

**DECANATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
FORMATO DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO**

Fecha de entrega: 25-Feb-2020

Estudiante: Jeimmy Carolina Niño Gutierrez

Director: Fredy Manfred Páez Chaparro

Codirector: Adriana Esguerra Arce

El presente documento avala la entrega del trabajo de grado por parte del director y codirector.

Documentos anexos: copia digital del Trabajo de Grado (1).

Firma Director

Firma Codirector

Firma Estudiante

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE
PROCESOS DE RECICLAJE DE ACEITES
INDUSTRIALES DENTRO DE LA EMPRESA CON EL
FIN DE REDUCIR COSTOS DE OPERACIÓN**

Jeimmy Carolina Niño Gutierrez - 2137965

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Decanatura de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2021**

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE PROCESOS DE RECICLAJE DE ACEITES INDUSTRIALES DENTRO DE LA EMPRESA CON EL FIN DE REDUCIR COSTOS DE OPERACIÓN

Jeimmy Carolina Niño Gutierrez - 2137965

Trabajo de grado para optar al título de
Magíster en Ingeniería Industrial

Director
Fredy Manfred Páez Chaparro
Magister en Tecnologías de la Información para el Negocio

Codirectora
Ing. Adriana Esguerra Arce, Dr. Ing.

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Decanatura de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2021**

© Únicamente se puede usar el contenido de las publicaciones para propósitos de información. No se debe copiar, enviar, recortar, transmitir o redistribuir este material para propósitos comerciales sin la autorización de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Cuando se use el material de la Escuela se debe incluir la siguiente nota “Derechos reservados a Escuela Colombiana de Ingeniería” en cualquier copia en un lugar visible. Y el material no se debe notificar sin el permiso de la Escuela.

Publicado en 2020 por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Avenida 13 No 205-59 Bogotá. Colombia
TEL: +57 – 1 668 36 00

Reconocimiento o Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la salud y los medios para poder culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres por ser los pilares principales de mi vida, por apoyarme en cada paso y cada meta propuesta en mi vida y estar siempre ahí para mí.

A mi director por ser un apoyo incondicional, guía y motivador para poder culminar este proceso.

A mi codirectora quien con su dedicación, apoyo y paciencia me ayudó a crecer profesionalmente y culminar este proceso.

A mi novio por sus consejos técnicos.

A mi mejor amiga Marcela Castiblanco por ser un ejemplo y motivación en mi vida.

A todas las demás personas que de una u otra forma apoyaron un poco este proceso y con su apoyo permitieron que llegara hasta aquí.

Resumen

De acuerdo con el Convenio de Basilea, ratificado y adoptado en Colombia mediante la Ley 253 de 1996, los aceites usados de origen automotor e industrial se clasifican como residuos peligrosos. Entre sus posibles componentes peligrosos se encuentran: el plomo, el bario, el magnesio, el níquel, el aluminio, el cobre y los hidrocarburos aromáticos polinucleares, entre otros, los cuales, si se liberan de forma inadecuada, pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el medio ambiente. Por ello, Colombia tiene el reto de dar un manejo adecuado a los aceites usados, garantizando su gestión ambiental con el fin de generar una estrategia nacional dentro del marco legal aplicable.

Como respuesta inmediata a esta problemática, se certificaron por el ministerio de ambiente empresas cuya misión es la recolección, recuperación y disposición adecuada de este residuo, sin embargo, este puede ser reintegrado dentro de los procesos productivos de las empresas generadoras, logrando así un menor impacto ambiental, social y reduciendo costos de operación en la industria colombiana.

En esta propuesta, se evalúan las diferentes metodologías de recuperación de aceites usados a la luz de 5 factores claves identificados mediante una matriz DOFA y un análisis PESTAL, concluyendo que el método de destilación al vacío es el más adecuado para ser implementado.

Realizando la implementación de la propuesta plasmada en el presente trabajo se espera generar un impacto ambiental, social y económico positivo, logrando un desarrollo importante en la industria Colombiana garantizando el desarrollo sostenible e incentivando la economía circular en el país.

Abstract

According to the Basilea Convention, ratified and adopted in Colombia by Law 253 of 1996, used automotive and industrial oils are classified as hazardous waste. Possible hazardous components include: lead, barium, magnesium, nickel, aluminum, copper and polynuclear aromatic hydrocarbons, among others, which, if improperly released, can have immediate or retarded adverse effects in the environment. For this reason, Colombia has the challenge of properly managing used oils, guaranteeing their environmental management in order to generate a national strategy within the applicable legal framework.

As an immediate answer to this problem, companies whose mission is to collect, recover and properly dispose of this waste were certified by the Ministerio de ambiente, however, it can be reintegrated into the production processes of generating companies, thus achieving a lower environmental and social impact and reducing operating costs in the Colombian industry.

In this proposal, the different used oil recovery methodologies are evaluated based on 5 key factors identified through a DOFA matrix and a PESTAL analysis, concluding that the vacuum distillation method is the most appropriate to be implemented.

By implementing the proposal embodied in this work, it is expected to generate a positive environmental, social and economic impact, achieving an important development in the Colombian industry, guaranteeing sustainable development and encouraging the circular economy in the country.

Tabla de contenido

Lista de Figuras

Lista de Tablas

Lista de gráficas

Lista de Ilustraciones

1.1	PROBLEMÁTICA (JUSTIFICACIÓN).....	12
1.2	OBJETIVOS Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.3	ALCANCE Y LIMITACIONES.....	13
1.4	METODOLOGÍA.....	13
2	SITUACIÓN ACTUAL	15
2.1	MARCO TEÓRICO	15
2.1.1	<i>Situación Actual.....</i>	<i>18</i>
3	CAPÍTULO.....	24
3.1	METODOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE ACEITES RESIDUALES	24
3.2	TIPOS DE METODOLOGÍAS DE REPROCESADO	25
3.2.1	<i>DESTILACIÓN AL VACÍO.....</i>	<i>25</i>
3.2.2	<i>ULTRAFILTRACIÓN.....</i>	<i>32</i>
3.2.3	<i>DIÁLISIS Y FILTRACIÓN</i>	<i>38</i>
3.3	TIPOS DE METODOLOGÍAS DE RE-REFINAMIENTO	42
3.3.1	<i>PROCESOS DE DESTILACIÓN AL VACÍO E HIDROGENACIÓN.....</i>	<i>47</i>
3.3.2	<i>PROCESOS DE DESTILACIÓN AL VACÍO Y TRATAMIENTO EN TIERRAS</i>	<i>53</i>
3.4	TIPOS DE METODOLOGÍAS DE COMBUSTION	57
3.4.1	<i>APLICACIÓN DIRECTA COMO COMBUSTIBLE.....</i>	<i>57</i>
3.4.2	<i>APLICACIÓN COMO COMBUSTIBLE DESPUÉS DE UN LEVE TRATAMIENTO</i>	<i>59</i>
3.5	EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS	60
4	CAPÍTULO.....	64
4.1.1	<i>PROPIEDADES RESULTANTES DEL ACEITE RECUPERADO.....</i>	<i>64</i>
5	CAPÍTULO.....	66
5.1.1	<i>NORMATIVIDAD A CUMPLIR PARA A RECUPERACION DE ACEITE</i>	<i>66</i>
6	CAPÍTULO.....	67
6.1	IMPACTO ECONÓMICO, AMBIENTAL Y SOCIAL.....	67
6.1.1	IMPACTO ECONÓMICO DEL USO DEL ACEITE RECUPERADO	67
6.1.2	<i>EVALUACIÓN FINANCIERA.....</i>	<i>68</i>
6.2	IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DEL ACEITE RECUPERADO	68
6.3	IMPACTO SOCIAL DEL USO DEL ACEITE RECUPERADO	69
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
7.1	CONCLUSIONES.....	71

BIBLIOGRAFÍA.....	72
ABREVIACIONES.....	75
APÉNDICES.....	77

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Membrana de ultrafiltración tubular	32
Ilustración 2 Membrana tubular	33
<i>Ilustración 3</i> Membrana MBR	34
Ilustración 4 Ultrafiltración tangencial cerámica	35
Ilustración 5 planta de tratamiento WTC 5000 UF	36
Ilustración 6 Dializador ILM1B30BV1C2F5-110	39
Ilustración 7 Tierras Fuller	42
Ilustración 8 Flujo de proceso tratamiento acido/tierras.....	44
Ilustración 9 Destilador al vacío	50

Lista de Tablas

Tabla 1 Composición media de aceites base.....	16
Tabla 2 Características típicas de los aceites usados en Colombia.	17
<i>Tabla 3</i> Equivalencias entre corrientes <i>Y y A</i>	21
<i>Tabla 4</i> <i>DOFA</i>	22
Tabla 5 Costo de implementación destilación al vacío	28
Tabla 6 Costo de implementación proceso de tratamiento en acido / tierras.....	44
<i>Tabla 7</i> <i>Residuos generados durante el proceso</i>	45
<i>Tabla 8</i> <i>Resultados de la base lubricante obtenida por tratamiento de ácido/tierras</i>	47
Tabla 9 Resumen de tecnologías. Posibilidad de reciclaje y aprovechamiento de los aceites usados.	49
Tabla 10 propiedades del aceite desasfaltado	52
Tabla 11 Costo de proceso de destilación al vacío y tratamiento en tierras.....	55
Tabla 12 Costo de uso de aceite directamente como combustible.....	58
Tabla 13 Costo de uso de aceite como combustible después de un leve tratamiento	60
Tabla 14 Evaluación de metodologías.	63
Tabla 15 Características del aceite lubricante virgen y el aceite lubricante re-refinado	65
Tabla 16 Normatividad	66
Tabla 17 Equipos destilación al vacío	67

Lista de Gráficas

<i>Gráfica 1</i> Generación de residuos peligrosos en Colombia 2012-2016 (Toneladas).....	19
<i>Gráfica 2</i> Municipios de mayor generación de residuos peligrosos 2016 (Toneladas).....	19
<i>Gráfica 3</i> Producción de RESPEL por establecimiento - departamento 2016.....	20
<i>Gráfica 4</i> Principales corrientes de residuos peligrosos.	21

Lista de Figuras

<i>Figura 1</i> Generadores de residuos peligrosos – Categorías.	20
<i>Figura 2</i> Resultado PESTAL Corporativo	23
<i>Figura 3.</i> Técnicas	24
<i>Figura 4</i> Clasificación de acuerdo a la cantidad de generación de aceite usado.	27

Introducción

1.1 Problemática (Justificación).

En los últimos años en Colombia, específicamente en Bogotá, a través del DEPARTAMENTO TECNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE – DAMA y por medio de la resolución 1188 de 2003, por la cual se adopta el manual de normas y procedimientos para la gestión de aceites usados en el Distrito Capital, se busca generar que los sectores privado y público adopten medidas para la adecuada disposición, reutilización o tratamiento de los aceites usados. Debido a esto, Colombia cuenta con varias empresas autorizadas para hacer el acopio de aceites industriales, recuperarlo y/o comercializarlo para usos posteriores.

Con el fin de reducir costos operacionales, con este trabajo se realizará una propuesta económica para evaluar la viabilidad de la implementación de procesos de recuperación de aceites en una empresa en general. Para ello, se propone establecer cuál sería el impacto económico de la implementación del proceso de recuperación de aceites para reintegrarlos al proceso productivo. Esto se hará a través de la evaluación de las diferentes propuestas técnicas desde el punto de vista económico que pueden ser implementadas; la definición de las condiciones a cumplir por parte de la empresa con el fin de acatar la normatividad vigente; la definición de las propiedades del aceite recuperado y propuesta de posibles aplicaciones; y el establecimiento del impacto ambiental y social que esto podría traer para el país.

Se espera, a largo plazo, que las empresas colombianas, dependiendo de los resultados del estudio económico, implementen este modelo en sus procesos productivos, observando una disminución de costos operacionales, así como la disminución del impacto ambiental de sus procesos de manufactura, contribuyendo así con los objetivos de desarrollo sostenible de la Organización de las naciones unidas (ONU).

1.2 Objetivos y Pregunta de Investigación

Objetivo General:

Definir una propuesta económica que busque mitigar el impacto ambiental generado por el uso de aceites en la industria a través del tratamiento y reutilización de aceites industriales forjando a su vez una ventaja competitiva en el sector industrial.

Objetivos específicos:

- Definir las condiciones a alcanzar por el sector industrial con el fin de cumplir con la normatividad vigente para el tratamiento de aceites usados.

- Definir una metodología genérica para eliminar partículas presentes en el aceite usado, hasta certificar el código ISO 4406/99 recomendado para el tipo de mecanismo lubricante, dejándolo en condiciones similares a las del aceite nuevo.
- Establecer el impacto económico del tratamiento de aceite usado para una empresa en general.
- Establecer el impacto ambiente ambiental y social que puede llegar a generar la propuesta en Colombia.
- Plantear las políticas organizacionales necesarias para la implementación del proceso de reciclaje de aceites dentro de la función operativa de una empresa.

1.3 Alcance y Limitaciones

Entregar una propuesta que pueda ser implementada de manera genérica en las pequeñas, medianas y grandes empresas del sector industrial que consuman aceite al interior de sus procesos productivos, contribuyendo al desarrollo sostenible en Colombia.

1.4 Metodología

Fase 1: Diagnóstico

Identificación de las condiciones operativas y las características del aceite usado (esta información se obtuvo del análisis de procesos industriales en el sector textil. Así mismo, se evaluó el estado del tratamiento de aceites usados a nivel industrial).

Fase 2: Estructuración

Evaluación de diferentes metodologías de reciclaje de aceites, teniendo en cuenta trabajos de investigación previos y experiencias de la industria, y selección de un método como propuesta a ser implementada.

Fase 3: Evaluación de impacto

Evaluación del impacto a nivel ambiental, económico y social dentro del sector industrial de la implementación del proceso de reciclaje de aceites.

Fase 4: Normatividad

Revisión de normatividad vigente aplicable para la implementación del proceso de reciclaje de aceites dentro de la función operativa de una empresa.

2 Situación actual

2.1 Marco teórico

2.1.1 ACEITES INDUSTRIALES

El aceite lubricante es una sustancia cuya finalidad es disminuir la fricción y posterior desgaste entre dos piezas móviles, este no se degrada, y forma asimismo una capa que impide su contacto, permitiendo su movimiento incluso a elevadas temperaturas y presiones.

2.1.2 TIPOS DE ACEITE

Los distintos tipos de aceites lubricantes que actualmente se usan en la industria para lubricar maquinaria y herramientas son en su gran mayoría de origen mineral y son extraídos del petróleo, pero existen otros tipos de aceites lubricantes como animal y vegetal. Estos aceites tienen un poder de lubricación más alto, sin embargo, tienen muy poca estabilidad, por lo que se oxidan muy rápido y se descomponen fácilmente produciendo sustancias ácidas que atacan las superficies metálicas de la maquinaria y herramientas. Por esta razón, en la lubricación de equipos de trabajo profesional se emplean, preferentemente, aceites minerales.

Los aceites lubricantes están compuestos esencialmente por una base y aditivos. Las bases determinan características del aceite, como la viscosidad, su resistencia a la oxidación, y el punto de fluidez. Estas características determinan los tipos de lubricantes en sus distintas formas de presentación: líquidos, gases, sólidos y semisólidos. Los tipos de aceites lubricantes más empleados en la industria para máquinas y herramientas son los líquidos y los gaseosos con aplicación en spray. Las bases son en sí minerales derivados del petróleo o bases sintéticas (químicas) (reliabilityweb, 2019).

Los aceites lubricantes líquidos son aceites multiusos y están divididos en cuatro subgrupos:

1. Aceites minerales: obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo.
2. Aceites vegetales y animales: obtenidos del lino, algodón, colza, oliva, de tocino, de pezuña de buey, glicerina, etc.
3. Aceites compuestos: mezcla de los dos anteriores.
4. Aceites sintéticos: compuestos por sustancias líquidas lubricantes obtenidas por procedimientos químicos.

Entre estos tipos de aceites lubricantes líquidos, merecen especial atención los aceites minerales, por ser los aceites lubricantes más empleados. Estos son obtenidos por la destilación del petróleo bruto, de la cual se originan también otros productos (gasolina,

petróleo, *gas oil*, etc.). Después de que estos aceites han sido destilados, son tratados para purificarlos y mejorar sus propiedades básicas con aditivos.

2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS LUBRICANTES INDUSTRIALES

El petróleo en su estado natural es una mezcla de compuestos orgánicos de estructura variada y de pesos moleculares diferentes, en general, es posible agrupar los constituyentes del petróleo en cuatro grupos orgánicos: a) saturados, b) aromáticos, c) resinas y d) asfaltenos; este conjunto es conocido como SARA (Delgado, 2006).

El aceite lubricante está hecho de una composición de fluido base que proviene del crudo de petróleo en un 85% a 95%, siendo el compuesto que permite lubricar las piezas móviles del motor de vehículos, evitando así que acumulen calor.

Los aceites lubricantes líquidos son el resultado de una combinación de “aceites base”, que proveen las características lubricantes primarias y aditivos utilizados para aumentar su rendimiento, eficiencia y vida útil (Mesa, 2019).

Los aceites base están compuestos entre un 75% y 85% por hidrocarburos. Pueden ser de tipo mineral cuando se obtienen del petróleo, a partir del proceso de refinación, o sintéticos si proceden de procesos de síntesis química. La mezcla de aceites sintéticos y minerales da lugar a los aceites base semisintéticos. En la tabla 1 se muestra la composición media de hidrocarburos presentes en los aceites bases.

Tabla 1 Composición media de aceites base

TIPO DE SUSTANCIA	HIDROCARBURO	COMPOSICIÓN
Parafinas	Alcanos	45-76%
Naftenos	Ciclo alcanos	13-45%
Aromáticos	Aromáticos	10-30%

Fuente: Martín Pantoja, José Luis. Tesis: La gestión de los aceites usados – Escuela de Negocios, España, 2008

Los lubricantes son de vital importancia para las maquinarias industriales, ya que los motores y las piezas mecánicas a nivel industrial reducirían su vida útil con mucha más rapidez de no ser por la acción de los lubricantes para evitar o disminuir la fricción entre las mismas. En el sector industrial los lubricantes son utilizados en un gran número de máquinas, sobre todo en aquellas donde hay piezas móviles, en cuyo caso su aplicación es mucho más vital, como respuesta a una serie de objetivos que permiten que la fabricación de piezas y el funcionamiento de maquinarias sea lo más óptimo posible.

En primer, lugar permiten reducir la fricción entre las partes metálicas de una pieza, motor y/o maquinaria, creando una capa o película separadora cuya función es la de evitar que las piezas se pulan entre ellas, evitando así el desgaste; en segundo lugar, los lubricantes cumplen con el objetivo de refrigerar efectivamente las piezas metálicas, ya que tienen la capacidad de absorber el calor que se produce durante el funcionamiento de las maquinarias y, en tercer lugar, los lubricantes en la industria de maquinarias previenen la formulación de depósitos, de partículas, lo que les permite mantenerlas en suspensión (Esgraf, 2020).

Es precisamente por esto que, durante su utilización, estos lubricantes se degradan originando sustancias tóxicas peligrosas para la salud y el medio ambiente. El aceite usado se genera de forma muy dispersa en el territorio y en actividades empresariales muy heterogéneas, desde talleres de vehículos e instalaciones industriales, hasta cooperativas agrarias, parques eólicos, campos de golf, autoescuelas, recintos militares, etc. Como resultado de este proceso los aceites lubricantes disminuyen sus principales características. Las características promedio de los aceites lubricantes usados en Colombia se detallan en la tabla 2.

Tabla 2 Características típicas de los aceites usados en Colombia.

CARACTERÍSTICA	AUTOMOTRIZ	INDUSTRIAL
Viscosidad a 40°C, SSU ¹	97 - 120	143 - 330
Gravedad a 15.6°C, °API ²	19 - 22	25,7 - 26,2
Peso específico a 15.6°C	0,9396 - 0,8692	0,9002 - 0,8972
Agua (% en volumen)	2 – 33,8	0,1 – 4,6
Insolubles en benceno, % peso	0,1 - 4,2	0,0
Solubles en gasolina, % vol.	0,56 – 33,3	0,0
Punto de ignición, °C	78 - 220	157 – 179
Potencia calorífica, MJ/kg ³	31,560 – 44,880	40,12– 41,840

Fuente: Unidad de Política Minero Energética -UPME, octubre de 2001. Resumen ejecutivo.

¹ Viscosidad Universal Saybolt (SSU), representa el tiempo en segundos para que un flujo de 60 centímetros cúbicos salga de un recipiente tubular por medio de un orificio.

