></tr> <tr><td>Ref ID</td><td>NJB78003</td></tr> </table>		N° Registro	02051375/AMOT	Descripción Equipo	SCOPP N°100 / CAT / R1300G / NJB00114	Descripción Componente	MOTOR	N° Flota	TRUJILLO	Ref ID	NJB78003	MUESTRA <table border="1"> <tr><td>Muestra</td><td>JA389176</td></tr> <tr><td>Fecha Muestreo</td><td>19/12/2022</td></tr> <tr><td>Fecha de recepción</td><td>17/12/2022</td></tr> <tr><td>Lubricante</td><td>CHEVRON SAE 15W40</td></tr> <tr><td>Conjunto de ensayos</td><td>ELPE+WPI</td></tr> </table>		Muestra	JA389176	Fecha Muestreo	19/12/2022	Fecha de recepción	17/12/2022	Lubricante	CHEVRON SAE 15W40	Conjunto de ensayos	ELPE+WPI
N° Registro	02051375/AMOT																								
Descripción Equipo	SCOPP N°100 / CAT / R1300G / NJB00114																								
Descripción Componente	MOTOR																								
N° Flota	TRUJILLO																								
Ref ID	NJB78003																								
Muestra	JA389176																								
Fecha Muestreo	19/12/2022																								
Fecha de recepción	17/12/2022																								
Lubricante	CHEVRON SAE 15W40																								
Conjunto de ensayos	ELPE+WPI																								
Diagnostico 17/12/2022		1. SALUD: Viscosidad dentro del rango de servicio. 2. CONTAMINACIÓN: No hay evidencia de contaminación. 3. DESGASTES: Desgastes normales. 4. RECOMENDACIONES: Continuar con el envío de muestra para monitoreo de resultados.																							
Evolución		<table border="1"> <tr><td>Muestra</td><td>JA389176</td></tr> <tr><td>Fecha Muestreo</td><td>19/12/2022</td></tr> </table>				Muestra	JA389176	Fecha Muestreo	19/12/2022																
Muestra	JA389176																								
Fecha Muestreo	19/12/2022																								
Contaminación Desgaste Lubricante																									
Diagnostico		Correcto																							
																									
<small>Este documento es emitido por la Compañía bajo las condiciones generales de servicio accesible en http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx. Se llama la atención a la limitación de las cuestiones de responsabilidad, indemnización y jurisdicción definidas en el mismo. Se notifica a todo titular de este documento que la información contenida en adelante refleja los resultados de la Compañía solo en el momento y dentro de los límites de las instrucciones de intervención del Cliente, si los hubiere. La Responsabilidad de la empresa es exclusiva a su cliente y este documento no exime a las partes de una transacción a ejercer todos sus derechos y obligaciones bajo los documentos de la transacción. Cualquier modificación no autorizada, la falsificación del contenido o del aspecto de este documento es ilegal y los infractores pueden ser procesados con todo el peso de la ley.</small>																									
SGS del Perú S.A.C.		Av. Elmer Faucett 3348		Callao 1		Teléfono: 5171900 anexo:1632																			

RESULTADOS

Orden	1
Muestra	JA389176
Fecha Muestreo	19/12/2022
Fecha de recepción	17/12/2022
Fecha Diagnostico	17/12/2022
Vida del Equipo, Horas	250
Vida del Aceite, Horas	250
Cambio Aceite / Filtro	/ / / / / / / /
Rellenado	-
Lubricante	CHEVRON SAE 15W40
Viscosidad 100°C ASTM D7279-18	
Viscosidad 100°C cSt	13.04
Agua ANA-MET-OGC.1	
Agua	NEGATIVO
Spot test ANA-MET-OGC.2	
IC- Índice de contaminación	0.9
Dispersancia	REGULAR
TBN ANA-MET-OGC.3	
TBN mg KOH/g	9.33
Metales por ASTM D5185-18	
Hierro (Fe), ppm	5.9
Cromo (Cr), ppm	0.2
Plomo (Pb), ppm	0.0
Cobre (Cu), ppm	0.2
Estaño (Sn), ppm	0.0
Aluminio (Al), ppm	2.0
Niquel (Ni), ppm	0.1
Plata (Ag), ppm	0.2
Silicio (Si), ppm	3.8
Boro (B), ppm	1.1
Sodio (Na), ppm	4.1
Magnesio (Mg), ppm	14.3
Molibdeno (Mo), ppm	0.2
Titanio (Ti), ppm	0.0
Vanadio (V), ppm	0.0
Manganeso (Mn), ppm	0.3
Potasio (K), ppm	0.2
Cadmio (Cd), ppm	0.1
Fósforo (P), ppm	851
Zinc (Zn), ppm	953
Calcio (Ca), ppm	3438
Bario (Ba), ppm	0.00
FTIR ASTM E2412-10(2018)	
Hollin %	0.00
Oxidación A/0.1 mm	0.021
Nitración A/0.1 mm	0.045
Sulfatación A/0.1 mm	0.029
Hollin A/0.1 mm	0.079
Densidad Ferrosa ASTM D8184-18	
Indice PQ	2