² American Petroleum Institute (API), es una medida de densidad que, en comparación con el agua a temperaturas iguales, precisa cuán pesado o liviano es el petróleo.

³ Megajoules por KILOGRAMO (Mg/Kg), Sistema Internacional para energía y trabajo.

El impacto ambiental generado por los aceites usados en el agua es alto, produciendo una película impermeable que puede asfixiar a los seres vivos que allí habitan. La contaminación es tan severa, que un litro de aceite usado puede contaminar un millón de litros de agua (Iagua, 2014).

En el aire, si el aceite usado se quema, origina importantes problemas de contaminación por la emisión de gases tóxicos, debido a la presencia en este aceite de compuestos de plomo, cloro, fósforo, azufre, etc.

En la tierra el vertido del aceite usado puede perjudicar tanto el suelo como las aguas superficiales y subterráneas, afectando gravemente a la fertilidad del suelo al alterar su actividad biológica y química.

2.1.1 Situación Actual

En el presente capítulo se pretende dar a conocer las principales generalidades del aceite usado y por qué el implementar un método de recuperación de aceite usado en las empresas es de vital importancia.

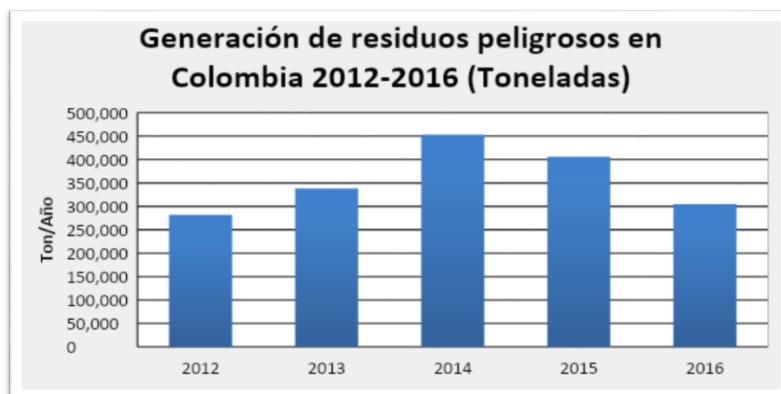
DISPOSICIÓN FINAL DE LOS ACEITES INDUSTRIALES

Como en la mayoría de los países en desarrollo, la atención en Colombia a la problemática vinculada con los desechos peligrosos ha sido lenta. Aunque los desechos peligrosos resultan de actividades diversas, como domésticas, industriales, comerciales, institucionales y de servicios, es en las principales actividades productivas que fortalecen la economía del país donde se generan en mayor cantidad, especialmente en los grandes centros urbanos, los cuales, si no cuentan con un adecuado manejo, pueden comprometer negativamente el ambiente en que vivimos y, por ende, nuestra calidad de vida. Este es el caso de los aceites usados.

Según cifras presentadas en informe nacional de residuos o desechos peligrosos en Colombia para 2016 presentado por el IDEAM, de las 100.106 empresas industriales registradas en Bogotá hay reportados 13.033 generadores en el Registro de Generadores de Residuos Peligrosos. En el año 2016 fueron generadas 305.216,2 toneladas de residuos peligrosos, de los cuales han sido almacenadas 388 toneladas; aprovechadas por terceros, 48.230 toneladas; tratados externamente, 135.486 toneladas; y 121.112 toneladas han sido gestionadas por disposición final, generalmente en celdas de seguridad de rellenos sanitarios (IDEAM, 2016).

Como se observa en la gráfica 1, aunque la generación de residuos sólidos en 2016 fue alta, ha sido la menor desde el año 2013, disminuyendo con respecto al 2015 en 100.862 toneladas, que equivalen a un 25% menos. Este descenso en la producción de residuos peligrosos, en adelante RESPEL, se relaciona con la disminución de la producción de residuos relacionados con la producción de petróleo crudo y gas natural.

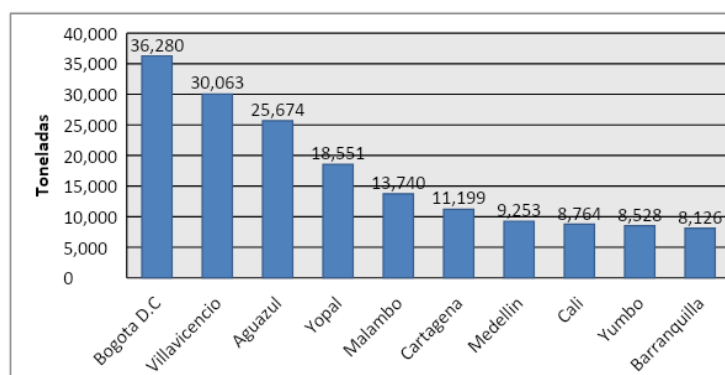
Gráfica 1 Generación de residuos peligrosos en Colombia 2012-2016 (Toneladas)



Fuente: IDEAM, Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia, 2016. Bogotá, D.C., 2016. 128 páginas. (IDEAM, 2016).

Esta generación puede estar asociada, a su vez, a los departamentos donde existe mayor nivel de desarrollo empresarial e industrial y, así mismo, en donde se genera el mayor PIB del país; según el DANE, en el año 2016, Bogotá D.C fue la economía con mayor participación en el PIB nacional, con 25,7%, seguida de Antioquia, con 13,9%; Valle del Cauca, con 9,7%; Santander, con 7,7% y Cundinamarca, con 5,3%. De estos cinco departamentos, tres de ellos hacen parte de los que reportan la mayor generación RESPEL del país (Bogotá D.C, Valle del cauca y Antioquia). En la gráfica 2 se pueden observar las 10 ciudades con mayor generación de RESPEL en Colombia (IDEAM, 2016).

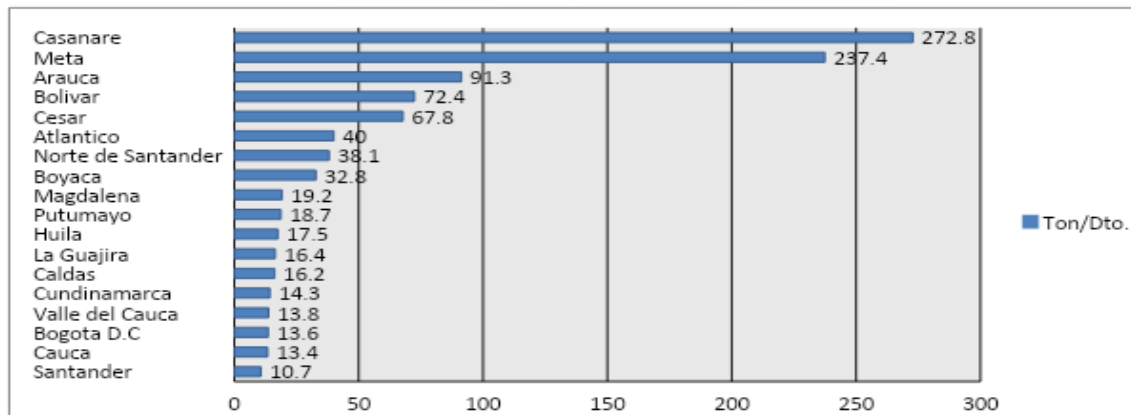
Gráfica 2 Municipios de mayor generación de residuos peligrosos 2016 (Toneladas)



Fuente: IDEAM, Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia, 2016. Bogotá, D.C., 2016. 128 páginas. (IDEAM, 2016).

En la gráfica 3 se presenta la distribución promedio de generación de residuos peligrosos por departamento, de acuerdo al número de generadores en el Registro de Generadores de Residuos Peligrosos por cada departamento.

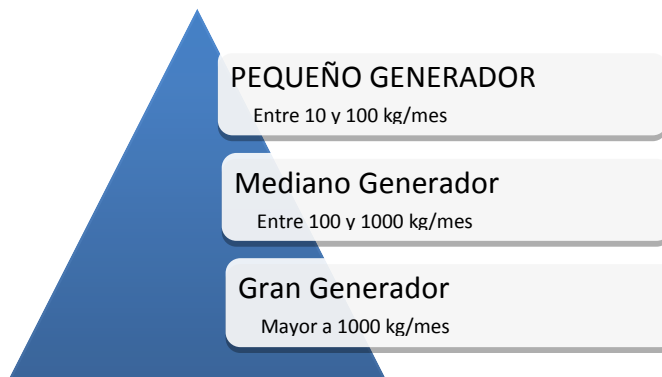
Gráfica 3 Producción de RESPEL por establecimiento - departamento 2016



Fuente: IDEAM, Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia, 2016. Bogotá, D.C., 2016. 128 páginas. (IDEAM, 2016).

Los generadores de residuos peligrosos en Colombia están clasificados en 3 categorías de acuerdo a la generación de kg al mes calendario, considerando los periodos de tiempo de generación del residuo y llevando promedios ponderados y media móvil de los últimos seis (6) meses de las cantidades pesadas. Estas categorías se muestran en la figura 1 (IDEAM, 2016).

Figura 1 Generadores de residuos peligrosos – Categorías.



Fuente: IDEAM, Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia, 2016. Bogotá, D.C., 2016. 128 páginas. (IDEAM, 2016).

Para efectos de análisis e interpretación de los datos de generación y manejo de residuos peligrosos, el IDEAM asoció los residuos peligrosos de acuerdo a las corrientes de residuos o tipos de residuos. Se entiende por corriente de residuo, aquellos tipos de residuos listados y estipulados en el Decreto 1076 de 2015, considerados como peligrosos, de acuerdo con los criterios establecidos en el mismo Decreto (IDEAM, 2016).

La lista de residuos o desechos peligrosos generados por corrientes de residuos tuvo en cuenta algunas equivalencias por tener descripciones similares entre corrientes Y y A (definidas en el Convenio de Basilea y anexo I y II del Artículo 2.2.6.2.3.6 del Decreto 1076 de 2015) establecidas en el reporte del Registro de Generadores. Estas equivalencias fueron analizadas en conjunto con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y para el caso específico de los aceites residuales estos quedaron clasificados como se muestra en la tabla 3.

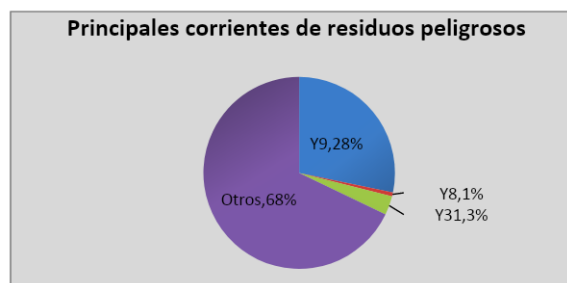
Tabla 3 Equivalencias entre corrientes Y y A

Listado de residuos Y	Equivalencias con sustancias A
Y9 - Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.	A4060 - Desechos de mezclas y emulsiones de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.

Fuente: IDEAM. (2016). Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia.

Una vez clasificadas, de las 305.216,2 Ton de residuos peligrosos generados en 2016 en Colombia, se encontró que 86.245 Ton corresponden a Y9 - Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua (gráfica 5), ubicados como el residuo peligrosos de mayor generación, seguido, a su vez, por 20.412 Ton correspondientes a Y8 - Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados y, en tercer lugar, Y31 - Desechos que tengan como constituyentes plomo, compuestos con plomo, con 9.790 Ton (IDEAM, 2016).

Gráfica 4 Principales corrientes de residuos peligrosos.



Fuente: IDEAM. (2016). Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia.

DIAGNÓSTICO

Con el fin de identificar cuál es el proceso o procesos a través de los cuales las industrias en Bogotá podrían recuperar aceites residuales de forma viable desde el punto de vista económico, se procederá a analizar las diferentes alternativas encontradas, describiendo en qué consiste cada proceso, identificando los elementos necesarios para su implementación y así mismo calculando los costos del mismo.

2.1.1.2.1 DOFA

Con el fin de ampliar el diagnóstico sobre el estado de los aceites usados en la industria colombiana e implementar decisiones y estrategias apropiadas de acuerdo con dicho estado, se realiza la matriz DOFA mostrada en la tabla 4. La importancia de la matriz DOFA radica en hacer un diagnóstico real del proceso de recuperación de aceite usado, y de esta forma evidenciar el estado actual, lo que nos brinda el principal elemento requerido para tomar decisiones y nos brinda conciencia de la realidad, y de esta manera poder adelantarnos a las posibles amenazas que se puedan presentar.

Tabla 4 DOFA

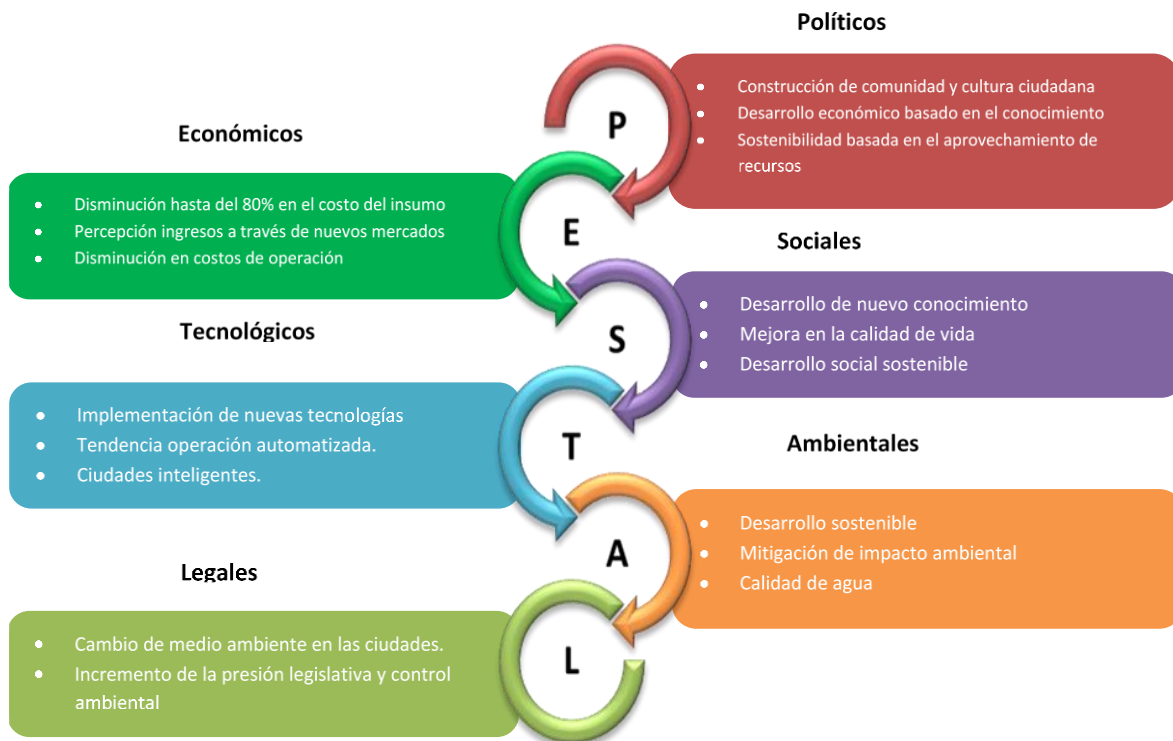
DEBILIDADES	FORTALEZAS
<ol style="list-style-type: none">1. Desconocimiento en las empresas acerca de las diferentes metodologías de recuperación de aceites usados.2. La actividad Y9 de aceites lubricantes usados, por su carácter de residuo peligroso, requiere especial atención y una preparación adecuada por parte de quienes intervienen en la operación.	<ol style="list-style-type: none">1. Disminución al impacto ambiental generado por este residuo peligroso.2. Fortalecimiento de desarrollo sostenible.3. Desarrollo cultural.4. Posibilidad de acceso a beneficios económicos por parte del gobierno.
AMENAZAS	OPORTUNIDADES
<ol style="list-style-type: none">1. Reputación sobre la dificultad para realizar el procedimiento.2. Si el proceso no se realiza de manera adecuada se puede poner en riesgo la maquinaria.3. Desgaste prematuro de los equipos por mala operación.	<ol style="list-style-type: none">1. Disminución en costos de operación dentro de las empresas.2. Desarrollo de oportunidades y reconocimientos ambientales.

Fuente: El autor

2.1.1.2.2 PESTAL

Por su parte, la matriz PESTAL mostrada en la figura 2, define el contexto estratégico del entorno, a través del análisis de factores exógenos a la empresa y/o negocio. Esta matriz se construyó mediante la identificación de factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales. Los factores políticos se refieren al grado de intervención del gobierno. Los factores económicos relacionan los impactos de indicadores financieros y económicos en el desempeño empresarial. Los factores sociales incluyen aspectos culturales y demográficos. Los factores tecnológicos incluyen cambios tecnológicos que afectan el mercado. Los factores ambientales definen líneas de acción en materia ambiental y los factores legales se refieren a cambios normativos y regulatorios (BRUIN, 2018). De esta forma podremos detectar aquellas variables que van a tener algún tipo de influencia en el desarrollo del proyecto, en un entorno determinado, y así permitir plantear adecuadamente el proyecto. Esta herramienta se realiza con el fin de servir de guía ante los movimientos del entorno.

Figura 2 Resultado PESTAL Corporativo



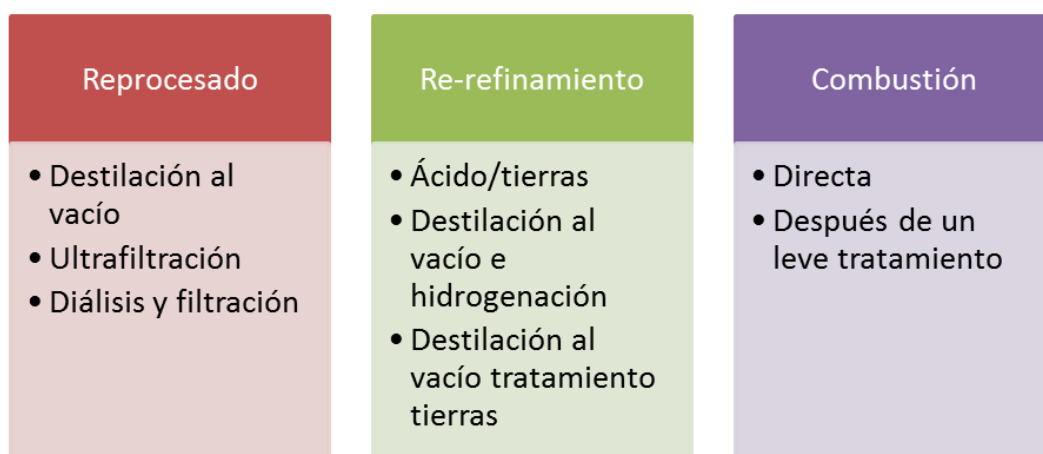
Fuente: Autor

3 Capítulo

3.1 METODOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE ACEITES RESIDUALES

Las técnicas de recuperación de aceite se dividen en tres grandes grupos, a partir de los cuales se selecciona el proceso de acuerdo al resultado esperado. Las técnicas expuestas a continuación se clasifican de la siguiente forma:

Figura 3. Técnicas



Fuente: El autor

- **Reprocesado:** El reprocesado tiene como fin la minimización en origen generada por aceites industriales utilizados en sistemas hidráulicos. Este principio propone que se puede dar un reaprovechamiento en la propia empresa y al mismo sistema hidráulico. Esto, después de someter al aceite a un proceso de limpieza. Con este tratamiento se prolonga el ciclo de vida del aceite en cuestión.
- **Re-refinamiento / Regeneración:** Los procesos existentes tienen como objetivo la obtención de aceites de base para ser utilizados en la producción de nuevos aceites. Otros productos secundarios resultantes de los procesos se destinan a otras aplicaciones.
- **Combustión:** el objetivo final de la combustión es la valorización energética obteniendo calor. Esta se puede dar en cementeras, centrales térmicas, refinerías o puede referirse a la valorización energética por medio de instalaciones de cogeneración, obteniendo electricidad. El proceso de combustión tiene una desventaja y es la emisión

atmosférica que se genera, por tanto, este es aceptado sólo si los parámetros de emisión en la atmósfera son respetados, en especial por lo que respecta a emisiones de metales pesados contenidos en los aceites residuales. El proceso puede desarrollarse en instalaciones con potencia superior a los 3MW (CAR/PL, 2000).

3.2 TIPOS DE METODOLOGÍAS DE REPROCESADO

3.2.1 DESTILACIÓN AL VACÍO

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La destilación es un proceso comúnmente utilizado con el fin de purificar líquidos. Este proceso tiene como finalidad separar los componentes o sustancias de una mezcla líquida mediante el uso de la ebullición selectiva y la condensación. La destilación puede resultar en una separación de componentes casi puros, o puede ser una separación parcial que aumenta la concentración de los componentes seleccionados en la mezcla.

Para el caso específico de la destilación de aceites residuales, se generan 3 diferentes componentes, que pueden ser reincorporados dentro del proceso productivo. El primero de ellos son los aceites bases de lubricantes, con idénticas características que los obtenidos a partir de la refinación del petróleo crudo. El porcentaje resultante después de la destilación es equivalente a un 48% del aceite residual inicial. El segundo, es el *fuel oil*, combustible no inflamable, apto para su comercialización, que representa un 47%. Por último, el tercer producto son los aceites livianos o *gas oil*, que se pueden reutilizar como combustible para el mismo proceso, brindando autonomía energética a la planta. Este representa el 4%. Adicionalmente a esto, se genera un 1% de desechos, a los cuales se les debe dar una disposición adecuada (Gomez C., 2007).

El proceso de destilación y desmetalización consta de las siguientes 8 fases:

- 1- El aceite a destilar se pasa desde un tanque de alimentación a lo que se le denomina pulmón de destilación. Este es un recipiente que almacenará el aceite residual mientras dura el proceso.
- 2- El aceite circula y recircula a través de una caldera, aumentando así su temperatura progresivamente. Este aumento de temperatura se realiza en esta etapa a presión atmosférica hasta llegar a unos 82°C, por debajo del punto de ebullición del agua. Para evitar pérdidas, éste se mantiene entre 30 y 90 minutos. Los aceites livianos que son más volátiles entran en ebullición y los vapores emergentes pasan, a través de un conducto, a un condensador.
- 3- El condensador convierte los vapores producto de la fase anterior en líquido y se almacenan en un pulmón de livianos o pulmón de *gas oil*. Aquí se obtiene el primer

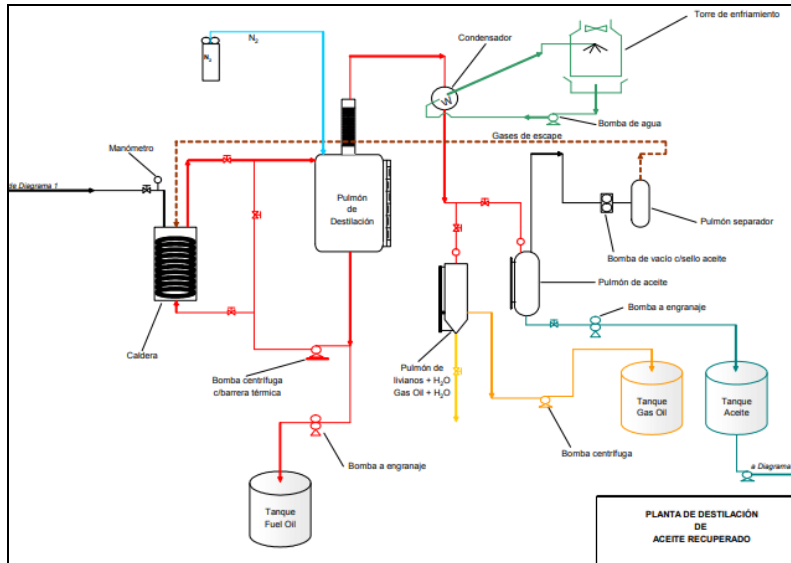
producto de la destilación. Este es inducido a un tanque que lo almacena. Este aceite puede ser utilizado en la planta como combustible alternativo para la caldera.

- 4- Superados los doscientos grados y agotados por la destilación los aceites livianos, se conecta el sistema a una bomba de vacío que reduce la presión interna del mismo a 70 mm de mercurio.
- 5- El siguiente producto resultante son los aceites bases. El vacío permite que la destilación de los aceites bases se realice a 100 °C menos de lo que destilarían a presión atmosférica, evitando así su craqueo por temperatura. Los aceites resultantes de esta etapa conservan las características originales del aceite virgen usado en la formulación de lubricantes, prácticamente sin aditivos.
- 6- Una vez pasados por el condensador y antes de romper el vacío terminan en un nuevo pulmón de aceites que es parte del sistema de vacío, que aún no se puede romper. Agotada la cantidad de aceite que se destila, se interrumpe el proceso de destilación y se rompe el vacío con nitrógeno. Los hidrocarburos residuales que quedan en el pulmón conforman el *fuel oil*.
- 7- El *fuel oil* se bombea directamente al tanque de depósito de fuel listo para su comercialización.
- 8- Desde el pulmón de aceite, es bombeado el mismo a los tanques donde se procede a un tratamiento con ácido sulfúrico, cal y arcillas para lograr eliminar aromas e impurezas aún existentes y así lograr el color deseado.
- 9- Luego de estar estacionado con estos productos durante varias horas, se pasa por un filtro prensa, que retiene las impurezas junto a la cal, arcilla, etc. Finalmente, se estabiliza el aceite (para evitar oxidaciones) con algunos productos químicos denominados estabilizantes (Gomez C., 2007).

ELEMENTOS NECESARIOS PARA ESTA FASE

- Tanque de alimentación (pulmón de destilación)
- Caldera
- Ducto (hacia el condensador)
- Condensador
- Pulmón de livianos.
- Bomba de vacío
- Pulmón (*fuel oil*)
- Filtro prensa

Diagrama 1 Proceso de destilación al vacío de aceite

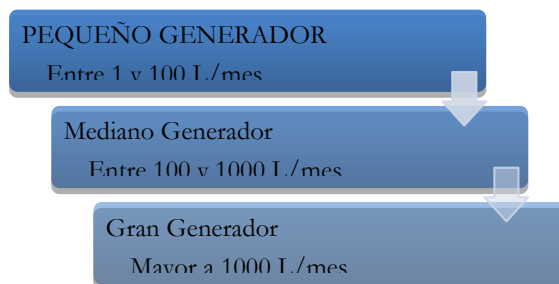


Fuente: Gomez C., G. G. (2007). La industria de la re-refinación de aceite mineral usado en Argentina.

COSTOS

Para el cálculo de costo de cada una de las metodologías técnicas para recuperar aceite usado expuestas más adelante se tendrá en cuenta la clasificación de generadores de residuos peligrosos estipulada por el IDEAM, la cual se muestra en la figura 3 De esta forma las propuestas serán basadas en las capacidades de recuperación de aceite residual.

Figura 4 Clasificación de acuerdo a la cantidad de generación de aceite usado.



Fuente: Autor

En la tabla 5 se presentan los costos de implementación del proceso de destilación al vacío, teniendo en cuenta el costo puesto en planta o donde se desea realizar el montaje, para una planta con capacidad diaria de 50 litros por día.

Tabla 5 Costo de implementación destilación al vacío

Elemento	Costo	Proveedor
Tanque alimentación capacidad 1000 L.	\$ 240.291	Eternit
Caldera capacidad de 0,5 a 20 Ton marca Yuanda	\$ 8'000.000	Zhengzhou Zhongding Boiler
Ducto (hacia el condensador) Tubo en acero al Sch 40	\$ 2'798.421	Coval
Condensador capacidad 500 L.	\$ 19'554.000	Open water
Pulmón de livianos, capacidad 250 L.	\$ 105.291	Eternit
Bomba de vacío cap. 340 L.	\$ 1'827.000	Mauja store
Pulmón (fuel oil) cap. 500 L.	\$ 129.990	Eternit
Total		\$32'654.993

Fuente: www.eternit.com.co, www.coval.com.co, www.maujastore.mercadoshops.com.co.

3.1.1.4 FACILIDAD DE IMPLEMENTACION

La destilación al vacío es una técnica versátil utilizada comúnmente para la purificación de productos y reactivos en el laboratorio. Su montaje y operación debe ser realizada con mucho cuidado para evitar accidentes y pérdidas de material (Carreño, 2016). Este tipo de destilación es seleccionada a menudo, ya que, con la destilación a presión atmosférica hay productos que no se logran destilar de forma adecuada. Adicionalmente ofrece diferentes ventajas como los son:

1. Las sustancias térmicamente sensibles se pueden procesar fácilmente.
2. Menor tiempo de exposición térmica del destilado: esta reducción permite que se logre realizar procesamiento de elementos térmicamente sensibles, cuyas propiedades se ven afectadas negativamente por la exposición prolongada al calor.
3. La destilación conduce a una separación más fácil de los componentes de una mezcla.
4. Reducción del consumo de energía mediante la reducción del punto de ebullición al vacío.
5. Operación automática: dependiendo el tipo de equipo, la destilación al vacío puede llegar a realizarse controlada a través de un PLC.

6. Alta tasa de recuperación: la tasa de recuperación del aceite puede ser hasta del 85%.

3.1.1.5 CRITICIDAD DEL PROCESO

Aunque la destilación al vacío es una técnica muy usada en la industria, no solo para destilar aceite usado, sino también para realizar separación de materiales de acuerdo a sus densidades, la misma tiene factores de proceso críticos, de los cuales depende la efectividad del proceso.

1. Diferencia de temperatura entre el agente calefactor y el líquido a evaporar

La temperatura de ebullición del aceite a destilar va aumentando a medida que se va concentrando. No obstante, al operar en condiciones de vacío, la diferencia de temperatura entre el agente calefactor y el líquido a evaporar se amplía, ya que la temperatura de ebullición de la mezcla es muy inferior a la correspondiente a presión atmosférica. Cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas, mayor será la velocidad de evaporación.

2. Área de intercambio

El área de intercambio efectiva depende de la geometría del equipo y de fenómenos inherentes a la concentración de la disolución, a mayor área, mayor capacidad de intercambio de calor y mayor velocidad de evaporación se obtendrá.

3. Coeficiente global de transferencia de calor (u)

Este coeficiente depende de las propiedades físicas de los fluidos que intervienen (agente calefactor y líquido a evaporar), del material de la pared en la que se produce el intercambio de calor, del diseño y geometría del equipo, así como de los parámetros de flujo (velocidades de circulación de los fluidos, etc.). Cuanto más grande sea este coeficiente, mayor facilidad tiene el equipo para intercambiar calor.

4. Propiedades del líquido a evaporar

La viscosidad, la posibilidad de formación de espumas, su capacidad de corroer, etc. influyen a la práctica en la velocidad de transferencia de calor (Tuset, 2018).

3.1.1.6 IMPACTO AMBIENTAL

Los equipos de destilación al vacío se utilizan actualmente en la industria, primordialmente del petróleo, debido a su bajo impacto ambiental, ya que permite disminuir el uso de disolventes, por lo cual permite ahorros de materia prima, así como la disminución de emisiones COV's (Compuestos Orgánicos Volátiles) de los disolventes y reducción de residuos peligrosos.

En la industria de los lubricantes se han reducido los compuestos de azufre, con el fin de evitar daños ambientales por lluvia ácida, lo que hace la destilación al vacío de los aceites lubricantes más amigables ambientalmente.

Adicionalmente para mitigar aún más el impacto de la destilación al vacío se pueden implementar las siguientes técnicas:

Considerar la reutilización del agua de un proceso en otro; por ejemplo, utilizar la purga de las calderas de alta presión como alimento para las calderas de baja presión, o emplear el efluente tratado como agua de complemento, donde sea posible.

Aplicar el diseño de sistemas que reciclan el agua, repetidamente, para el mismo propósito. Por ejemplo, el uso de torres de enfriamiento o la utilización del condensado de vapor como alimento para las calderas. (Muñoz, 2011).

Producto de este proceso no se generan impactos ambientales adicionales, ya que los residuos sólidos producidos se eliminan mediante combustión, al incorporar el *gas oil* como fuente de combustible para la caldera (Gómez C., 2007).

3.1.1.7 EFECTIVIDAD DEL PROCESO

La destilación es una técnica que nos permite separar mezclas, comúnmente líquidas, de sustancias que tienen distintos puntos de ebullición. Cuanto mayor sea la diferencia entre los puntos de ebullición de las sustancias de la mezcla, más eficaz será la separación de sus componentes; es decir, los componentes se obtendrán con un mayor grado de pureza.

Por lo tanto, es una técnica eficiente para la separación de los sedimentos y contaminantes presentes en el aceite usado, producto del constante roce entre las partes del motor.

Sin embargo, la efectividad del proceso de destilación al vacío depende en gran medida del diseño de la torre de vacío. La primera cuestión para ser establecida es la selección de una presión óptima de operación del sistema, para lo cual se deben considerar ciertos factores:

- La disminución de la presión parcial de aceite usado incrementa la vaporización, y, por lo tanto, la producción de destilado.
- La disminución de la presión del sistema disminuye la cantidad de vapor requerido para efectuar una vaporización dada. Si la presión del sistema es reducida a valores lo suficientemente bajos, es absolutamente posible diseñar y operar una torre de vacío que no requiera ninguna corriente de vapor con el propósito de disminuir la presión parcial de aceite usado.

La destilación al vacío se ha consolidado en el mercado como un método económico para el tratamiento de una gran variedad de líquidos y se presenta como una verdadera alternativa para la eliminación de desechos.

Las ventajas más representativas de este método son:

- Mayor disponibilidad del sistema
- Funcionamiento completamente automático las 24 horas
- Dependiendo el tipo de montaje y equipo a implementar, este sistema puede llegar a ofrecer servicio a distancia para una asistencia técnica rápida.
- 95 % de eficacia en el uso de la energía mediante el reciclaje energético.
- Elevadas tasas de evaporación que reducen los costes de gestión de residuos.
- Dependiendo la calidad del destilado, podría permitir la introducción de una recirculación directa, sin necesidad de tratar posteriormente el destilado.

3.1.1.8 MARCO REFERENCIAL

La destilación es la operación fundamental para el refinado del petróleo. Su objetivo es conseguir, mediante calor, separar los diversos componentes del crudo, por lo que a la hora de reciclar aceite usado es una de las técnicas más afines, de acuerdo a la literatura revisada.

En España, como respuesta a la iniciativa de los fabricantes de lubricantes, otros agentes responsables de comercializar el aceite industrial o equipos que lo contengan son responsables de garantizar y financiar la correcta gestión de los aceites usados que se generan tras el consumo de los aceites industriales que ponen en el mercado español. A través del Sistema de gestión de aceites industriales usados en España SIGAUS se realiza la regeneración del aceite para obtener una base lubricante válida para su reformulación en nuevo aceite lubricante, lo que contribuye a un notable ahorro de materias primas en la producción de nuevos aceites. Por ello, es la opción que la Ley marca como prioritaria (Destilación del petróleo, s.f.).

En Colombia, más específicamente en Bogotá, un grupo de amigos se unió para la instalación de una planta para la limpieza de aceite quemado y su reprocesamiento como fuente de energía. Fundaron la empresa *Latinamerican Hydrocarbon Corporation* ubicada en Bosa. Luego de dos años de desarrollo del proyecto y de más de un millón de dólares de inversión, funcionó la mencionada planta, cuya capacidad de procesamiento es de 5.000 galones de aceite quemado en un turno de 8 horas, produciendo aceite combustible para generación de calor por quemadores (tiempo, 2000). En el mercado se encuentran una serie de equipos cuya finalidad es la destilación de aceite usado al vacío, dentro de los cuales se encuentran los siguientes:

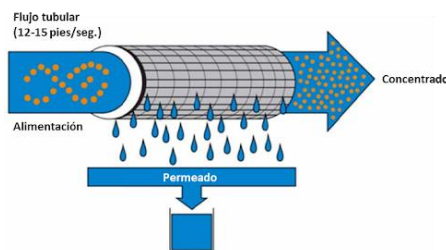
SENER es un grupo privado de ingeniería y tecnología que ofrece soluciones de ingeniería a través de sus empresas de Aeroespacial y de Ingeniería. Este grupo ha desarrollado un innovador proceso, patentado en todo el mundo, para la regeneración de aceites lubricantes usados. El proceso diseñado por SENER consigue recuperar bases lubricantes a partir de aceites usados mediante un proceso de extracción con propano y un posterior proceso de destilación, sin producir ningún tipo de residuo sólido. Esto permite lograr bases lubricantes regeneradas de igual calidad a la del primer refinado (SENER, s.f.).

3.2.2 ULTRAFILTRACIÓN

3.2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de ultrafiltración (UF) consiste en la separación física que ocurre cuando se aplica presión a un líquido que pasa a través de una membrana semipermeable (Ilustración 1). Los sólidos suspendidos y los solutos de alto peso molecular son retenidos, mientras que el agua y los solutos de bajo peso molecular atraviesan la membrana. El tamaño del poro de la membrana es el que determina el tamaño de los sólidos, la turbidez y los microorganismos que se eliminan en el proceso. El tamaño del poro filtrado por las membranas UF varía ampliamente según el material. Las sustancias que son más pequeñas que los poros de la membrana son retenidas parcialmente, lo cual depende de la construcción de una capa de rechazo en la membrana.

Ilustración 1 Membrana de ultrafiltración tubular



Fuente: Carbotecnia (2020).

Las membranas, con el fin de ser efectivas en los procesos de separación y filtración, deben ser resistentes químicamente, mecánica y térmicamente estables, y tener una permeabilidad elevada, así como alta selectividad y resistencia a las operaciones.

Este proceso se usa en su mayoría para el tratamiento de aguas residuales y su purificación, ya que permite la reducción de los sólidos suspendidos como partículas, coloides, quistes, bacterias y virus por medios mecánicos.

Las membranas de ultrafiltración están disponibles en diversas configuraciones, que incluyen:

De lámina plana, las cuales se forman con láminas planas, y se configuran en pilas de membrana o cartuchos enrollados de espiral y se configuran para una filtración de flujo cruzado con una recirculación de flujo residual continuo.

De fibra hueca, que se configuran en módulos que contienen múltiples fibras y funcionan en modo de extremo muerto (como el flujo residual no continuo). El flujo puede ser desde el

ducto de la fibra hasta el exterior (de adentro para afuera) o desde el exterior de la fibra hasta el ducto (de afuera para adentro).

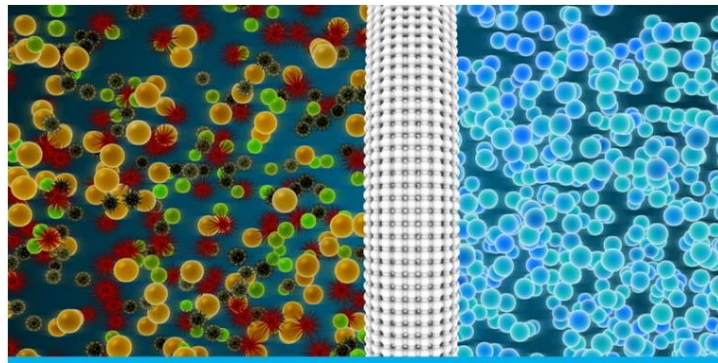
De fibra hueca de múltiples ductos, que son similares a las membranas de fibra hueca a excepción de que las fibras son más grandes y cada fibra contiene múltiples ductos (normalmente de 4 a 7 ductos).

El proceso de ultrafiltración tiene varios tipos dentro de los que se encuentran:

1. **Ultrafiltración Tubular:** que usa membranas similares a la fibra hueca, pero con tubos de mayor dimensión (Ilustración 2). Las dimensiones van de 0,5" a 1", y se configuran para una filtración de flujo cruzado con una recirculación de flujo residual continuo.

Un sistema secundario de tratamiento, y en segundo lugar en fluidos superficiales, como lagos, ríos o pozos. Este sistema permite potabilizar fluidos procedentes de pozos, lagos o ríos, donde se encuentran fluidos sin mucha carga y que con este tratamiento de ultrafiltración pueden convertirse en aptas para el consumo humano. Así mismo, esta tecnología permite también ampliar depuradoras ya existentes, tanto de origen urbano como industrial, con un costo relativamente bajo y sin necesidad de reformas, mejorando así el nivel de depuración y permitiendo la reutilización del fluido.

Ilustración 2 Membrana tubular

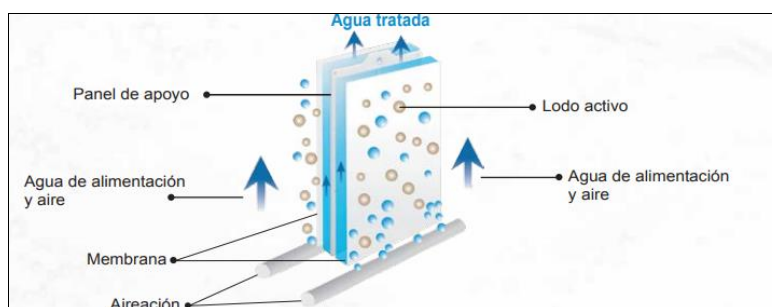


Fuente. Porex, Membranas tubulares en las tecnologías y sistemas industriales de filtración de aguas residuales.