Anexo 7b. Resultados de análisis de laboratorio de aceite nuevo



SGS VERNOLAB - DIAGNOSTICS
MORE THAN OIL ANALYSIS



CONTACTOS

Administración
OGC COMERCIAL
Teléfono: (511)5171900 Ext1371
Técnico
Lic. Jesenia Alvarado
Venta
Karla Carquin .
Teléfono: +51015171900

JORGE LUIS RODRIGUEZ PEREDA
Mr
URB. INGENIERIA MZ D Lt 14
LA LIBERTAD
5144 LA LIBERTAD
PERÚ

Resultados Online

<https://sofia.sgs.com>

Contraseña Internet: SY000454

Diagnostico 12/10/2022

EQUIPO

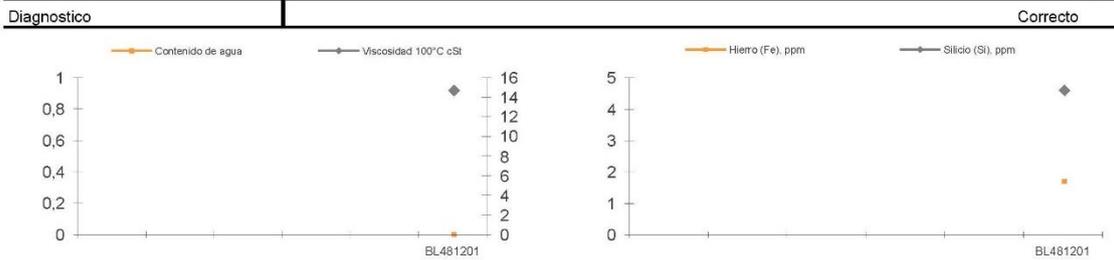
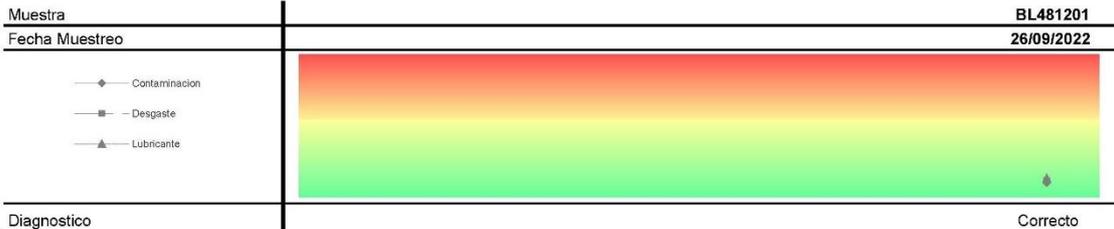
N° Registro 02053778/AMOT
Descripción Equipo ACEITE NUEVO / CHEVRON SAE 15W40
Descripción Componente MOTOR
N° flota TRUJILLO
Ref ID CHEVRON SAE 15W40

MUESTRA

Muestra BL481201
Fecha Muestreo 26/09/2022
Fecha de recepción 12/10/2022
Lubricante CHEVRON SAE 15W40
Conjunto de ensayos OLPE+TBNP+VI+WPI