2. **MBR (Biorreactores de membrana):** Esta tecnología permite un efluente de mayor calidad que la depuración tradicional. El proceso consiste en un reactor biológico de crecimiento suspendido integrado con un sistema de membrana de ultrafiltración, usando la membrana de fibra hueca. El sistema de ultrafiltración sustituye la función de separación de sólidos de los decantadores secundarios y los filtros de arena de un sistema convencional de lodos activados.

El proceso MBR es manejado típicamente a una concentración de sólidos en suspensión entre 8.000 y 10.000 mg/L. El proceso MBR combina las operaciones de unidad de aireación (Ilustración 3), la clarificación secundaria y la filtración en un solo proceso, produciendo un efluente de alta calidad, simplificando la operación y reduciendo enormemente exigencias espaciales (ORCA, s.f.).

Ilustración 3 Membrana MBR



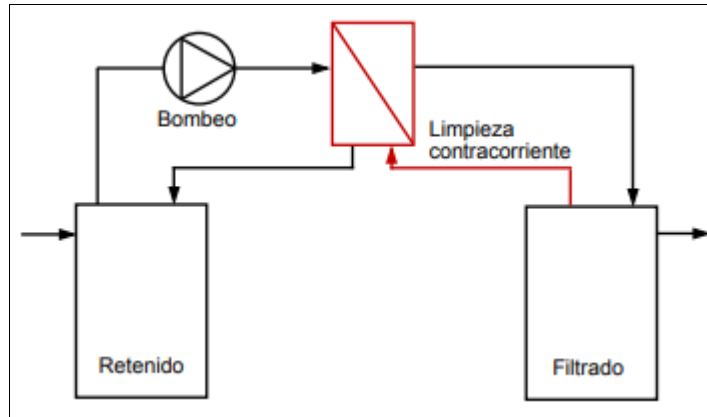
Fuente: QUA Group. (s.f.). Membranas sumergidas de ultrafiltración

Ultrafiltración tangencial cerámica (UFTC): Este se aplica en procesos donde encontramos un influente industrial con un alto nivel de carga, donde los reactores biológicos tradicionales necesitan un tiempo considerable para degradar la materia, es preferible realizar una separación previa de los residuos, para facilitar posteriormente una degradación biológica rápida y de calidad (Ilustración 4).

En el modo de filtración tangencial, clásica en las operaciones de filtración con membranas, el flujo de permeado viene condicionado por la velocidad de circulación del fluido a través de los canales de filtración que son de 5 o 6 m/s en las membranas de cerámica. El proceso de ultrafiltración tangencial permite reducir la carga de los fluidos muy complejos industriales para posteriormente ser tratados con una depuración tradicional o biorreactores de membranas, en adelante MBR, que permiten la separación del fango y el líquido mediante membranas.

El equipo de UFTC se compone de dos depósitos de acumulación, un sistema de bombeo de presión y los filtros cerámicos. Existe un sistema hidráulico secundario que se encarga de limpiar las membranas a contracorriente para mantener el rendimiento del sistema.

Ilustración 4 Ultrafiltración tangencial cerámica



Fuente: Totagua. (s.f.). Bioreactores de membrana Ultrafiltración Tubular
Ultrafiltración tangencial cerámica.

Las principales ventajas de este sistema es que permite una separación de contaminantes para fluidos de origen industrial altamente cargados, reteniendo subfracciones importantes, pero permitiendo mantener la actividad biológica posterior mediante sistema tradicional de depuración por lodos activos, biológico o bien por un MBR (PENTAIR, 2014).

3.2.2.2 ELEMENTOS NECESARIOS PARA ESTA FASE

- Equipo de Ultrafiltración WTC 5000 UF marca FUTURETECH, rendimiento de hasta 5000 litros/hora.

Ilustración 5 planta de tratamiento WTC 5000 UF



Fuente: Futuretech

3.2.2.3 COSTOS

Costo del equipo puesto en planta: \$ 135'839.274

3.2.2.4 FACILIDAD DE IMPLEMENTACION

El proceso de ultrafiltración utiliza una membrana, un material permeable simple, que, solo permite el paso de partículas de menos de 20 nm. El tamaño de poro varía entre 20 nm y 0.1 micras.

Los proveedores ofrecen membranas de ultrafiltración en varias configuraciones, y cada configuración tiene un uso específico y las ventajas y desventajas que la acompañan.

Para este proceso se requiere baja presión de operación, por lo que implica menor consumo de energía ya que se realiza a temperatura ambiente.

Hoy en día el desarrollo de este proceso ha permitido el diseño de equipos que facilitan al usuario su implementación, ya que solo debe realizar la configuración de membrana e iniciar operación. Este equipo puede ser acomodado en lugares como: cuartos de equipo, sótanos, azoteas, contenedores y lugares de difícil acceso, e incluso pueda ser transportado y conducido a diferentes zonas en caso de ser requerido. Es considerado como un activo que se puede reubicar en diferentes proyectos (Eduardoño, s.f.).

La limpieza de la membrana y del sistema es un elemento esencial en el mantenimiento del sistema de UF. Lo anterior responde a mantener la eficiencia y productividad del equipo y

minimizar los efectos de suciedad adherida a la superficie de la membrana después de cada ciclo de proceso (Gyimes, 2010).

3.2.2.5 CRITICIDAD DEL PROCESO

Las posibles configuraciones de membrana incluyen:

- ✓ Membranas en forma de tubo: capilar, fibra hueca o tubular;
- ✓ Membranas en forma de placa: placa plana o espiral.

La configuración de membranas para realizar el proceso de ultrafiltración debe ser la adecuada, ya que de lo contrario este enjuague puede no ser suficiente para eliminar la capa de la superficie, en especial si la capa endurecida está demasiado comprimida o si la unión con la membrana es muy fuerte. En este caso, la limpieza química debe implementarse, por ejemplo, con lejía, peróxido, ácido y álcali o detergente.

La membrana de ultrafiltración es sensible a los productos químicos oxidativos (por ejemplo, ácido nítrico, ácido sulfúrico, peróxido y persulfato en altas concentraciones); la exposición a NaOCl determina la vida útil de la membrana y es típicamente de 150,000 a 500,000 ppmh y dependiendo del pH, se pueden producir daños al tratar de evitar partículas duras y afiladas con tamaño mayor a 0.1 mm; la membrana se puede dañar si la presión ejercida es superior a 3 bar.

Se debe tener en cuenta que las membranas deben protegerse contra partículas duras de más de 0.1 mm, Las cuales se pueden eliminar mediante pre filtración regular. Además, los flujos de suministro, las condiciones de pH y las condiciones de temperatura deben ser compatibles con el material de la membrana (PURITEC, 2019).

3.2.2.6 IMPACTO AMBIENTAL

El concentrado de UF consiste principalmente en materia suspendida y bacterias. Se puede descargar junto con aguas residuales si la concentración acumulada de materia suspendida no infringe las normas. Las aguas de enjuague después de la limpieza química contienen sustancias como lejía, peróxido, ácido y álcali. Estas aguas de enjuague solo se pueden descargar a sistemas específicos de purificación de residuos.

Producto de esta técnica se generan las membranas usadas, a las cuales se les debe dar disposición adecuada, de acuerdo al tipo de residuo que contengan. Sin embargo, estas membranas son consideradas residuos sólidos no aprovechables, por lo cual se debe dar disposición final controlada. Por lo tanto, se debe disponer como residuo peligroso a través de gestores que tengan licencia para la disposición final según la corriente del residuo. En este caso podría ser la corriente Y18 Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales. De acuerdo al listado de empresas gestoras autorizadas se puede acudir a la empresa TRADEPRO ESCRAP SAS (Ambiente, 2014).

3.2.2.7 EFECTIVIDAD DEL PROCESO

La ultrafiltración se puede implementar para eliminar los siguientes parámetros:

- Materia suspendida (> 99%)
- Microorganismos nocivos (p. Ej., Bacterias, protozoos, algas, hongos) (> 99%).
- HAP.
- Además, la UF también se puede implementar para descomponer las emulsiones.

Se pueden usar ayudas de soporte como lejía, peróxido, ácido, álcali o detergente para limpiar químicamente la instalación de UF. Además, el tricloruro de hierro se usa como coagulante para la materia fina suspendida. Una ventaja adicional de esto es que se forma una capa endurecida muy porosa, que permite el paso del agua

3.2.2.8 MARCO REFERENCIAL

El proceso de ultrafiltración tiene mayor desarrollo en cuanto a lo que a purificación de agua se refiere, ya que gracias a la efectividad de este proceso se puede incluso recuperar agua residual para el consumo humano. Es por esto que ya varias empresas han desarrollado equipos que permiten el desarrollo de este proceso.

La multinacional 3M, que estuvo presente en el 61° Congreso Internacional del Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables “nuestra meta, el desarrollo sostenible” con la charla Sistemas de ultrafiltración: confiables, escalables y de rápida implementación dictada por Sebastián Pino Rangel, Ingeniero de Aplicaciones Técnicas de la División de Ciencia de Separación y Purificación de 3M Colombia, ha sido líder y referente tecnológico en desarrollo y fabricación de membranas de ultrafiltración de agua por más de 40 años para el tratamiento de aguas residuales, reciclaje y reutilización de aguas residuales. Con los módulos de ultrafiltración Liqui-Flu, 3M ha ayudado a satisfacer las necesidades de las comunidades en todo el mundo que carecen de acceso a agua potable (ACIS, 2018).

3.2.3 DIÁLISIS Y FILTRACIÓN

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Proceso físico que se lleva a cabo utilizando un equipo dializador de aceite móvil. Este equipo permite deshumidificar y filtrar el aceite usado hasta dejarlo de acuerdo a las condiciones de limpieza indicadas en la norma ISO 4406-99, recomendado por el fabricante del componente lubricado.

Al final del proceso de diálisis, el aceite queda en óptimas condiciones para ser utilizado en la misma aplicación donde se venía utilizando y con un porcentaje de vida igual al que tenía al iniciar el proceso de diálisis.

Un equipo especial para la limpieza de diferentes fluidos como aceites lubricantes y combustible consta de un motor de 1 Hp y bomba de engranajes de 30 litros por minuto que están conectados a una manguera de succión de 1” de diámetro. Una vez que el fluido pasa por la bomba, ingresa a un conjunto de dos filtros instalados en un cabezal doble donde se realiza un proceso de filtración paralelo para dar mayor rapidez en el filtrado y vida útil de los elementos. Una vez filtrado el fluido, este sale por una manguera al depósito que se requiera.

Los elementos filtrantes a usar dependen del fluido y el objetivo de limpieza que se requiera filtrar.

Este proceso se recomienda para el llenado inicial de equipos desde tambores y para pulir aceites durante periodos de mantenimiento con el fin de reducir la contaminación y extender la vida útil del aceite y el equipo.

Solo requiere un cambio de cartuchos para el cambio de tipo de fluidos o eficiencia requerida (SÀENZ, 2013).

ELEMENTOS NECESARIOS PARA ESTA FASE

- Equipo dializador ILM1B30BV1C2F5-110, capacidad de 55 galones de aceite por hora. (Ingenieros en lubricacion, s.f.)

Ilustración 6 Dializador ILM1B30BV1C2F5-110



Fuente: Ingenieros de lubricacion. (2017). Obtenido de Dializador de Aceite ILM1B30BV1C2F5-110.

3.1.3.3 COSTOS

Costo del equipo puesto en planta: \$ 87.020.000.

FACILIDAD DE IMPLEMENTACION

El proceso de diálisis y filtración de aceite usado es uno de los procesos más conocidos, por ende, se encuentran varios equipos en el mercado. Se ofrecen hasta equipos móviles de 2 ejes que facilitan la movilidad entre las máquinas de las plantas de la empresa en la cual se requiera implementar. Trabajan bajo el principio de termo vacío, el cual consistente en calentar el aceite al vacío para eliminarle los gases, el agua y las partículas sólidas que pueda tener. Este equipo opera succionando el aceite del depósito, lo procesa y lo descarga de manera ininterrumpida, hasta que el volumen total de aceite en el *carter* quede dentro de los estándares establecidos, de acuerdo con el tipo de máquina (Ingenieros de lubricacion, 2017).

CRITICIDAD DEL PROCESO

El tratamiento de aceites usados mediante procesos de regeneración permite un importante ahorro de energía y materias primas en la producción de aceites industriales. Los equipos de diálisis y filtración de aceite usado trabajan bajo el principio de termovacío, consistente en calentar el aceite a una temperatura de 100 °C y a una presión de 27" Hg en un tanque de vacío. Bajo estas condiciones es factible eliminarle al aceite el contenido de agua, gases, productos insolubles y contaminantes sólidos como el polvo y las partículas metálicas, dejándolo completamente limpio y seco. La diálisis permite tratar aceites hasta con un contenido de agua del 10% y dejarlos con 0.001% por volumen (10ppm), rompe las emulsiones y elimina gases indeseables en el aceite desde un 20% hasta un 0.1% por volumen.

Se pueden dializar aceites que trabajan en máquinas tales como: sistemas hidráulicos, compresores, reductores de velocidad, turbinas, sistemas circulatorios, sistemas térmicos y de motores marinos.

El proceso de diálisis con un dializador de aceite usado es bastante sencillo y no tiene parámetros de control críticos, lo cual representa una ventaja en su implementación (Mendoza Haro & Robles Salguero, 2015).

IMPACTO AMBIENTAL

El aceite hidráulico es uno de los residuos más costosos y contaminantes que existen, pero si ha sido correctamente aprovechado puede ser valorizado en su totalidad.

El impacto ambiental generado por este proceso es positivo, ya que se disminuye el riesgo de generar este residuo peligroso. Adicionalmente, viene acompañado del costo que tiene este

proceso. La disminución es casi del 50% frente al costo de adquirir nuevamente el aceite, algo bastante llamativo para cualquier tipo de consumidor de este servicio.

La gestión de los aceites industriales usados implica, además, evitar la incidencia ambiental que provocaría este residuo peligroso de no ser adecuadamente utilizado (Lubridialisis, s.f.).

Producto de esta técnica se generan los filtros usados, al igual que en el proceso de ultrafiltración se les debe dar disposición adecuada, de acuerdo al listado de empresas gestoras autorizadas se puede acudir a la empresa LASEA SOLUCIONES EU (Ambiente, 2014).

EFFECTIVIDAD DEL PROCESO

Al realizar la diálisis de aceite con algunos de los equipos revisados en el marco referencial, se eliminan partículas metálicas, partículas sintéticas, micropartículas, agua y gases, que son los principales contaminantes del aceite, utilizando una tecnología diferente para eliminar cada uno de ellos. Un conjunto de filtros permite dejar el aceite con el código de limpieza ISO 4406-99 que se usa para cuantificar los niveles de contaminación de partículas por mililitro de fluido en tres tamaños: $4\mu[c]$, $6\mu[c]$ y $14\mu[c]$ (Oleofiltracion, 2020).

El ahorro generado por reacondicionamiento de aceite por medio de diálisis y filtración es de hasta un 80 % del costo del cambio del aceite hidráulico, generando disminución en costos de mantenimiento y reducción del impacto ambiental.

MARCO REFERENCIAL

En el mercado se pueden encontrar varios equipos para realizar diálisis y filtración de aceite de varias empresas como son:

- Ingenieros de Lubricación S.A.S
- Oleo Filtración
- COMDIELSA
- PURIFISA SRL
- LUBRIDIALISIS S.A.S

Adicional a estos equipos industriales se pueden encontrar casos de estudio como el publicado en la revista Scielo titulado “reciclaje de aceites usados para transmisión de potencia en las industrias y talleres de servicio de la ciudad de milagro, Ecuador”. En donde se muestra una metodología de recuperación de aceite a través de diálisis y filtración, con un equipo propuesto cuyo costo es de 6.500 USD, que evidencia una viabilidad económica importante.

3.3 TIPOS DE METODOLOGÍAS DE RE-REFINAMIENTO

PROCESOS DE TRATAMIENTO EN ÁCIDO / TIERRAS

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Este proceso tiene como finalidad la recuperación del aceite a través de la aplicación de ácido sulfúrico y “Tierras”. Las cuales pueden ser arcillas absorbentes o tierras *Fuller* (*Ilustración 7*).

El empleo de ácido permite que los aditivos, suciedad y asfaltenos sean removidos, mientras que el uso ya sea de arcillo o tierras *Fuller*, permiten descartar el proceso de destilación, ya que se encargan de absorber la acidez y hacen posible que el fluido recupere todas sus características fisicoquímicas (acidez, color, viscosidad, resistividad, IFT, tangente Delta, resistencia a la oxidación, tensión de ruptura, etc.). De esta manera la vida útil del aceite se ve prolongada.

Ilustración 7 Tierras Fuller



Fuente: GlobeCore

Este proceso solía ser muy poco utilizado, debido a que la eficacia de las tierras Fuller bajaba rápidamente en caso de una utilización prolongada, y el costo de su sustitución era alto. Esto debido a que al costo de las tierras Fuller había que añadir el costo del tratamiento de tierras de Fuller saturadas, cargadas de aceite. Sin embargo, han venido apareciendo nuevos procedimientos como lo es el Reg³N, un sistema de regeneración que presenta la ventaja de ser más compacto y, sobre todo, de ir equipado con un mando de control centralizado totalmente integrado que garantiza un funcionamiento automático, fiable y completamente seguro de los dos sistemas de tratamiento, permitiendo que se reactiven periódicamente las tierras Fuller a lo largo del tratamiento para conservar su eficacia. Este procedimiento de reactivación original se realiza mediante autocombustión del fluido tratado por el oxígeno del aire. Esta operación puede repetirse más de 300 veces antes de tener de sustituir las tierras Fuller (Beltrán Pérez., Berrío Giraldo, Agudelo, & Cardona Gallo, 2014).

El método consta de las siguientes fases:

- **Fase de evaporación:** una vez recolectado el aceite usado, éste entra en un proceso de evaporación de materiales livianos, tales como agua e hidrocarburos. La temperatura a la cual se calienta el aceite en proceso es de 100 °C, garantizando la evaporación del agua presente en el aceite usado.
- **Fase de agitación:** La temperatura del aceite se incrementa hasta llegar a 170°C, lo que permite la evaporación de compuestos orgánicos. Luego se enfría entre 30 °C y 40 °C, para así poder adicionar un 10% de ácido sulfúrico con respecto a la cantidad de aceite usado. El ácido sulfúrico permite la extracción de asfaltenos, suciedad, aditivos, compuestos insaturados y otros materiales.
- **Fase de sedimentación:** Una vez adicionado el ácido sulfúrico, esta mezcla de aceite-ácido se lleva a un decantador por aproximadamente un día, ya que éste genera ácidos sulfúricos orgánicos.
- **Fase de estabilización de pH:** Una vez decantado, la mezcla restante se lleva de nuevo a un agitador, donde se añade cal para que reaccione con el ácido, neutralizando la muestra a un pH de 7, este proceso tarda entre 2 y 4 horas.
- **Fase de filtrado:** por último, el aceite inicia un proceso de filtrado en el que es tratado, ya sea con arcillas absorbentes o con tierras Fuller. La desventaja de las arcillas absorbentes con respecto a las tierras Fuller es que se pierde el control en el rango de viscosidad del aceite (Chuqui & Romero, 2017).

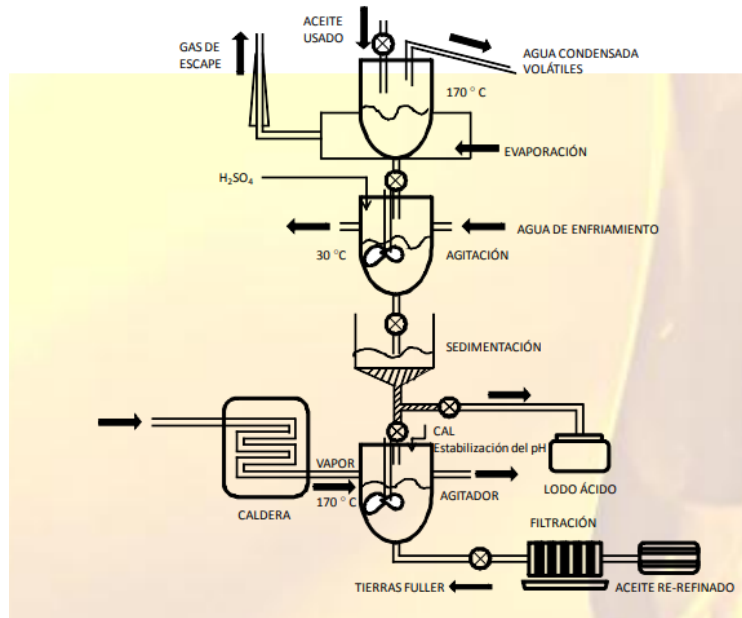
Una vez realizadas estas etapas se obtiene el aceite recuperado. La cantidad del mismo depende de la cantidad de aditivos empleados en el aceite base.

ELEMENTOS NECESARIOS PARA ESTA FASE

Para realizar la re-refinación del aceite mediante el proceso de ácido/tierras a una capacidad de 4 litros por hora se requieren los siguientes equipos:

- Destilador
- Ácido sulfúrico
- Arcilla/Cal
- Filtro

Ilustración 8 Flujo de proceso tratamiento ácido/tierras



Fuente: Moya, L. (2010). Desde el aceite lubricante usado hasta su puesta en el mercado tras su regeneración

COSTOS

En la tabla 6 se muestran los costos del equipo puesto en planta para la implementación del proceso de tratamiento en ácido/tierras.

Tabla 6 Costo de implementación proceso de tratamiento en ácido / tierras.

EQUIPO	COSTO	Proveedor
Destilador cap. 4L/hr	\$ 17.612.900	FINETECH
Tamiz industrial	\$ 1.100.000	Russell finex
Total	\$ 18.712.900	

Fuente: www.avanzagroup.com.co, www.russellfinex.com

FACILIDAD DE IMPLEMENTACION

Para este proceso se requiere la implementación de un equipo de tratamiento al vacío, similar al equipo utilizado en la destilación al vacío, sin embargo, adicionalmente se requiere el uso y

manipulación de ácido sulfúrico y arcilla, para lo cual se debe contar con equipamiento adecuado, con el fin de evitar accidentes laborales, por lo cual se considera que su implementación es poco práctica, haciendo este proceso poco atractivo para la industria.

CRITICIDAD DEL PROCESO

Para este proceso, como se describió anteriormente, es necesario el uso de ácido sulfúrico, lo cual hace que la manipulación durante el proceso sea compleja, ya que, además de atacar a muchos metales, el ácido concentrado es fuerte agente oxidante y puede dar lugar a la ignición al entrar en contacto con materia orgánica y compuestos, tales como nitratos, carburos, cloratos, etc.

El ácido sulfúrico puede contener ciertas cantidades de anhídrido sulfúrico libre y en estas condiciones se conoce como óleum, el cual presenta un aspecto nebuloso; sus vapores son irritantes, de color penetrante y tóxico. El óleum es más pesado que el agua, su densidad es muy variable, dependiendo fundamentalmente del porcentaje de anhídrido sulfúrico libre. El ácido sulfúrico, cuando llega a estar en contacto con la piel o con los ojos, provoca fuertes quemaduras; la inhalación de sus vapores provoca graves daños a los pulmones. El contacto repetido con soluciones diluidas puede causar dermatitis. Por lo cual se considera que la criticidad del proceso es alta.

IMPACTO AMBIENTAL

Como resultado del proceso de tratamiento de aceite usado a través de ácido/tierras se generan los residuos descritos en la tabla 7 Sin embargo, estos pueden ser dispuestos de manera adecuada a través de procesos de tratamiento, acopio o incluso pueden ser utilizados como combustible durante el proceso. Es de vital importancia realizar un tratamiento adecuado de los mismos, con el fin de mitigar su impacto (FIGEMPA).

Tabla 7 Residuos generados durante el proceso.

Proceso en el cual se produce	Componentes
Pre filtrado	Textiles, pedazos de metal, piedras.
Sedimentación	Agua y lodos
Destilación	Agua, fracción liviana

Tratamiento químico	⁴ Lodo ácido, gases sulfurosos
Neutralización clarificación	Agua, Fracción liviana de aceite
Filtración	Bentonita impregnada con aceite

Fuente: FIGEMPA. (s.f.). Proyecto manejo ambientalmente adecuado de los desechos aceitosos en el Ecuador. Universidad central del Ecuador. El autor

Por ser considerados residuos peligrosos, los productos relacionados en la tabla anterior deben tener una disposición adecuada a través de gestores autorizados. De acuerdo al listado de empresas gestoras autorizadas, se podría realizar con la empresa SOLUCIONES DE SANEAMIENTO AMBIENTAL S.A.-SAAM S.A. (Ambiente, 2014).

EFFECTIVIDAD DEL PROCESO

La mejor secuencia obtenida para reciclar un aceite lubricante quemado ha sido la siguiente: destilación simple al vacío, tratamiento con ácido sulfúrico al 98 % y filtración con arcilla a una concentración del 12% con respecto al volumen de aceite a filtrar. El aceite lubricante reciclado presenta menor densidad, menor acidez, mayor viscosidad, menor contenido de conizas sulfatadas y disminución de humedad con este proceso (Julio L).

MARCO REFERENCIAL

La Universidad Central de Ecuador realizó la implementación y puesta en marcha de una planta de tratamiento de aceite usado utilizando ácido sulfúrico y arcilla activada Este proceso tiene un rendimiento de entre el 60% y el 70%, dependiendo de la calidad del aceite incorporado al proceso. Este proyecto presenta una rentabilidad del 32% para una inversión de 480.000 USD, lo cual implica una inversión demasiado alta para el sector objetivo del presente estudio (FIGEMPA).

Los resultados se describen en la siguiente tabla:

⁴ Durante el método de refinación para los lubricantes destilados se adiciona ácido sulfúrico concentrado. Como producto de esta adición se formaba un residuo sólido gomoso denominado lodo ácido.

Tabla 8 Resultados de la base lubricante obtenida por tratamiento de ácido/tierras.

Determinación	Resultado
Viscosidad cinemática	12,4
Índice de viscosidad	125
Punto de inflamación °C	219
Punto de escurrimiento	< -27
Color ASTM	3,5
Acidez total. Mg KOH	1,46
Contenido de cenizas %	0,16
Policíclicos aromáticos	No realizado

Fuente: FIGEMPA. (s.f.). Proyecto manejo ambientalmente adecuado de los desechos aceitosos en el Ecuador. Universidad central del Ecuador.

3.3.1 PROCESOS DE DESTILACIÓN AL VACÍO E HIDROGENACIÓN

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En Italia, este tipo de proceso es uno de los más comúnmente usados, ya que a través de estas tecnologías se trata el 93% del aceite recogido, lo que equivale a 175.700 Tm de aceite al año. Los productos resultantes son en un 60% aceites de base y en un 8% aceites ligeros. Los residuos producidos durante el proceso de refinación, que contienen asfaltenos, compuestos resultantes de oxidaciones y polimerizaciones, metales y otras impurezas, se destruyen mediante procesos de combustión en plantas especiales. Actualmente, Italia se encuentra en primera posición a nivel europeo en cuanto a la cantidad de aceite re-refinado respecto al total de aceite producido. A continuación, se muestra el esquema general de las tecnologías basadas en la destilación al vacío e hidrogenación (UPME, 2001).

Este tratamiento se realiza en 4 etapas:

1. **Pretratamiento:** En la etapa de pretratamiento se busca someter el aceite usado a través de un proceso térmico con el fin de eliminar el agua y fracciones ligeras del aceite.

2. **Destilación a vacío:** se realiza la destilación al vacío del aceite usado para la obtención del aceite base, *fuel oil* y el residuo de la propia destilación.

3. **Tratamiento del aceite base:** Este tratamiento consiste fundamentalmente en eliminar los constituyentes adheridos por acción de un catalizador.

4. **Hidrotratamiento:** El objetivo de esta última etapa es eliminar y/o reducir los ácidos, como son azufre, cloro, nitrógeno y compuestos metálicos presentes en el aceite usado, bajo condiciones de hidrotratamiento. Además, muchos de los compuestos aromáticos y otros hidrocarburos insaturados (no eliminados en las etapas previas) se encuentran en muy bajas concentraciones. Esto, aparte de no sólo mejorar su calidad, ayuda a disminuir las pérdidas por evaporación en los motores por acción de la temperatura.

El objetivo principal del aceite de base por hidrotratamiento (antes de ser usado) es el control de la estabilidad del color. Por lo tanto, los compuestos polares que producen el color marrón del aceite lubricante y también hacen que este color sea inestable, son eliminados a baja temperatura - baja intensidad de hidrogenación. En condiciones de presión y temperatura más extremas, el nitrógeno y el azufre son eliminados como NH_3 y H_2S a la atmósfera. Como consecuencia de ello también se produce una reducción de compuestos aromáticos (Botamino, 2010).

Dentro de esta modalidad de tratamiento se han desarrollado varias tecnologías de tratamiento. Algunas son:

- Tecnología KTI (Kinetics Technology International)
- Tecnología Mohawk
- Tecnología BERC o NIPER (Bartlesville Energy Research Center)
- Tecnología PROP
- Tecnología Safety Kleen
- Tecnología IFP / Tecnología Snamprogetti (Institut Français du Pétrole)
- Tecnología UOP DCH

A continuación, se indican las tecnologías anteriormente expuestas y los pasos ordenados de cada una de las tecnologías. (Tabla 9).

Tabla 9 Resumen de tecnologías. Posibilidad de reciclaje y aprovechamiento de los aceites usados.

	Meinken	KTI	Mohawk	Berc-Niper	Prop	Safety Kleen	IFP	Snamprogetti	UOP DCH	Viscoluble	RTI	Interline	Rose Kellog	Entra	Recyclon	Vaxton
Destilacion atmosferica	1	1	2	1		1	1	1		1	2	3				
Pretratamiento quimico			1													
Desmetalizacion					1											
Separacion											1					
Extraccion disolvente				3			4	2,5				1	1			
Recuperacion				4				3				2				
Trtam. Acido-tierras	2															
Destilacion al vacio		2	3	2	2		2	4	3	2	3,4	4	2	1,2	1	1
Tratamiento quimico									2					3	2	2
Hidrogenacion		3	4	6	3	3	3,5	6	1	3			3			
Destilacion pelicula fina	3					2								4	3	3
Fraccionamiento		4	5	5	4			4					4			
Tratamiento en tierras				7								5				
Autoclave ultrafiltracion																

Fuente: Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL) Plan de Acción para el Mediterráneo, noviembre de 2000.

ELEMENTOS NECESARIOS PARA ESTA FASE

Para realizar el proceso de destilación e hidrogenación con un rendimiento de 50 litros cada 4 horas se requiere:

- Equipo de destilación al vacío (Ilustración 9)
- Sulfuro de hidrógeno (H₂S), Amoniaco (NH₃)

Ilustración 9 Destilador al vacío



Fuente: Zhengjiu Machinery

3.2.2.3 COSTOS

Costo del equipo puesto en planta: \$ 23.787.000 Proveedor: Hangzhou Cema Instrument Co., Ltd.

FACILIDAD DE IMPLEMENTACION

El proceso de hidrotratamiento (HDT) se realiza bajo una temperatura de reacción de 300 ~ 410 °C, una presión de reacción de 30 ~ 220 kg/cm² una velocidad espacial horaria de líquido (LHSV) de 0,1 ~ 3,0 h⁻¹ y una relación en volumen de hidrogeno a material de alimentación de 500 ~ 3000 Nm³/m³, y puede reducir notablemente las impurezas (por ejemplo, azufre, nitrógeno, metal) y los compuestos aromáticos de dos anillos o más incluidos en el material de alimentación en las condiciones optimizadas. En este caso, es importante que de ser posible, se reduzca la intensidad de la reacción de hidrotratamiento siempre que las impurezas no influyan en el ciclo de vida de un catalizador de la etapa posterior. La razón de esto es que, a medida que aumenta la intensidad de la reacción de hidrotratamiento, se reduce cada vez más la viscosidad del producto de reacción, y por tanto aparece una pérdida en términos de rendimiento de un producto de aceite base lubricante.

El catalizador usado en el método de hidrotratamiento puede incluir uno o más, seleccionados de elementos del grupo 6, 9 y 10 de la tabla periódica, y, preferiblemente, pueden incluir uno o más seleccionados de Co-Mo, Ni-Mo y combinaciones de los mismos. Sin embargo, el catalizador de hidrogenación no está limitado a ellos, y puede usarse independientemente del tipo de los mismos, siempre que tenga los efectos deseados de aceleración de una reacción de saturación de hidrógeno y eliminación de impurezas.

CRITICIDAD DEL PROCESO

Las condiciones de operación del proceso de destilación al vacío e hidrogenación se pueden controlar de diversas maneras dependiendo del grado de viscosidad y del rendimiento de un producto a obtener. Preferiblemente, el proceso de destilación al vacío opera a una temperatura en la parte inferior de la torre de 350 ~ 430 °C, una presión en la parte inferior de la torre de 18,7-21,3 kPa, una temperatura de la parte superior de la torre de 75 ~ 95 ° C y una presión en la parte superior de la torre de 8 ~ 10,7 kPa.

La efectividad de este proceso, al igual que el de la destilación al vacío, depende en gran medida del control de parámetros anteriormente descritos, los cuales se ajustan acorde con el producto a obtener.

IMPACTO AMBIENTAL

La utilización de equipos de destilación al vacío se lleva a cabo actualmente en la industria, primordialmente del petróleo, debido a su bajo impacto ambiental. La destilación al vacío permite disminuir el uso de disolventes, por lo cual permite ahorros de materia prima, así como la disminución de emisiones de COV's (Compuestos Orgánicos Volátiles) de los disolventes y reducción de residuos peligrosos.

En la industria de los lubricantes se han reducido los compuestos de azufre con el fin de evitar daños ambientales por lluvia acida, lo que hace la destilación al vacío de los aceites lubricantes más amigable ambientalmente.

Adicionalmente, para mitigar aún más el impacto de la destilación al vacío se pueden implementar las siguientes técnicas:

Considerar la reutilización del agua de un proceso en otro; por ejemplo, utilizar la purgación de las calderas de alta presión como alimento para las calderas de baja presión, o emplear el efluente tratado como agua de complemento, donde sea posible.

Aplicar el diseño de sistemas que reciclan el agua repetidamente para el mismo propósito. Por ejemplo, el uso de torres de enfriamiento o la utilización del condensado de vapor como alimento para las calderas.

Durante el proceso se generan residuos sólidos contenidos en el *gas oil*, los cuales pueden ser utilizados como fuente de combustible alterna para calderas y no representan un impacto ambiental adicional (Gomez C., 2007).

EFFECTIVIDAD DEL PROCESO

De acuerdo con la patente europea “Método para preparar aceites base lubricantes mediante el uso de aceite desasfaltado destilado a vacío”, cuando el aceite desasfaltado pesado obtenido

por destilación a vacío de aceite se introduce en un proceso de reacción catalítica, puede obtenerse con un alto rendimiento un aceite base lubricante pesado de alta viscosidad (grado: 150BS), que no se puede obtener por un método de reacción catalítica convencional. Además, cuando el aceite desasfaltado ligero obtenido por la destilación a vacío de aceite se introduce en un proceso de reacción catalítica, pueden producirse aceites base lubricantes pesados de alta calidad.

Las propiedades del aceite desasfaltado (DAO, por sus siglas en inglés) obtenido mediante la mezcla de aceite residual atmosférico (AR) y aceite residual de vacío (VR) a una proporción de 1:1 y realizando luego un proceso de desasfaltado con disolvente (SDA), así como las propiedades del aceite desasfaltado ligero (Lt-DAO, por sus siglas en inglés) y el aceite desasfaltado pesado (H-DAO, por sus siglas en inglés) obtenidos por destilación al vacío de la mezcla, se muestran a en la tabla 10.

Tabla 10 propiedades del aceite desasfaltado

Elemento	Unidad	DAO de intervalo completo	Lt-DAO	H-DAO
API	15,6 ^a	21,2 ^a	23,4	20,3
Azufre	% p	2,8	2,6	2,9
Nitrogeno	ppm en peso	930	640	1420
HPLC (análisis de aromaticos)	MAH (%)	32	29,4	35,5
	DAH (%)	10,5	12,6	11
	PAH (%)	7,7	5,1	8,9
	TAH (%)	50,2	47,1	55,4
Destilacion (%) ASTM D-2887	de ebullicion	247	227	410
	10%	380	342	481
	30%	446	396	523
	50%	493	428	555
	70%	539	455	586
	90%	606	490	636
	de ebullicion	720	572	720

Fuente: SK INNOVATION. Método para preparar aceites base lubricantes mediante el uso de aceite desasfaltado destilado a vacío, 2011 Seoul.

MARCO REFERENCIAL

Este proceso se encuentra patentado en la oficina española de patentes y marcas de España bajo el número de publicación 2610955 en junio de 2011, sin embargo, en la documentación revisada no se encuentran casos de implementación, ni historial de plantas que en la actualidad implementen este proceso.

3.3.2 PROCESOS DE DESTILACIÓN AL VACÍO Y TRATAMIENTO EN TIERRAS

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Este proceso combina la destilación al vacío y el tratamiento posterior del mismo con tierras, con el fin de general un producto de mejor calidad. Existen varias tecnologías para realizar este tratamiento, cuya variación principal consiste en el método de destilación al vacío.

Tecnología Viscolube: La tecnología Viscolube, también conocida como TDA (Thermal Deasphalting) se basa en la utilización de propano, seguido de una destilación al vacío y tratamiento final en tierras.

Los pasos básicos del proceso son los siguientes:

1. Destilación: la fase conlleva la separación del agua y compuestos ligeros.
2. Destilación al vacío (columna TDA) y fraccionamiento: en esta fase se separan compuestos organometálicos y minerales asfálticos y se producen tres fracciones de aceites de base.
3. TCT (tratamiento térmico en tierras): fase en la que se mejoran las características de las tres fracciones de aceites de base separadas en la fase anterior.
4. Filtración a presión.

Como mayores inconvenientes se debe destacar que el rendimiento obtenido es de un 72% (inferior al obtenido con tecnologías de hidrogenación), no admite aceites con un contenido de policlorobifenilos superior a 25 ppm, y que se pueden dar problemas para el posterior tratamiento de las tierras utilizadas durante el proceso. Actualmente hay plantas que utilizan esta tecnología, como la planta Pieve Fissiraga (Milán, Italia), puesta en funcionamiento en 1992. La segunda entró en funcionamiento en Polonia en 1994, y una tercera en Italia en 1995 (Gomez C., 2007).

Tecnología RTI: La tecnología RTI utiliza por primera vez torres de destilación al vacío de tipo ciclónico, trabaja hasta 20 mm de Hg, el aceite se inyecta a gran velocidad y los aceites obtenidos se someten a un tratamiento de limpieza a través de tierras y posterior filtrado en filtro de prensa.

Los pasos básicos de este proceso son los siguientes:

1. Separación del agua: en esta fase se realiza la deshidratación y posterior calentamiento del aceite usado.
2. Destilación atmosférica: esta fase tiene como objetivo la eliminación de las emulsiones acuosas y fracciones combustibles.

3. Destilación al vacío: en esta fase se realiza la vaporización de fracciones combustibles medias. La destilación se produce a 100 mm Hg.
4. Tratamiento en tierras: en esta fase se realiza el refinado y mejora de las características de las fracciones obtenidas. Hidrocarburos ligeros, almacenaje intermedio.
5. Destilación al vacío: En esta fase se realiza la destilación en torres ciclónicas a una presión de 20 mm Hg. El aceite se inyecta a alta velocidad, generándose una fuerza centrífuga que ayuda a la separación de los aditivos y contaminantes que todavía hay en la fracción de aceite usado.
6. Tratamiento en tierras: el aceite obtenido en la fase anterior se mezcla con tierras de diatomeas y tierras activas, para finalmente ser filtrado. Este proceso también permite la transformación de plantas basadas en tecnologías ácido/ tierras (Gomez C., 2007).

Tecnología Interline: La tecnología Interline conlleva una de las más recientes innovaciones en las tecnologías de destilación al vacío y tratamiento en tierras. En este caso el tratamiento químico se sustituye por una extracción con propano, en fases iniciales, y a temperatura ambiente (Coronado, 2017).

Los pasos básicos de este proceso son los siguientes:

1. Extracción con disolventes.
2. Separación del aceite.
3. Destilación atmosférica.
4. Destilación al vacío.
5. Tratamiento de filtrado en tierras.

Como inconvenientes se debe destacar el hecho de que esta tecnología no acepta aceites que contengan PCB's⁵, y el contenido en cloro del aceite usado ha de ser como máximo de 1.000 ppm. La eliminación de tierras procedentes del filtrado final también puede ocasionar problemas (Gomez C., 2007).