ACEITE NUEVO // CHEVRON SAE 15W40

Evolución



Este documento es emitido por la Compañía bajo las condiciones generales de servicio accesible en <http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx>. Se llama la atención a la limitación de las cuestiones de responsabilidad, indemnización y jurisdicción definidas en el mismo.
 Se notifica a todo titular de este documento que la información contenida en adelante refleja los resultados de la Compañía solo en el momento y dentro de los límites de las instrucciones de intervención del Cliente, si los hubiere. La Responsabilidad de la empresa es exclusiva a su cliente y este documento no exime a las partes de una transacción a ejercer todos sus derechos y obligaciones bajo los documentos de la transacción. Cualquier modificación no autorizada, la falsificación del contenido o del aspecto de este documento es ilegal y los infractores pueden ser procesados con todo el peso de la ley.

RESULTADOS

Orden	1
Muestra	BL481201
Fecha Muestreo	26/09/2022
Fecha de recepción	12/10/2022
Fecha Diagnostico	12/10/2022
Vida del Equipo, Horas	-
Vida del Aceite, Horas	-
Cambio Aceite / Filtro	/ / / / /
Rellenado	-
Lubricante	SAE 15W40
Viscosidad 40°C ASTM D7279-18	
Viscosidad 40°C cSt	108.9
Viscosidad 100°C ASTM D7279-18	
Viscosidad 100°C cSt	14.69
Agua ANA-MET-OGC.1	
Agua	NEGATIVO
Metales por ASTM D5185-18	
Hierro (Fe), ppm	1.7
Cromo (Cr), ppm	0.0
Plomo (Pb), ppm	0.0
Cobre (Cu), ppm	0.0
Estaño (Sn), ppm	0.0
Aluminio (Al), ppm	1.1
Niquel (Ni), ppm	0.0
Plata (Ag), ppm	0.0
Silicio (Si), ppm	4.6
Boro (B), ppm	2.3
Sodio (Na), ppm	4.4
Magnesio (Mg), ppm	18.7
Molibdeno (Mo), ppm	0.0
Titanio (Ti), ppm	0.0
Vanadio (V), ppm	0.0
Manganeso (Mn), ppm	0.0
Potasio (K), ppm	0.0
Cadmio (Cd), ppm	0.0
Fósforo (P), ppm	776
Zinc (Zn), ppm	895
Calcio (Ca), ppm	3200
Bario (Ba), ppm	0.00
TBN ANA-MET-OGC.3	
TBN mg KOH/g	9.88
Indice Viscosidad /ASTM D2270	
IV	139
Densidad Ferrosa ASTM D8184-18	
Indice PQ	0

Anexo 8. Tabla de propiedades de los materiales de relleno para la columna de destilación.

	Size		Bulk density (kg/m ³)	Surface area <i>a</i> (m ² /m ³)	Packing factor <i>F_p</i> m ⁻¹
	in.	mm			
Raschig rings ceramic	0.50	13	881	368	2100
	1.0	25	673	190	525
	1.5	38	689	128	310
	2.0	51	651	95	210
	3.0	76	561	69	120
Metal (density for carbon steel)	0.5	13	1201	417	980
	1.0	25	625	207	375
	1.5	38	785	141	270
	2.0	51	593	102	190
	3.0	76	400	72	105
Pall rings metal (density for carbon steel)	0.625	16	593	341	230
	1.0	25	481	210	160
	1.25	32	385	128	92
	2.0	51	353	102	66
	3.5	76	273	66	52
Plastics (density for polypropylene)	0.625	16	112	341	320
	1.0	25	88	207	170
	1.5	38	76	128	130
	2.0	51	68	102	82
	3.5	89	64	85	52
Intalox saddles ceramic	0.5	13	737	480	660
	1.0	25	673	253	300
	1.5	38	625	194	170
	2.0	51	609	108	130
	3.0	76	577		72

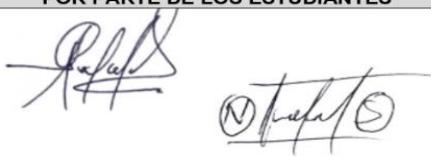
Fuente: Tomado de Diseño de plantas industriales. Tablas y gráficos: Destilación.
MSc. Pedro Ángeles Chero.