Tecnología Rose – Kellog

Este proceso consiste en la extracción con propano en dos fases. En la primera fase se extraen asfaltenos sometiendo el aceite a una temperatura y presión determinadas. En la segunda fase, la solución de aceite y disolvente se somete a temperatura y presión que permite la separación del aceite y del disolvente. Este se recupera y reutiliza nuevamente en el ciclo.

Los pasos básicos de esta tecnología son:

1. Extracción con disolvente.
2. Destilación al vacío.

⁵ Polychlorinated biphenyls o Bifenilos policlorados.

3. Hidrogenación.
4. Fraccionamiento.

Esta tecnología, con la recuperación del disolvente en condiciones supercríticas, permite un ahorro energético importante (Gomez C., 2007).

ELEMENTOS NECESARIOS PARA ESTA FASE

Para realizar la destilación al vacío y tratamiento con tierras a una capacidad de 3 litros por hora se requieren los siguientes equipos:

- Caldera
- Destilador en vacío
- Tierras
- Hidrógeno

COSTOS

En la Tabla 11, se relacionan los costos de implementación del proceso de destilación al vacío y tratamiento en tierras. Estos costos son de los elementos puestos en planta.

Tabla 11 Costo de proceso de destilación al vacío y tratamiento en tierras.

EQUIPO	COSTO	Proveedor
Caldera capacidad de 0,5 a 20 Ton marca Yuanda	\$ 16.866.569	Yuanda Boiler
Destilador en vacío, cap. 3 l/Hr	\$ 73.018.321	Danica Liu Xian Toption Instrument Co., Ltd.
Total	\$ 89.884.890	

Fuente: www.boilerindustrial.com, www.toption.en.alibaba.com

FACILIDAD DE IMPLEMENTACION

Se ha encontrado que la extracción de solventes seguida de la adsorción es uno de los procesos más competitivos para el reciclaje del aceite lubricante usado. Sin embargo, el disolvente elegido debe tener máxima solubilidad para aceite base y mínimo para aditivos y materias carbonosas. La extracción de solventes seguida de la adsorción es un proceso que aumenta el ciclo de los aceites lubricantes usados. Esta es una tecnología limpia, en su mayoría atractiva y muy usada a nivel mundial. El objetivo clave de este proceso es disminuir en un 75% las

impurezas contenidas en el aceite usado, mediante la extracción con solventes adecuados. (Hernandez Pedraza & Maldonado Rodriguez, 2020)

CRITICIDAD DEL PROCESO

La destilación permite la separación de los componentes de una mezcla de componentes en función de sus temperaturas de ebullición.

Para que se produzca la “separación o fraccionamiento”, se debe alcanzar el equilibrio entre las fases líquido-vapor, ya que de esta manera los componentes más livianos o de menor peso molecular se concentran en la fase vapor y por el contrario los de mayor peso molecular predominan en la fase líquida.

El equilibrio líquido-vapor, depende principalmente de los parámetros termodinámicos, presión y temperatura del sistema. Las unidades se diseñan para que se produzcan estos equilibrios en forma controlada y durante el tiempo necesario para obtener los resultados esperados, por lo que se considera que no es un proceso crítico (Ruiz, 2016).

De igual forma, la manipulación, ya sea de tierras *fuller* o de arcilla, no representa mayor grado de complejidad, por lo que se considera que esta técnica tiene un grado de criticidad bajo.

IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental generado por este proceso es positivo, ya que permite la recuperación del aceite usado, reduciendo la generación del mismo por las industrias.

Durante el proceso se generan residuos sólidos contenidos en el *gas oil*, los cuales pueden ser utilizados como fuente de combustible alterna para calderas y no representan un impacto ambiental adicional. (Gomez C., 2007)

EFFECTIVIDAD DEL PROCESO

El rendimiento obtenido es de un 72% (inferior al obtenido con tecnologías de hidrogenación), no admite aceites con un contenido en PCB's superior a 25 ppm.

Sin embargo, sigue siendo un proceso efectivo a la hora de reutilizar aceite usado, el aceite procesado bajo este método cumple con la norma NTC 3382 Petróleo y sus derivados. Aceites para uso hidráulico.

MARCO REFERENCIAL

Actualmente hay plantas que utilizan esta tecnología como la planta Pieve Fissiraga (Milán, Italia) puesta en funcionamiento en 1992. La segunda entró en funcionamiento en Polonia en 1994 y una tercera en Italia en 1995.

En el trabajo titulado “evaluación de un proceso para la recuperación de bases lubricantes contenidas en los aceites lubricantes industriales usados” escrito por Juan David Hernandez y Andres Felipe Maldonado en 2020, se presenta una propuesta basada en dos métodos de ensayos, en el cual se concluye que el proyecto es viable y rentable, presentando las ventajas que representa en costos la implementación del proyecto.

3.4 TIPOS DE METODOLOGÍAS DE COMBUSTION

3.4.1 APLICACIÓN DIRECTA COMO COMBUSTIBLE

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El aceite usado puede aplicarse como combustible directo sin ningún tipo de tratamiento, para procesos que requieran altas temperaturas, sin embargo, es necesario mantener el control de las emisiones generadas durante su combustión.

Para la incineración del aceite usado se realiza su combustión en hornos de fábricas a temperaturas superiores a los 1000 °C, con un tiempo de residencia alto, y su adecuado control, con la finalidad de garantizar la combustión completa. Adicionalmente, instalar sistemas de filtración se permite reducir hasta en 99% las emisiones de partículas sólidas nocivas, tales como el hollín y el carbón. Con ello estaremos considerando minimizar grandemente el impacto ambiental en la atmósfera, ya que éste es mucho menor que el provocado al disponerlo en alcantarillas o suelos (Cortés Mesa & Nielsen Avella, 2019).

Cabe destacar que, de acuerdo con las normas internacionales, es recomendable la combustión de aceites usados en hornos de gran capacidad y temperaturas elevadas, como combustible único, y no realizarlo en pequeños hornos o calderas, en los cuales se recomienda su uso mezclado con los combustibles Diésel o Bunker en proporciones de 95% combustible y 5 % de aceite usado. El poder calorífico del aceite usado debe ser lo suficientemente alto por sí sólo o al combinarse con otros combustibles para mantener temperaturas de combustión consistentes con una eficiente destrucción del residuo y con la operación del horno o caldera. Es por ello que los usos recomendados son:

- **Plantas de fabricación de cemento**

En los hornos de las plantas de fabricación de cemento se requieren altas temperaturas para transformar las materias primas en cemento. Estas materias primas son altamente alcalinas, por lo tanto, estos hornos cumplen las condiciones ideales para la recuperación energética de los aceites usados en condiciones controladas que eviten la emisión de elementos contaminantes, como lo son hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos clorados y metales pesados. Estos se destruyen en las plantas de producción de cemento gracias a las elevadas temperaturas.

Cuando se utilizan aceites usados como sustitutos de combustibles convencionales no se aprecian incrementos significativos en cuanto a emisiones de partículas en la atmósfera, en particular de compuestos orgánicos, dioxinas, furanos y otros (Cortés Mesa & Nielsen Avella, 2019).

- **Combustible para calefacción**

Esta aplicación normalmente se da en talleres mecánicos de automoción, de manipulación de hierro, etc. En este caso el aceite usado es quemado en estufas especialmente diseñadas para la utilización de este tipo de combustible. Con este sistema se dan emisiones a la atmósfera de metales volátiles, principalmente plomo y cloruros. No obstante, las emisiones de plomo se pueden considerar mínimas respecto a otras fuentes de emisión (Cortés Mesa & Nielsen Avella, 2019).

ELEMENTOS NECESARIOS PARA ESTA FASE

- Filtro

COSTOS

Tabla 12 Costo de uso de aceite directamente como combustible

EQUIPO	COSTO	Proveedor
Filtro absoluto de Alta Temperatura en acero galvanizado	\$ 9.000.000	Tecnofar quim
Total	\$ 9.000.000	

Fuente: www.tecnofarquim.com

3.4.2 APLICACIÓN COMO COMBUSTIBLE DESPUÉS DE UN LEVE TRATAMIENTO

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El aceite usado se puede usar de forma similar al combustible diésel. Para este uso, el aceite usado debe ser filtrado previamente. El proceso se realiza de la siguiente manera:

- Como primera fase es necesario asegurarse de que el aceite usado no tenga contaminantes líquidos, lo cual puede hacerse a simple vista. Algunos contaminantes, que se originan cuando el motor está averiado, son el agua y el líquido anticongelante. En el caso de que el aceite esté contaminando con alguna de estas sustancias deberá ser descartado ya que no se puede utilizar para esta aplicación.
- Se debe contar con un sistema de filtrado de pintura, el cual se conecta con un recipiente de 15 galones, de forma tal que la salida del filtro se dirija hacia el recipiente.
- El sistema de filtrado se conecta con un embudo grande, luego lentamente se vierte el aceite usado en el sistema de embudo. Es importante asegurarse de no llenarlo demasiado y dejar un tiempo para que el líquido escurra a través del embudo y filtro hasta el recipiente de 15 galones.
- Una vez filtrado todo el aceite, se debe desechar el filtro utilizado, dando disposición adecuada al mismo, Se desconecta el sistema de filtrado del recipiente de 15 galones y de acuerdo a la cantidad recolectada en el recipiente se debe agregar una proporción de combustible diésel al recipiente igual a la cantidad de aceite filtrado.
- Se tapa el recipiente y se agita con el fin de generar una mezcla homogénea. Se requiere un tiempo mínimo de mezclado de 15 minutos. De no estar totalmente homogénea luego de este tiempo, se debe agitar nuevamente durante otros 15 minutos aproximadamente. Este procedimiento se debe realizar hasta que la mezcla quede totalmente homogénea (Dupouy, 2017).

ELEMENTOS NECESARIOS PARA ESTA FASE

- Sistema de filtrado de pintura
- Recipiente de 15 galones
- Embudo

COSTOS

En la tabla 13 se detallan los costos asociados a la implementación del aceite usado como combustible después de un leve tratamiento.

Tabla 13 Costo de uso de aceite como combustible después de un leve tratamiento

EQUIPO	COSTO	Proveedor
Sistema de filtrado de pintura	\$ 2.229.900	Wagner
Recipiente de 15 galones	\$ 39.000	Polytec
Embudo	\$ 50.000	Plews
Total	\$ 2.318.900	

Fuente: www.wagnerlatam.co, www.polytec.com.gt, www.plews-edelmann.com

3.5 EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS

Con el fin de escoger la metodología que mejor se pueda ajustar a lo que se requiere y pueda implementarse en Bogotá, se evalúan las metodologías anteriormente descritas (Tabla 14), con base en 6 aspectos, los cuales se escogen a partir de las debilidades y amenazas observadas en la matriz DOFA. Estos factores reciben una ponderación de acuerdo al grado de relevancia que tienen a la hora de escoger el método más adecuado para las medianas industrias en Bogotá. Cada aspecto se evalúa de 1 a 10, considerando 1 como la calificación más baja y 10 como la calificación más alta:

1. Facilidad de implementación: en la Matriz DOFA se identificó “la reputación sobre la dificultad para realizar el procedimiento”, como una de las amenazas para la implementación del proyecto, esto debido a que, al ser una nueva metodología, puede representar un choque cultural en cuanto a lo que se ha venido manejando. A la fecha ninguna industria se encarga de reutilizar los aceites usados generados, simplemente éstos se ponen a disposición de un tercero, lo cual no representa ningún costo adicional, ya que las empresas actualmente certificadas para el tratamiento de dicho residuo no generan costos por recolección del mismo. Por esto que se considera la facilidad de implementación como un factor clave a la hora de elegir una metodología, por lo cual, se asigna una ponderación del 15%.

2. Costo de implementación: Aunque una de las ventajas que ofrecen las diferentes metodologías de reutilización de aceite usado es la disminución de costos de inversión en aceite lubricante y en general la reducción de costos de operación, en cuanto menor sea el costo de inversión, menor será el tiempo de retorno de la misma, lo cual hará la implementación de la metodología mucho más atractiva para los empresarios del sector industrial, obteniendo así una mejor aceptación. Esto permitirá, a su vez que la implementación se expanda de manera más efectiva, generando una reputación favorable en cuanto a su implementación, a este factor se le asigna una ponderación del 15%.

3. Criticidad del proceso: Otra de las amenazas encontradas en la matriz DOFA fue “Si el proceso no se realiza de manera adecuada se puede poner en riesgo la maquinaria”. Es decir, si

la metodología no se implementa de manera adecuada, se pueden poner en riesgo tanto maquinaria, como equipos en los cuales se utilice algunos de los productos resultantes de la recuperación del aceite. Por esto se considera que entre menos complejo y crítico sea el proceso, mayor será la mitigación de riesgos y/o repercusiones sobre la maquinaria y equipo.

De igual manera entre menos crítico sea el proceso menor formación y capacitación se requiere para poder ejecutarlo y de esta manera la implementación se hace menos compleja, es por esto que se asigna una ponderación de 20%.

4. Impacto ambiental: Aunque como *plus* a la implementación de estas metodologías siempre se ha mostrado la mitigación del impacto generado por aceite usado, durante la revisión de las metodologías descritas se encontró que, durante los procesos de recuperación en algunas etapas y en algunos procesos, se pueden generar impactos ambientales y, aunque en algunos casos estos se pueden mitigar, en otros el control y mitigación de los mismos puede llegar a ser muy complejo. Por ende, al implementar una metodología que pueda llegar a generar algún impacto ambiental, se estaría retrocediendo y no avanzando, ya que actualmente las empresas que recuperan aceite en Bogotá generan pocos o ningún impacto al ambiente. Por esta razón se considera un aspecto importante a la hora de elegir una metodología de recuperación adecuada y su ponderación es del 15%.

5. Efectividad del proceso: Uno de los parámetros más importantes a la hora de recuperar aceite, son las características resultantes del aceite una vez recuperado, ya que cuanto más pequeñas sean las partículas presentes en el aceite recuperado, mayor podrá ser su gama de usos, la ponderación asignada para la evaluación es del 15%.

6. Marco referencial: Se considera de alta relevancia el marco referencial, tomando como referencia ejemplos de plantas en las cuales ya se haya implementado la metodología y su efectividad en las mismas, ya que se considera una base importante la experiencia adquirida, donde se logran evidenciar las ventajas y desventajas de la metodología propuesta, este factor es uno de los más importantes, dado que el marco referencial nos muestra las experiencias encontradas para implementaciones realizadas de cada técnica y se asigna una ponderación de 20%.

7. Nivel de madurez tecnológica (TRL): Un TRL es una forma aceptada de medir el grado de madurez de una tecnología. Por lo tanto, si consideramos una tecnología concreta y tenemos información del TRL o nivel en el que se encuentra podremos hacernos una idea de su nivel de madurez.

Se consideran 9 niveles que se extienden desde los principios básicos de la nueva tecnología hasta llegar a sus pruebas con éxito en un entorno real:

- TRL 1: Principios básicos observados y reportados.
- TRL 2: Concepto y/o aplicación tecnológica formulada.

- TRL 3: Función crítica analítica y experimental y/o prueba de concepto característica.
- TRL 4: Validación de componente y/o disposición de los mismos en entorno de laboratorio.
- TRL 5: Validación de componente y/o disposición de los mismos en un entorno relevante.
- TRL 6: Modelo de sistema o subsistema o demostración de prototipo en un entorno relevante
- TRL 7: Demostración de sistema o prototipo en un entorno real.
- TRL 8: Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones.
- TRL 9: Sistema probado con éxito en entorno real (mincotur, 2020)

Tabla 14 Evaluación de metodologías (Apéndice 4).

Metodología	facilidad de implementación	Costo de implementación	Criticidad del proceso	Impacto ambiental	efectividad del proceso	Marco	TRL	Calificación final
Destilación al vacío	Es una metodología que requiere un amplio espacio para su implementación, así como la compra, mantenimiento e instalación de diferentes equipos, sin embargo venden equipos que cumplen la misma función.	\$ 4.152.156,2	Medio	Medio, las partículas quedan separadas en segmentos, por lo que se puede dar una clasificación y por ende disposición final eficiente	La efectividad del proceso, es alta dado que se hace por etapas garantizando el resultado final	Altamente referenciada bajo aspectos positivos	TRL 9	7,10
	0,90	0,60	1,20	1,05	1,35	2,00		
Ultrafiltración	Es bastante práctico, ya que se puede adquirir un solo equipo y su uso es sencillo	\$ 10.203.000	Sencillo	Alto, todas las partículas quedan mezcladas en las diferentes membranas del equipo, por lo que su clasificación se puede volver compleja	Dada la precisión que se le puede dar al dispositivo de filtrado, de acuerdo a la membrana que se necesite la efectividad es muy alta	No se encuentran referenciadas	TRL 9	6,70
	1,20	1,20	2,00	0,60	1,50	0,20		
Diálisis y filtración	Es bastante práctico, ya que se puede adquirir un solo equipo y su uso es sencillo	\$ 87.020.000	Complejo	Alto, todas las partículas quedan mezcladas en el equipo, por lo que su clasificación se puede volver compleja	Alta, dada la precisión del equipo	Se encuentran pocas referencias	TRL 2	4,60
	0,75	0,30	0,60	0,90	1,05	1,00		
Procesos de tratamiento en ácido / tierras	Complejo, dado el manejo que se debe hacer de ácidos durante el proceso	\$ 18.712.900	Crítico	Alto	Alta	Pocas referenciadas	TRL 9	3,60
	0,15	1,05	0,20	0,15	0,45	1,60		
Procesos de destilación al vacío e hidrogenación	Complejo, ya que se debe adquirir maquinaria, equipo y contar con un espacio amplio para su instalación	\$ 23.787.000	Medio	Medio	La efectividad del proceso, es alta dado que se hace por etapas garantizando el resultado final	Altamente referenciada bajo aspectos positivos	TRL 9	6,70
	0,60	0,90	1,00	1,20	1,20	1,80		
Procesos de destilación al vacío y tratamiento en tierras	Complejo, se debe adquirir equipo, contar con espacios para el equipo	\$ 89.884.890	crítico dado el uso de sustancias peligrosas	Alto	Alto	Pocas referenciadas	TRL 9	4,00
	0,45	0,15	0,80	0,45	0,75	1,40		
Aplicación directa como combustible	sencillo	\$ 9.000.000	Sencillo	Bajo	Baja	Pocas referenciadas	TRL 5	6,55
	1,50	1,35	1,80	1,35	0,15	0,40		
Aplicación como combustible después de un leve tratamiento	sencillo	\$ 2.318.900	Sencillo	Medio, dado que hay que dar disposición adecuada a los residuos resultantes del proceso	Media	Pocas referenciadas	TRL 5	6,65
	1,35	1,50	1,40	1,50	0,30	0,60		
Aplicación como combustible después de un severo tratamiento	Compleja	\$ 4.152.156,2	crítico dado el uso de sustancias peligrosas	Medio	Alta	Pocas referenciadas	TRL 6	3,55
	0,30	0,45	0,40	0,30	0,90	1,20		

Fuente: El autor

Aunque su implementación no es tan sencilla, se elige el método de destilación al vacío, ya que no representa un mayor impacto ambiental, garantizando la viabilidad de la propuesta y en la documentación revisada es uno de los procesos más utilizados, por lo cual se logra evidenciar casos de éxito. De esta forma se podrá garantizar mejores resultados al ser implementado.

4 Capítulo

4.1.1 PROPIEDADES RESULTANTES DEL ACEITE RECUPERADO

El aceite recuperado ideal deberá ser lo suficientemente viscoso para mantener las para generar un régimen hidrodinámico, debe permanecer estable ante los cambios de temperatura, tener la capacidad de mantener limpias las superficies lubricadas, no permitir la formación de residuos gomosos ni de lodos y no debe ser corrosivo.

El proceso de destilación al vacío tiene como principal ventaja el producir un aceite lubricante con un alto índice de viscosidad, buena resistencia a la oxidación y con un color óptimo y estable. Además, cabe recalcar que el rendimiento del proceso es bastante alto a diferencia de otros de los procesos descritos a lo largo del documento.

Otro aspecto significativo de este método es que todos sus subproductos tienen buena aplicabilidad. Los subproductos que se pueden obtienen son los siguientes:

1. Hidrocarburos ligeros: estos pueden ser utilizados como combustible en la propia planta.
2. Gasóleo: que también puede ser consumido en la propia planta.
3. Residuo de la destilación: puede ser mezclado con asfalto para pavimentación de carreteras, buscando con esto mitigar el impacto ambiental que pueden implicar los mismos y eliminando el proceso de clasificación y disposición adecuada de los mismos.

Para poder generar como resultado la caracterización indicada del aceite usado se deben tener las siguientes condiciones de trabajo:

- Temperatura 250-370°C
- Presión: 60-73 bar
- Velocidad horaria del efluente: 1-2,3
- Grado de pureza del H₂: 70%

Uno de los indicadores de calidad para determinar si el método de regeneración ha funcionado correctamente, es comparar el contenido de PCB's (policlorobifenilos), en el aceite antes y después de ser sometido al proceso de re- refinamiento y también compararlo con uno virgen (Botamino, 2010).

En la tabla 15 se presentan las diferentes características del aceite, para las cuales se tomaron en cuenta:

1. Apariencia: la apariencia es un indicador natural del estado de los aceites lubricantes. Estos atributos pueden estar relacionados con la presencia de compuestos que se puedan encontrar en el aceite y que hagan perder sus propiedades.
2. Color: Cuando observamos un aceite lubricante a través de un recipiente transparente el color nos puede dar idea del grado de pureza o de refinamiento

3. Punto de ignición: El punto de ignición o inflamación de un aceite lo determina la temperatura mínima a la cual los vapores desprendidos se inflaman en presencia de una llama.
4. Punto de fluidez: se define como la temperatura más baja a la cual un lubricante fluiría. Erróneamente se utiliza con frecuencia como el criterio de selección de la viscosidad del aceite
5. Viscosidad: Es la resistencia que un fluido opone a cualquier movimiento interno de sus moléculas, dependiendo, por tanto, del mayor o menos grado de cohesión existente entre estas.
6. índice de viscosidad: Mide la variación de la viscosidad con la temperatura. A mayor índice de viscosidad mayor es la resistencia del fluido a variar su viscosidad con la temperatura. Las ventajas de un mayor índice de viscosidad son:
 - Menor viscosidad a baja temperatura. El motor arrancará mejor y consumirá menos combustible durante el calentamiento.
 - Mayor viscosidad a mayor temperatura. Lo que se traduce en un menor consumo de aceite y menor desgaste

Tabla 15 Características del aceite lubricante virgen y el aceite lubricante re-refinado

Propiedad	Aceite lubricante virgen	Aceite lubricante re-refinado
Apariencia	Claro y homogéneo	Claro y homogéneo
Color	Max. 2,5	1
Punto de ignición, °C	Min. 215	234
Punto de Fluidez	Max. -6	-3
Viscosidad a 40°C, SSU [1]	Min 9,5	9,63
Índice de viscosidad	Min 90	92
agua y sedimentos (% en volumen)	Max 0,02	Trazas ⁶

Fuente: Botamino, I. (2010). Desde el aceite lubricante usado hasta su puesta en el mercado tras su regeneración. . Escuela de Organizacion Industrial.

⁶ **Traza:** también denominado micronutriente; en bioquímica, es un compuesto químico que es necesario en cantidades ínfimas para el crecimiento, desarrollo y fisiología de un organismo.

5 Capítulo

5.1.1 NORMATIVIDAD A CUMPLIR PARA A RECUPERACION DE ACEITE

A través de la Resolución 1188 de 2003, mediante la cual se adopta el manual de normas y procedimientos para la gestión de aceites usados en el Distrito Capital, se establecen las normas y parámetros a cumplir por parte de los entes involucrados en el almacenamiento, transporte y transformación de los aceites usados en Bogotá, este documento es de tipo Resoluciones y pertenece a la normatividad del marco legal de la Secretaria Distrital de Hábitat.

En cuanto a lo que a la implementación del proyecto compete se requiere realizar las siguientes inversiones que a su vez cumplan con los parámetros indicados.

Tabla 16 Normatividad

Área	Requisitos a cumplir	Elementos de protección personal
Zona de lubricación:	<ul style="list-style-type: none"> - Zonas debidamente identificadas - Piso sólido impermeable, no debe tener ningún tipo de bache o grieta. -No debe tener ningún tipo de conexión con el sistema de alcantarillado. -Los espacios deben estar libres para garantizar facilidad en la movilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Overol y/o ropa de trabajo -Botas o zapatos antideslizantes. -Guantes con resistencia a los hidrocarburos. -Gafas de seguridad.
Sistema de drenaje y/o embudo	<ul style="list-style-type: none"> -Garantizar traslado seguro hasta el recipiente primario. -Debe estar diseñado con el fin de evitar derrames y/o goteos. 	N/A
Recipiente de recibo primario	<ul style="list-style-type: none"> -Permitir traslado desde el punto de remoción hasta el punto de almacenamiento. -Debe estar fabricado en un material resistente a la acción de los hidrocarburos. -Debe contar con agarraderas de manipulación segura. -Debe contar con un mecanismo de fácil trasvasado. 	N/A
Recipiente para drenaje	<ul style="list-style-type: none"> - Volumen max 5 gal. Debe estar dotado de un embudo o malla de soporte. -Contar con agarraderas para garantizar el traslado de aceite sin derrames o fugas. -Contar con mecanismo de trasvasado que garantice que el trasvasado se realice sin derrames. 	N/A
Tanques superficiales y/o tambores	<ul style="list-style-type: none"> -Garantizar en todo momento la confinación del aceite. -Fábricas en material resistente a los hidrocarburos. -Permitir el traslado garantizando que no se presenten derrames. -Contar con sistema de filtración instalado en la boca de recibo y que garantice el bloqueo de ingreso de partículas superiores a 5mm. - Estar rotulados con la palabra ACEITE USADO en tamaño legible (mínimo 20 cm x 30cm). - En el sitio de almacenamiento de debe señalizar PROHIBIDO FUMAR EN ESTA ÁREA y ALMACENAMIENTO DE ACEITES USADOS. 	N/A

Fuente: El autor

6 Capítulo

6.1 IMPACTO ECONÓMICO, AMBIENTAL Y SOCIAL

6.1.1 IMPACTO ECONÓMICO DEL USO DEL ACEITE RECUPERADO

A continuación, se presenta el estudio de viabilidad financiera del proceso de destilación al vacío de aceites lubricantes junto a su rentabilidad. Para esto se tiene en cuenta costo de materia prima, mano de obra, servicios públicos y otros.

Se realizará un flujo de caja global para 5 años de prueba del proyecto para determinar indicadores financieros como (VPN), (TIR), (IR).

Inversión en equipos:

Tabla 17 Equipos destilación al vacío

Elemento	Costo	Proveedor
Tanque alimentación capacidad 1000 L.	\$ 240.291	Eternit
Caldera capacidad de 0,5 a 20 Ton marca Yuanda	\$ 8.000.000	Yuanda Boiler
Ducto (hacia el condensador) Tubo en acero al Sch 40	\$ 2.798.421	Coval
Condensador capacidad 500 L.	\$ 19.554.000	Open water
Pulmón de livianos, capacidad 250 L.	\$ 105.291	Eternit
Bomba de vacío cap. 340 L.	\$ 1.827.000	Mauja store
Pulmón (fuel oil) cap. 500 L.	\$ 129.990	Eternit
Total	\$ 32.654.993	

Fuente: El autor

6.1.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera se proyecta para 5 años, que corresponden al periodo de tiempo 2021-2025 (Ver apéndice 1).

1- Gastos de administración:

Para el proceso de recuperación de aceite usado seleccionado se necesita un operario para la recepción aceite usado que entran a la planta, el manejo de equipos y empaque del producto final, para llevar el control de insumos y el control de los parámetros que afectan al proceso, quien tendrá un salario mínimo todas las prestaciones de ley como son: Pensión 12%, salud 8,5%, cesantías 8,33%, intereses a las cesantías 1%, vacaciones 4,17%, prima de servicios 8,33%, aportes parafiscales 9%, riesgos profesionales y dotación aproximada 5%⁵⁷.

- 1- **Gastos de mantenimiento:** se consideró el costo de mantenimiento de los equipos como el 3% de la inversión inicial.
- 2- **Gastos de servicios:** Se consideran los gastos de servicios públicos como son Agua, Gas y energía a las tarifas estipuladas por las empresas autorizadas en Bogota a costo industrial.
- 3- **Indicadores:** Los indicadores a continuación presentados, son resultado de la evaluación financiera realizada (Anexo 1).
 - TIR: 21,96%
 - VPN: \$38.440.013
 - *Payback*: 5 años
- 4- **Comparación económica:** Después de realizada la evaluación financiera, se encuentra que el costo mensual de recuperar aceite al interior de la industria a través de destilación al vacío es de \$2.165 por litro, ya que el equipo cuenta con una capacidad de destilación de 1300 L/mes, mientras que realizar el proceso por fuera tiene un costo de \$12.852 (Apéndice 2).
- 5- **Análisis tribológico:** a los costos anteriormente mencionados, cada vez que cambie el lote de aceite usado, se debe realizar un análisis de laboratorio con el fin de conocer el estado físico-químico del aceite. Este tiene un costo de \$172.550 de acuerdo a lo cotizado con la empresa Ingenieros en Lubricación. Este análisis se debe realizar tanto al interior de la empresa como con una compañía externa (Apéndice 3).

6.2 IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DEL ACEITE RECUPERADO

La recuperación de aceite usado permite ahorro en emisiones de CO₂ a la atmosfera, disminución de consumo de energía y menor contaminación de las fuentes hídricas, lo que permite generar desarrollo sostenible.

- Reducción en emisiones de CO₂: En España la regeneración de aceite lubricante usado permitió ahorrar 830.000 Ton de emisiones de CO₂ a la atmósfera, equivalente a lo que absorbería un bosque de chopos de 30 años y 242 hectáreas. Lo anterior dado que la regeneración es una gran aliada en la lucha contra el cambio climático. Por cada tonelada de aceite usado destinado a regeneración se evita la emisión a la atmósfera de 3 toneladas de CO₂ (SIGAUS, 2018). Como se indicó anteriormente, en Colombia en 2016 se registraron 86.243 Ton de residuos atribuidos a la clasificación del IDEAM Y9. Se estima que al menos el 65% de este valor es recuperable (SIGAUS, 2018), por tanto, la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera sería de al menos 168.173 Ton al año.
- Ahorro energético: Los aceites recuperados requieren solo un tercio de la energía usada en el petróleo crudo para convertirlo en aceite. Además, se necesitan 159 litros de petróleo crudo contra 3.78 litros de aceite usado para producir 2.36 litros de aceite de alta calidad. (Brwon, 2015). En España el SIGAUS permitió el ahorro de 15.800 GWh de energía ahorrada respecto al primer proceso de refinado, y 6.109 GWh de energía generada gracias al aceite usado valorizado energéticamente (SIGAUS, 2018).

6.3 IMPACTO SOCIAL DEL USO DEL ACEITE RECUPERADO

Recuperar y reciclar aceites usados tiene muchos beneficios asociados al consumo eficiente de agua, ahorros considerables en lubricantes y reducción de los costos de disposición.

- Uso eficiente del agua: El crecimiento acelerado de la población mundial aumenta las demandas por el consumo del agua, así mismo la incapacidad de los estados ha llevado a forjar un panorama que no promete un buen futuro en cuanto a la calidad del agua se refiere. La incapacidad de parar este crecimiento desata problemas que toman perfiles políticos, sociales y económicos. Para todos es claro que el agua es un recurso natural indispensable, que se relaciona con todas las actividades humanas, (la higiene personal, la alimentación entre otros) (Obando, Mora, Hernandez, Cardenas, & Lievano, 2019). Un litro de aceite usado tiene aproximadamente 5000 veces más de carga contaminante que el agua residual que podemos encontrar en las alcantarillas. Por ende, su poder contaminante al entrar en contacto con el agua limpia es sumamente elevado. Esto hace que el reciclaje de aceite permita reducir el riesgo que tiene el agua de ser contaminada por este agente graso.
- Impacto en la industria: El impacto económico en las industrias consumidoras de aceites lubricantes podría implicar una reducción de hasta un 85% en el consumo de aceites lubricantes, lo que traducido a cifras económicas implica un ahorro de cerca de 85.000 pesos por galón de aceite lubricante (una vez cumplido el tiempo de retorno de la inversión en la planta de recuperación de aceite usado), lo que permitirá a la industria colombiana mejorar sus ventajas competitivas en cuanto a la producción de bienes con respecto a las cifras actuales, generando desarrollo en económico y en consecuencia desarrollo social.

- Impacto en las petroleras: Un impacto social y económico negativo que se puede presentar, va asociado al desarrollo de las empresas que venden y distribuyen actualmente aceites lubricantes, dado que, según el DANE, la demanda anual de lubricantes en Colombia es de 1,5 millones de barriles. La venta de cerca de 600.000 motocicletas al año y la presencia de más marcas de vehículos, sugieren que el uso de lubricantes aumentará y permitirá la entrada de nuevas marcas de este producto. Al recuperar el aceite, estas ventas en vez de aumentar, disminuirían al menos un 65%, lo cual, afectará de manera negativa el mercado de lubricantes en Colombia.

7 Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Según el análisis realizado, el método más adecuado para ser implementado en Colombia por las industrias para recuperación de aceites es destilación al vacío, dado que es un proceso bastante conocido, de esta manera se mitiga una de las amenazas encontradas en la matriz DOFA, que es el desconocimiento de la industria ante los procesos que se pueden implementar.
- Aunque el método seleccionado en la presente propuesta fue destilación al vacío, durante la investigación realizada no se encontró ningún caso de estudio bajo ninguna de las técnicas revisadas en el cual la implementación haya sido fallida, por lo que se concluye que cualquiera de los métodos expuestos puede ser utilizado, siempre y cuando se busquen opciones para mitigar los impactos ambientales o controles de proceso adecuados con el fin de garantizar el producto final.
- El sistema de recuperación de aceite en Colombia ha sido poco explorado y explotado, lo cual, puede representar una gran ventaja en cuanto a innovación y desarrollo, tomando como base el sistema implementado por SIGAUS en España.
- Implementar un sistema de recuperación de aceite usado permite en las industrias colombianas disminución en los costos de operación y esto se puede ver reflejado en aumento de ventajas competitivas en el mercado.
- La propuesta presentada, tuvo como objetivo principal las medianas empresas, ya que éstas representan el mayor volumen de industrias en el país, sin embargo, esta propuesta puede ser aplicada en cualquier tipo de industria. Sólo se deben variar los equipos a utilizar.
- La recuperación de aceite puede representar un impacto positivo importante para el medio ambiente en Colombia, más aún cuando se evidencia que este tipo de residuo peligroso representa uno de los más generados en el país, garantizando mejorar la producción sostenible.
- En el presente trabajo y en los trabajos consultados se evidencia que recuperar el aceite usado representa una solución importante que abarca temas de salud pública, cuidado de recursos no renovables, aporte energético, mejora de situación estratégica de pequeños compradores en un mercado de grandes productores.
- Mientras más se expandan las operaciones de recuperación de aceites, más se avanzará culturalmente en cuanto la concientización de la sociedad sobre las mejores prácticas para la disposición de residuos y más efectivas serán las campañas de cara a la industria.

Bibliografía

- (CAR/PL), C. d. (2000). Posibilidades de Reciclaje y aprovechamiento de los aceites usados.
- ACIS. (2018). Obtenido de Sistemas de ultra-filtración 3M garantizan calidad del agua: <https://acis.org.co/portal/content/NoticiaDelSector/sistemas-de-ultra-filtraci%C3%B3n-3m-garantizan-calidad-del-agua>
- Ambiente, M. d. (2014). 5 LISTADO DE EMPRESAS GESTORAS DE RESIDUOS O DESECHOS PELIGROSOS POR AUTORIDAD AMBIENTA.
- Beltrán Pérez., Ó. D., Berrío Giraldo, L. I., Agudelo, É. A., & Cardona Gallo, S. A. (2014). Tecnologías de tratamiento para la tierra fuller contaminada con aceite dieléctrico. Scielo.
- Botamino, I. (2010). Desde el aceite lubricante usado hasta su puesta en el mercado tras su regeneración. . Escuela de Organizacion Industrial.
- BRUIN, L. (2018). Scanning the Environment: PESTEL Analysis.
- Brwon, M. C. (2015). Por qué debería recuperar y reciclar el aceite usado. Noria Corporation.
- Carreño, P. (2016). Reneration of used lubricant oils .
- Chuqui, M., & Romero, J. (2017). Propuesta de implementación de una planta de regeneración de aceites lubricantes usados en la ciudad de cuenca empleando el proceso de extracción de propano. Universidad Politecnica Salesiana.
- Coronado, M. (2017). El aceite usado de motor como combustible alternativo.
- Cortés Mesa, A. Y., & Nielsen Avella, M. S. (2019). Aprovechamiento de aceite lubricante automotriz usado, como nueva línea de negocio en la empresa EMIR S.A E.S.P. Universidad del Bosque.
- Delgado, J. G. (2006). ASFALTENOS composición, agregación, precipitación. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
- Destilación del petróleo. (s.f.). Obtenido de ECURED: https://www.ecured.cu/Destilaci%C3%B3n_del_petr%C3%B3leo
- Dupouy, F. (2017). Puro Motores. Obtenido de Cómo utilizar el aceite usado de motor como combustible en un diesel.: <https://www.puromotores.com/13180734/como-utilizar-el-aceite-usado-de-motor-como-combustible-en-un-diesel>
- Eduardoño. (s.f.). Obtenido de Purificacion de agua con ultrafiltracion: <https://www.eduardono.com/ambiental/2/Ficha-planta-ultrafiltracion-agua-potable.pdf>
- Esgraf. (2020). tipos de lubricantes env industria. Obtenido de <https://www.esgraf.com.mx/tipos-de-lubricantes-en-industria/>
- FIGEMPA. (s.f.). Proyecto manejo ambientalmente adecuado de los desechos aceitosos en el Ecuador. Universidad central del Ecuador.
- Galera, J. A. (2008). Claisificacion de los aceites lubricantes.
- Gomez C., G. G. (2007). La industria de la re-refinación de aceite mineral usado en Argentina.

Gyimes, L. F. (2010). DESARROLLO POR ULTRAFILTRACIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO A PARTIR DE LACTOSUERO. Universidad Nacional de Colombia Programa Interfacultades Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Hernandez Pedraza, J. D., & Maldonado Rodriguez, A. F. (2020). Evaluación de un proceso para la recuperación de bases lubricantes contenidas en los aceites lubricantes industriales usados. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.

Iagua. (2014). Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/fundacion-aquae/15/05/26/que-verter-litro-aceite-usado-contamina-1000-litros-agua-potable>

IDEAM. (2016). Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/informes-nacionales-de-generacion-de-residuos-o-desechos-peligrosos/-/document_library_display/7zHDIe

Ingenieros de lubricacion. (2017). Obtenido de Dializador de Aceite ILM1B30BV1C2F5-110: <https://www.ingenierosdelubricacion.com/productos/dializador-de-aceite-ilm1b30bv1c2f3-110/#:~:text=El%20DIALIZADOR%20DE%20ACEITE%20ILM1B30BV1C2F3,part%C3%ADculas%20s%C3%B3lidas%20que%20pueda%20tener.>

Ingenieros en lubricacion. (s.f.). Dializador de aceite. Obtenido de <https://www.ingenierosdelubricacion.com/wp-content/uploads/2016/04/brochure-dializador.pdf>

Julio L, P. N. (s.f.). RECICLAJE DEL ACEITE LUBRICANTE OUEMADO POR TRATAMIENTO ACIDO.ARCILLA, PARA SU USO A NIVEL INDUSTRIAL Y EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA. Revista científica Universidad de san carlos de Guatemala.

Lubridialisis. (s.f.). Lubridialisis. Obtenido de confiabilidad-y-ahorro: <http://lubridialisis.com/portafolio/confiabilidad-y-ahorro/>

Mendoza Haro, E. I., & Robles Salguero, R. E. (2015). RECICLAJE DE ACEITES USADOS PARA TRANSMISIÓN DE POTENCIA EN LAS INDUSTRIAS Y TALLERES DE SERVICIO DE LA CIUDAD DE MILAGRO, ECUADOR. Scielo.

Mesa, A. Y. (2019). Aprovechamiento de aceite lubricante automotriz usado, como nueva línea de negocio en la empresa EMIR S.A E.S.P. Universidad del Bosque.

Mincotur. (2020). NIVELES DE MADUREZ DE LA TECNOLOGÍA.

Muñoz, A. M. (2011). EVALUACION TECNICA Y AMBIENTAL DE UNA UNIDAD DE EVAPORACIÓN. Universidad Libre.