Anexo 9. Acta de reunión de experto en lubricantes

		ACTA DE REUNIÓN		N° 001																										
ACTA	1	TEMA	ACTA DE REUNION	D	M	A																								
				22	09	2022																								
LUGAR:		Trujillo																												
HORA:		8:00 pm																												
OBJETIVO		Validar ponderado de selección de proceso de regeneración de aceites lubricantes																												
PARTICIPANTES																														
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ing. Alex Felipe Leyva Haro (Especialista en lubricantes) 2. Alumno. Jorge Luis Rodríguez Pereda 3. Alumno. Jholsin Nilson Sopla Vilchez 																														
DESARROLLO DE LA REUNIÓN																														
<p>La reunión se realizó en presencia del ingeniero químico Alex Felipe Leyva Haro, con CIP 76722 con una especialidad en aceites lubricantes.</p> <p>Se realizó un test de preguntas al experto para validar la tabla de nuestro primer filtro, obteniendo lo siguiente:</p>																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Proceso</th> <th style="width: 15%;">Tipo de aceite</th> <th style="width: 20%;">Propiedades químicas</th> <th style="width: 25%;">Pertinencia DE USO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P. Acido/ arcilla</td> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">SI</td> </tr> <tr> <td>P de Hidrotratamiento</td> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">NO</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td>P. por extracción con propano liquido</td> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">SI</td> </tr> <tr> <td>P. de extracción por disolvente</td> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">SI</td> </tr> <tr> <td>P. de re-refinación</td> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">SI</td> </tr> </tbody> </table>							Proceso	Tipo de aceite	Propiedades químicas	Pertinencia DE USO	P. Acido/ arcilla	SI	SI	SI	P de Hidrotratamiento	SI	NO	NO	P. por extracción con propano liquido	SI	SI	SI	P. de extracción por disolvente	SI	SI	SI	P. de re-refinación	SI	SI	SI
Proceso	Tipo de aceite	Propiedades químicas	Pertinencia DE USO																											
P. Acido/ arcilla	SI	SI	SI																											
P de Hidrotratamiento	SI	NO	NO																											
P. por extracción con propano liquido	SI	SI	SI																											
P. de extracción por disolvente	SI	SI	SI																											
P. de re-refinación	SI	SI	SI																											
<p>¿Por qué a cada proceso de regeneración de aceites lubricantes, según su tipo de aceite y sus propiedades químicas le asignamos un SI y un NO?</p> <p>SI: Porque cualquier proceso de regeneración SI se puede regenerar todo tipo de aceite, sea mineral o sintético entre otros.</p> <p>SI: Porque según propiedades químicas, cada proceso según EPA tiene un índice de contaminación por debajo de lo permisible y que la producción del volumen obtenido es mayor.</p> <p>NO: debido a que este proceso de (HIDROTRATAMIENTO) es mucho más perjudicial para el medio ambiente y demanda de una mayor inversión en su equipamiento y producción.</p>																														

		ACTA DE REUNIÓN	N° 001
Factores por valoración			
Factor	Descripción del factor	Valor	
Por su naturaleza	Los aceites lubricantes usados por su naturaleza, los cuales se clasifican en aceites parafínicos, aceites nafténicos y Aceites aromáticos y dependiendo de eso es más o menos frecuente.	0.1	
Por la calidad del producto	Se considera en este punto el tipo de producto final obtenido y su porcentaje de calidad.	0.20	
Factor ambiental	Se considera la cantidad de contaminantes generados y la afectación de estos en el medio ambiente.	0.15	
Mayor generación de producto	Se considera en este punto la cantidad de producto final obtenido.	0.2	
Cantidad de residuos	Se toman en cuenta la cantidad de residuos generados por el proceso de regeneración evaluado.	0.15	
Económico	Se considera el factor monetario como inversión, beneficio obtenido y gastos anuales requeridos (acorde a planta)	0.2	
Total, valoración			1
<p>Con respecto a los factores por valoración se tomaron en cuenta factores fundamentales para dar una valoración que desde la experiencia y a criterio del experto merecen un valor porcentual, en donde se detalla la descripción de factor para tener un mayor alcance.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. En donde el experto refiere que al primer factor se tome un valor del 10%, tomando en cuenta que los aceites minerales tienen una mayor probabilidad de ser regenerados. 2. En este punto el experto refiere que en estos tipos de procesos de regeneración se obtiene aceites bases de primer refinado y re refinado de buena calidad e incluso igual que cuando fue aceite virgen con una valoración de 20% 3. Refiere a que todo proceso de regeneración contamina en gran y menor magnitud, pero que debe considerar aspectos normativos según EPA y que son fiscalizados por OEFA. Tomando en cuenta un valor del 15% por tener aspectos medio ambientales que son considerables. 4. Desde mi punto de vista este cuarto factor discrepo en el hecho de que no todos los procesos de regeneración producen en volumen considerables, debido a que se tendría que generar mayor demanda de potencia y otros aspectos que impiden tener mayor producción. 5. Refiere que en este quinto punto todos los procesos de regeneración arrojan sus residuos y emiten gases que contaminan la atmosfera, pero considero que desde mi experiencia uno de los procesos de regeneración de aceites lubricantes que emite estos gases en menor cantidad es el proceso de re refinación. Tomando en cuenta un valor del 15% 6. Por último, el experto señala que en el aspecto económico estos procesos tienen considerables ganancias, tomando en cuenta en el primer trimestre del tercer año, considerando un valor del 20% 			