Obando, J., Mora, E., Hernandez, M., Cardenas, D., & Lievano, L. (2019). La calidad del agua y su impacto social. Espacios.

Oleofiltracion. (2020). Obtenido de <https://oleofiltracion.com/dialisis-de-aceite-industriales-dialisis-de-aceites-hidraulicos-y-lubricacion/>

ORCA. (s.f.). Orcaindustrial. Obtenido de <http://www.orcaindustrial.com/uploads/7/8/4/2/78420648/uf.pdf>

PENTAIR. (2014). PENTAIR. Obtenido de GUÍA DE APLICACIONES DE ULTRAFILTRACIÓN FRESHPOINT: https://www.pentair.com/content/dam/extranet/pentair/filtration/brochures/42680-s_pentair_freshpoint_rev-c_mr14.pdf

Plantas de rerrefino de aceites usados. (s.f.). Obtenido de SENER: <https://www.energy.sener/es/plantas-de-rerrefino>

Porex, D. d. (s.f.). Membranas tubulares en las tecnologías y sistemas industriales de filtración de aguas residuales. Obtenido de <http://www.porexfiltration.com/espanol/centro-de-aprendizaje/tecnologia/tmf-industriales-aguas-residuales/>

PURITEC. (2019). PURITEC. Obtenido de Ultrafiltración: <https://www.manantialwater.com.mx/purificacion/ultrafiltracion/>

QUA Group. (s.f.). Membranas sumergidas de ultrafiltración (MBR).

Reliabilityweb. (2019). Obtenido de <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/los-lubricantes/>

Ruiz, E. (2016). Destilación Atmosférica y al Vacío. En Gerencia.

SÀENZ, J. (2013). Dialisis de Aceites. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.

SENER. (s.f.). Obtenido de <https://www.energy.sener/es/plantas-de-rerrefino>

SIG AUS. (2018). Beneficios ambientales.

Tiempo, R. e. (2000). REPROCESAN ACEITE USADO DE MOTORES. Obtenido de EL TIEMPO: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1236334>

Totagua. (s.f.). Bioreactores de membrana Ultrafiltración Tubular Ultrafiltración tangencial cerámica. Obtenido de <http://www.totagua.com/pdf/equipos-depuracion/ultrafiltracion.pdf>

Tuset, S. (2018). FUNDAMENTOS DE LA EVAPORACIÓN AL VACÍO. Obtenido de Condorchem: <https://blog.condorchem.com/fundamentos-evaporacion-al-vacio/#:~:text=Diferencia%20de%20temperatura%20entre%20el,medida%20que%20se%20va%20concentrando.&text=Cuanto%20mayor%20sea%20la%20diferencia,ser%C3%A1%20la%20velocidad%20de%20evaporaci%C3%B3n.>

UPME. (2001). Transformación de los aceites usados para su utilización como energéticos en procesos de combustión. Unidad de Política Minero Energética. Resumen ejecutivo.

VEOLIA. (s.f.). UFLEX™ MK3. Obtenido de http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/processes/lib/pdfs/productbrochures/aquafab_english/2722,UFLEX_MK3_dtsh.pdf

Abreviaciones

SARA Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos.

SAE Society of Automotive Engineers de EUA

API American Petroleum Institute

SSU Viscosidad Universal Saybolt

RESPEL residuos peligrosos

IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

DOFA debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas.

PESTAL políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales, legales

PLC Programmable Logic Controller

MBR Reactor Biológico de Membrana

COV compuestos orgánicos volátiles

DAO DE-ASPHALTED OIL

VPN Valor Actual Neto

TIR Tasa interna de retorno

Apéndices

Apéndice 1: Evaluación financiera.

Apéndice 2: Costo recuperación de aceite.

Apéndice 3: Costo análisis aceite

Apéndice 4: Evaluación de metodologías.

CONTENIDO

- [P&G](#)
- [Flujo de caja Libre](#)
- [Flujo de caja de Financiación](#)
- [Flujo de caja del inversionista](#)
- [WACC](#)

Supuestos		
Tasa Impuestos		20%
Venta de KT		0%
Venta de CAPEX		0%

ESTRUCTURA DE FINANCIACION		
Monto a Financiar	\$	37.258.390
Patrimonio	\$	37.258.390 100%
Deuda	\$	- -

Cálculo del KE	
Tasa libre de riesgo/USA	2,36%
Premio al riesgo (USA)	4,54%
Beta del mercado	1,19
Estructura D/P	-
Beta Apalancado	1,19
Riesgo País	1,98%
Prima por Tamaño	3,00%
KE USD	12,74%
Devaluación	0,78%
Inflación	3,50%
KE COP	13,62%

P&G

Periodo	Año 2021	Año 2022	Año 2023	Año 2024	Año 2025	Año 2026	Año 2027	Año 2028	Año 2029	Año 2030	Año 2031	Totales
Ahorros	\$3.825.000	\$11.876.625	\$12.292.307	\$12.722.538	\$13.167.826	\$13.628.700	\$14.105.705	\$14.599.405	\$15.110.384	\$15.110.384	\$15.639.247	\$142.078.120
Depreciación	\$ -	\$ 7.276.929	\$ 7.276.929	\$ 7.276.929	\$ 7.276.929	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	29.107.714
Utilidad Bruta	\$3.825.000	\$4.599.696	\$5.015.378	\$5.445.609	\$5.890.898	\$13.628.700	\$14.105.705	\$14.599.405	\$15.110.384	\$15.110.384	\$15.639.247	\$112.970.406
Gastos de Administración	\$1.479.684	\$1.531.473	\$1.585.074	\$1.640.552	\$1.697.971	\$1.757.400	\$1.818.909	\$1.882.571	\$1.948.461	\$2.016.657	\$2.087.240	\$2.160.294
Gastos de Mtto	\$1.117.752	\$1.117.752	\$1.117.752	\$1.117.752	\$1.117.752	\$1.117.752	\$1.117.752	\$1.117.752	\$1.117.752	\$1.117.752	\$1.117.752	\$1.117.752
Gastos de Servicios	\$0	\$1.117.752	\$1.156.873	\$1.197.364	\$1.239.271	\$1.282.646	\$1.327.538	\$1.374.002	\$1.422.092	\$1.471.866	\$1.523.381	\$1.576.699
Utilidad Operacional (EBIT)	\$2.345.316	\$1.950.472	\$2.273.431	\$2.607.693	\$2.953.655	\$10.588.654	\$10.959.257	\$11.342.831	\$11.739.830	\$11.621.861	\$12.028.626	\$80.411.626
Impuestos	\$469.063	\$390.094	\$454.686	\$521.539	\$590.731	\$2.117.731	\$2.191.851	\$2.268.566	\$2.347.966	\$2.324.372	\$2.405.725	\$16.082.325
Utilidad Neta (NOPAT)	\$1.876.253	\$1.560.377	\$1.818.745	\$2.086.155	\$2.362.924	\$8.470.923	\$8.767.406	\$9.074.265	\$9.391.864	\$9.297.489	\$9.622.901	\$64.329.301

FLUJO DE CAJA LIBRE DEL PROYECTO

Periodo	Año 2021	Año 2022	Año 2023	Año 2024	Año 2025	Año 2026	Año 2027	Año 2028	Año 2029	Año 2030	Totales	Totales
Inversión Activos Fijos	39.134.643											
Inversión en KT												
Publicidad												
Venta de Activos Fijos												
Carga Tributaria												
Venta de KT												
Beneficio Tributario												
Flujo de Caja Libre	-37.258.390	8.837.306	9.095.673	9.363.083	9.639.853	8.470.923	8.767.406	9.074.265	9.391.864	9.297.489	9.622.901	
		0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
										Valor Terminal	98.396.659	
Flujos a Descontar	-37.258.390	8.837.306	9.095.673	9.363.083	9.639.853	8.470.923	8.767.406	9.074.265	9.391.864	9.297.489	108.019.560	

TIR	21,96%
Rentabilidad Relativa	\$38.440.013 VPN
Payback - Años	5,0

CANTIDAD 2021		COSTO ACTUAL	RECUPERADO	Optimización Estimada	Optimización
Cantidad Actual	Cantidad objetivo	Precio	Precio		
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
27	4	\$ 2.700.000	\$ 405.000	\$ 2.295.000,00	567%
				\$ 11.475.000,00	

APÉNDICE 2

Jeimmy Carolina Niño Gutierrez

De: Maria Camila Albarracin <camila.albarracin@ingenierosdelubricacion.com>
Enviado el: miércoles, 10 de febrero de 2021 7:57 p. m.
Para: Jeimmy Carolina Niño Gutierrez
Asunto: RE: Cotización limpieza de aceite
Datos adjuntos: F-SER003 Informacion para cotizacion de servicios.xlsx

Hola Ing. Jeimmy,

Para poder enviar una cotización se requiere el informe de laboratorio del aceite (s) a intervenir con el fin de conocer el estado físico-químico y diligenciar el formato adjunto.

Para darte un valor aprox. El valor por galón es de \$ 10.800 + IVA. Este podría disminuir si se tiene un mayor volumen de aceite.

Quedo atenta a sus comentarios e inquietudes.

Atte,
Camila Albarracín

De: Jeimmy Carolina Niño Gutierrez <jeimmy.nino@gerfor.com>
Enviado el: miércoles, 10 de febrero de 2021 7:30 a. m.
Para: Maria Camila Albarracin <camila.albarracin@ingenierosdelubricacion.com>
Asunto: RE: Cotización limpieza de aceite

Muchas gracias por tu información Maria Camila, que costo tendría realizar el proceso para los 275 galones?

De: Maria Camila Albarracin [mailto:camila.albarracin@ingenierosdelubricacion.com]
Enviado el: martes, 09 de febrero de 2021 7:42 p. m.
Para: Jeimmy Carolina Niño Gutierrez
Asunto: RE: Cotización limpieza de aceite

Cordial saludo Ing. Jeimmy,

Muchas gracias por tener en cuenta a nuestra empresa para la solución de sus necesidades en cuanto a lubricación y tribología.

Respecto a su solicitud, le informamos que sí prestamos el servicio de filtración y diálisis de aceite, el volumen mínimo para realizar el servicio es de 275 galones, lo que podríamos evaluar en conjunto si es posible que ustedes almacenen por referencia de aceite la cantidad requerida y una vez la tengan realizar la intervención.

En cuanto al método, para filtración de aceite utilizamos el equipo Lubrifiltrador que cuenta con dos carcasas portafiltro el cual utiliza papeles desechables y filtros desechables para retención de partículas sólidas y metálicas, en caso de que el aceite se encuentre también emulsionado, utilizamos el equipo Dializador de aceite el cual permite dializar el aceite por el método de termovacío.

Si desea podemos conversar vía telefónica para conocer un poco más sobre el requerimiento y evaluar la mejor alternativa para darles solución.

Es importante también contar con el informe de laboratorio con el fin de conocer el estado físico-químico del aceite, si desea me lo puede compartir por este medio. En caso de no contar con el mismo, nuestra empresa realizar las pruebas de laboratorio básicas por un valor de \$ 145.000 + IVA.

Quedo atenta a sus comentarios e inquietudes.

Atte,
Camila Albarracín

De: Jeimmy Carolina Niño Gutierrez <jeimmy.nino@gerfor.com>

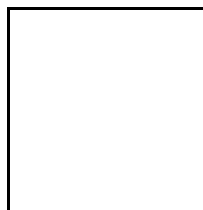
Enviado el: martes, 9 de febrero de 2021 1:20 p. m.

Para: camila.albarracin@ingenierosdelubricacion.com

Asunto: Cotización limpieza de aceite

Buen día, quisiera saber si ustedes ofrecen el servicio de recuperación de aceite, bajo cualquier método, y en caso de tener este servicio, que costo tendría para recuperar 100 litros de aceite mensual. gracias

Jeimmy Carolina Niño Gutierrez
Ingeniero de procesos
Autopista Medellin, Km 2 600 mts via Parcelas-Cota
Cota - Cundinamarca - CO
Tel. 8776800 - +57 (1) 8776800
Cel.
jeimmy.nino@gerfor.com
www.gerfor.com



Este mensaje, incluyendo cualquier adjunto contiene información que puede calificarse como confidencial o considerarse como información no pública. Debe ser recibido solo por la(s) persona(s) designada(s) en el encabezado del correo. Si usted no es el destinatario nombrado, por favor notifique a quien se lo envió, dando respuesta a este mensaje y debe borrarlo de su sistema. La utilización, distribución o reproducción de este correo por parte de personas que no son el verdadero destinatario, no esta autorizada y puede ser ilegal.

The preceding e-mail message (including any attachments) contains information that may be confidential or may be otherwise intended as non-public information. It is intended to be conveyed only to the designated recipient(s). If you are not an intended recipient of this message, please notify the sender by replying to this message and then delete it from your system. Use, dissemination, distribution, or reproduction of this message by unintended recipients is not authorized and may be unlawful.

Jeimmy Carolina Niño Gutierrez
Ingeniero de procesos
Autopista Medellin, Km 2 600 mts via Parcelas-Cota
Cota - Cundinamarca - CO
Tel. 8776800 - +57 (1) 8776800
Cel.
jeimmy.nino@gerfor.com
www.gerfor.com



Este mensaje, incluyendo cualquier adjunto contiene información que puede calificarse como confidencial o considerarse como información no pública. Debe ser recibido solo por la(s) persona(s) designada(s) en el encabezado del correo. Si usted no es el destinatario nombrado, por favor notifique a quien se lo envió, dando respuesta a este mensaje y debe borrarlo de su sistema. La utilización, distribución o reproducción de este correo por parte de personas que no son el verdadero destinatario, no esta autorizada y puede ser ilegal.

The preceding e-mail message (including any attachments) contains information that may be confidential or may be otherwise intended as non-public information. It is intended to be conveyed only to the designated recipient(s). If you are not an intended recipient of this message, please notify the sender by replying to this message and then delete it from your system. Use, dissemination, distribution, or reproduction of this message by unintended recipients is not authorized and may be unlawful.

APÉNDICE 3

Jeimmy Carolina Niño Gutierrez

De: Maria Camila Albarracin <camila.albarracin@ingenierosdelubricacion.com>
Enviado el: martes, 09 de febrero de 2021 7:42 p. m.
Para: Jeimmy Carolina Niño Gutierrez
Asunto: RE: Cotización limpieza de aceite

Cordial saludo Ing. Jeimmy,

Muchas gracias por tener en cuenta a nuestra empresa para la solución de sus necesidades en cuanto a lubricación y tribología.

Respecto a su solicitud, le informamos que sí prestamos el servicio de filtración y diálisis de aceite, el volumen mínimo para realizar el servicio es de 275 galones, lo que podríamos evaluar en conjunto si es posible que ustedes almacenen por referencia de aceite la cantidad requerida y una vez la tengan realizar la intervención.

En cuanto al método, para filtración de aceite utilizamos el equipo Lubrifiltrador que cuenta con dos carcasas portafiltro el cual utiliza papeles desechables y filtros desechables para retención de partículas sólidas y metálicas, en caso de que el aceite se encuentre también emulsionado, utilizamos el equipo Dializador de aceite el cual permite dializar el aceite por el método de termovaciación.

Si desea podemos conversar vía telefónica para conocer un poco más sobre el requerimiento y evaluar la mejor alternativa para darles solución.

Es importante también contar con el informe de laboratorio con el fin de conocer el estado físico-químico del aceite, si desea me lo puede compartir por este medio. En caso de no contar con el mismo, nuestra empresa realizará las pruebas de laboratorio básicas por un valor de \$ 145.000 + IVA.

Quedo atenta a sus comentarios e inquietudes.

Atte,
Camila Albarracín

De: Jeimmy Carolina Niño Gutierrez <jeimmy.nino@gerfor.com>
Enviado el: martes, 9 de febrero de 2021 1:20 p. m.
Para: camila.albarracin@ingenierosdelubricacion.com
Asunto: Cotización limpieza de aceite

Buen día, quisiera saber si ustedes ofrecen el servicio de recuperación de aceite, bajo cualquier método, y en caso de tener este servicio, que costo tendría para recuperar 100 litros de aceite mensual. gracias

Jeimmy Carolina Niño Gutierrez
Ingeniero de procesos
Autopista Medellín, Km 2 600 mts vía Parcelas-Cota
Cota - Cundinamarca - CO
Tel. 8776800 - +57 (1) 8776800
Cel.

jeimmy.nino@gerfor.com
www.gerfor.com



Este mensaje, incluyendo cualquier adjunto contiene información que puede calificarse como confidencial o considerarse como información no pública. Debe ser recibido solo por la(s) persona(s) designada(s) en el encabezado del correo. Si usted no es el destinatario nombrado, por favor notifique a quien se lo envió, dando respuesta a este mensaje y debe borrarlo de su sistema. La utilización, distribución o reproducción de este correo por parte de personas que no son el verdadero destinatario, no esta autorizada y puede ser ilegal.

The preceding e-mail message (including any attachments) contains information that may be confidential or may be otherwise intended as non-public information. It is intended to be conveyed only to the designated recipient(s). If you are not an intended recipient of this message, please notify the sender by replying to this message and then delete it from your system. Use, dissemination, distribution, or reproduction of this message by unintended recipients is not authorized and may be unlawful.

APÉNDICE 4

Metodología	facilidad de implementación	Costo de implementación	Criticidad del proceso	Impacto ambiental	efectividad del proceso	Marco	TRL	Calificación final
Destilación al vacío	Es una metodología que requiere un amplio espacio para su implementación, así como la compra, mantenimiento e instalación de diferentes equipos, sin embargo venden equipos que cumplen la misma función.	\$ 41.521.562	Medio	Medio, las partículas quedan separadas en segmentos, por lo que se puede dar una clasificación y por ende disposición final eficiente	La efectividad del proceso, es alto dado que se hace por etapas garantizando el resultado final	Altamente referenciada bajo aspectos positivos	TRL 9	7,10
	0,90	0,60	1,20	1,05	1,35	2,00		
Ultrafiltración	Es bastante practico, ya que se puede adquirir un solo equipos y su uso es sencillo	\$ 10.203.000	Sencillo	Alto, todas las partículas quedan mezcladas en las diferentes membranas del equipo, por lo que su clasificación se puede volver compleja	Dada la precisión que se le puede dar al dispositivo de filtrado, de acuerdo a la membrana que se necesite la efectividad es muy alta	No se encuentran referenciadas	TRL 9	6,70
	1,20	1,20	2,00	0,60	1,50	0,20		
Diálisis y filtración	Es bastante practico, ya que se puede adquirir un solo equipos y su uso es sencillo	\$ 87.020.000	Complejo	Alto, todas las partículas quedan mezcladas en el equipo, por lo que su clasificación se puede volver compleja	Alta, dada la precisión del equipo	Se encuentran pocas referencias	TRL 2	4,60
	0,75	0,30	0,60	0,90	1,05	1,00		
Procesos de tratamiento en ácido / tierras	Compleja, dado el manejo que se debe hacer de ácidos durante el proceso	\$ 18.712.900	Critico	Alto	Alta	Pocas referenciadas	TRL 9	3,60
	0,15	1,05	0,20	0,15	0,45	1,60		
Procesos de destilación al vacío e hidrogenación	Complejo, ya que se debe adquirir maquinaria, equipo y contar con un espacio amplio para su instalación	\$ 23.787.000	Medio	Medio	La efectividad del proceso, es alto dado que se hace por etapas garantizando el resultado final	Altamente referenciada bajo aspectos positivos	TRL 9	6,70
	0,60	0,90	1,00	1,20	1,20	1,80		
Procesos de destilación al vacío y tratamiento en tierras	Complejo, se debe adquirir equipo, contar con espacios para el equipo	\$ 89.884.890	critico dado el uso de sustancias peligrosas	Alto	Alto	Pocas referenciadas	TRL 9	4,00
	0,45	0,15	0,80	0,45	0,75	1,40		
Aplicación directa como combustible	sencillo	\$ 9.000.000	Sencillo	Bajo	Baja	Pocas referenciadas	TRL 5	6,55
	1,50	1,35	1,80	1,35	0,15	0,40		
Aplicación como combustible después de un leve tratamiento	sencillo	\$ 2.318.900	Sencillo	Medio, dado que hay que dar disposición adecuada a los residuos resultantes del proceso	Media	Pocas referenciadas	TRL 5	6,65
	1,35	1,50	1,40	1,50	0,30	0,60		
Aplicación como combustible después de un severo tratamiento	Compleja	\$ 41.521.562	critico dado el uso de sustancias peligrosas	Medio	Alta	Pocas referenciadas	TRL 6	3,55
	0,30	0,45	0,40	0,30	0,90	1,20		