		ACTA DE REUNIÓN						N° 001	
Selección del proceso de regeneración									
Criterio	Valor	PROCESO "Ácido-Arcilla"		PROCESO "Extracción con propano líquido"		PROCESO "Extracción por disolvente"		PROCESO "Re-refinación"	
		Puntaje	Promedio	Puntaje	Promedio	Puntaje	Promedio	Puntaje	Promedio
Naturaleza	0.1	3	0.3	3	0.3	5	0.5	3	0.3
Calidad del producto	0.2	3	0.6	0	1	3	0.6	5	1
Amigable con el medio ambiente	0.15	5	0.75	3	0	3	0.45	5	0.75
Mayor generación de producto	0.2	3	0.6	3	0	3	0.6	5	1
Cantidad de residuos	0.15	3	0.45	3	0	3	0.45	5	0.75
Económico	0.2	5	1	3	0	3	0.6	5	1
TOTAL	1		3.7		1.3		3.2		4.8
<p>Tomando en cuenta los criterios y habiendo analizado cada uno de ellos líneas arriba, se consideró colocar una puntuación a cada proceso.</p> <p>Se considera 0=Bajo, 3=Medio y 5=Alto</p>									

		ACTA DE REUNIÓN						N° 001	
<p><i>Se dio por terminada esta actividad, habiéndose desarrollado los temas contenidos en esta acta y llegando a la conclusión que uno de los procedimientos que mejor se adapta es el proceso de re-refinación</i></p>									
FIRMA DE CONSTANCIA									
POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES					POR PARTE DEL EXPERTO				
					 Alex F. Leyva Haro ING. QUIMICO N. DIP. 70722				

Anexo 10. Autorización de uso de información de la empresa

AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA

Yo Terrones Mudarra Santos Abelardo identificado con DNI 405417303 en mi calidad de gerente general del área de mantenimiento de equipos trackless. con R.U.C N°1040541730 ubicada en la ciudad de Suyubamba s/n pataz

OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor sopla vilchez jholsin nilson - Rodríguez pereda Jorge Luis

Identificado(s) con DNI N° 70045386 - 41864843 de la Carrera profesional de ingeniería mecánica eléctrica, para que utilice la siguiente información de la empresa:

Formatos de mantenimiento.
Consumo de aceites lubricantes mensuales.
Costos de gastos mensuales en lubricantes.

con la finalidad de que pueda desarrollar su Tesis para optar el Título Profesional.

() Publique los resultados de la investigación en el repositorio institucional de la UCV.
(x) Mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa o Mencionar el nombre de la empresa.

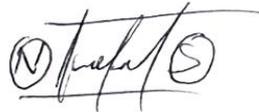


ABELARDO TERRONES MUDARRA
GERENTE GENERAL

Firma y sello del Representante Legal

DNI: 40541730

El Estudiante declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Estudiante será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.



Firma del Estudiante

DNI: 70045386



Firma del Estudiante

DNI: 41864843

