



Tratamientos químicos y fisicoquímicos para aceites residuales de sistemas automotrices

Chemical and physicochemical treatments for waste oils from automotive systems

Tratamientos químicos e físico-químicos para óleos usados de sistemas automotivos

Rosario del Pilar Freire-Rosero ^I
rfreire@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7267-087X>

Wilian Marcelo Bravo-Morocho ^{III}
wmbravo2014@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2599-6532>

Juan Marcelo Ramos-Flores ^{II}
jmramos@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9240-8748>

Celin Abad Padilla-Padilla ^{IV}
celin.padilla@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2241-5421>

Correspondencia: rfreire@esPOCH.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 30 de junio de 2020 ***Aceptado:** 30 de julio de 2020 * **Publicado:** 15 de agosto de 2020

- I. Magíster Scientíae en Ingeniería Química, Magíster en Protección Ambiental, Ingeniero Químico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Grupo de Investigación SAPIA, Chimborazo, Ecuador.
- II. Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Química, Magíster en Seguridad Industrial, mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional, Doctor en Química, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Carrera de Agroindustria, Grupo de Investigación SAPIA, Chimborazo, Ecuador.
- III. Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Química, Magíster en Seguridad Industrial, mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional, Doctor en Química, Investigador Independiente, Chimborazo, Ecuador
- IV. Magíster en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Máster en Ingeniería de Vehículos Híbridos y Eléctricos, Ingeniero Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Grupo de Investigación SAPIA, Chimborazo, Ecuador

Resumen

Se realizó una revisión de la literatura científica respecto a los tratamientos fisicoquímicos aplicados para el reciclaje de aceite automotriz usado, para lo cual se revisaron bases de datos regionales e internacionales (Latindex, Scielo, Google Académico y ScienceDirect). Los resultados, de manera general, señalan a tratamientos basados en destilación, en extracción por solvente y otras técnicas como radiación y pirólisis por microondas. En el caso de destilación se observan tres etapas: pretratamiento, que eliminan agua e hidrocarburos livianos; la segunda es la operación principal, que separa el aceite base de las resinas y/o asfaltos; y la tercera corresponde a la separación del aceite base en fracciones liviana, media y pesada, incluyendo en alguno casos tratamientos con arcillas. Las fuentes revisadas desestiman el uso del aceite como combustible, apuntando que su quemado libera al ambiente óxidos metálicos y moléculas orgánicas resistentes, además de consumir un insumo valioso. La variedad de tratamientos para recuperación de aceites usados es indicativa del interés y potencial económico de esta actividad.

Palabras claves: Aceites lubricantes; recuperación de aceites; reutilización de aceites; valorización de residuos; cogeneración.

Abstract

A review of the scientific literature was carried out regarding the physicochemical treatments applied to the recycling of used automotive oil, for which regional and international databases (Latindex, Scielo, Google Academic and ScienceDirect) were reviewed. The results, in general, point to treatments based on distillation, solvent extraction and other techniques such as radiation and microwave pyrolysis. In the case of distillation, three stages are observed: pretreatment, which remove water and light hydrocarbons; the second is the main operation, which separates the base oil from the resins and / or asphalts; and the third corresponds to the separation of the base oil into light, medium and heavy fractions, including in some cases clay treatments. The reviewed sources dismiss the use of oil as fuel, pointing out that its burning releases metal oxides and resistant organic molecules into the environment, in addition to consuming a valuable input. The variety of treatments for the recovery of used oils is indicative of the interest and economic potential of this activity.

Keywords: Lubricant oils; oil recovery; reuse of oils; recovery of waste; cogeneration.

Resumo

Foi realizada uma revisão da literatura científica sobre os tratamentos físico-químicos aplicados à reciclagem de óleo automotivo usado, para a qual foram revisadas as bases de dados regionais e internacionais (Latindex, Scielo, Google Academic e ScienceDirect). Os resultados, em geral, apontam para tratamentos baseados em destilação, extração por solvente e outras técnicas como radiação e pirólise por microondas. No caso da destilação, são observadas três etapas: o pré-tratamento, que remove a água e os hidrocarbonetos leves; a segunda é a operação principal, que separa o óleo base das resinas e / ou asfaltos; e a terceira corresponde à separação do óleo base em frações leve, média e pesada, incluindo em alguns casos tratamentos com argila. As fontes analisadas descartam o uso do óleo como combustível, ressaltando que sua queima libera óxidos metálicos e moléculas orgânicas resistentes no meio ambiente, além de consumir um insumo valioso. A variedade de tratamentos para a recuperação dos óleos usados é indicativa do interesse e potencial econômico desta atividade.

Palavras-chave: Óleos lubrificantes; recuperação de óleo; reaproveitamento de óleos; recuperação de resíduos; cogeração.

Introducción

Los lubricantes están compuestos por aceites bases y aditivos. El aceite base puede ser de tipo mineral (bases minerales), que se obtienen del refinado del petróleo, cuya composición es de parafinas en un 60-70 %, naftenos y aromáticos que permiten mejorar su rango de temperatura y presión operativos; o tipo aceites sintéticos, que se obtienen por procesos petroquímicos. Los aditivos son compuestos añadidos al aceite base con la finalidad de modificar su viscosidad y darles propiedades antioxidantes y anticorrosivas; además de cumplir funciones dispersantes, detergentes, antidesgaste, antiherrumbre y antiespumante.

Los aceites lubricantes luego de uso llegan a contener partículas finas y metales pesados (Cd, Cr, Pb, Zn) que afectan la salud humana y el entorno (aire, suelo, agua) en proporciones del orden de partes por millón que varían según el tipo de motor. Otro de los contaminantes es el cloro y los bifenilos policlorados PCBs, originados en los productos de oxidación de los hidrocarburos presentes en la base de los aceites.

En Ecuador, si bien existen ordenanzas municipales para el uso y reciclado de aceites usados, su limitado cumplimiento y monitoreo conllevan una serie de riesgos ambientales, a lo cual se suma la ausencia de aplicaciones del aceite que logra ser recolectado.

Se consideran residuos peligrosos a aquellos que en su composición presentan una o más sustancias en concentraciones que les transmitan propiedades peligrosas para la salud humana o recursos naturales. Esta consideración de “peligrosos” también se extienden a los recipientes que hayan contenido dichas sustancias, porque contienen trazas de metales pesados, cloro y PCBs. Particularmente, los aceites de automoción poseen mayor cantidad de plomo y de cinc que los aceites residuales industriales. Dentro del ámbito automotor, los aceites residuales de motores a gasolina contienen más metales pesados que los de motores a diésel; no obstante, los aceites industriales presentan mayor cantidad de cadmio, cromo, cloro y PCBs. En el caso de los desechos de aceites lubricantes, se ha demostrado que 1 litro de aceite usado es suficiente para contaminar 1 millón de litros de agua fresca, es decir, la presencia de aceites en una cantidad tan baja como 1 ppm puede generar problemas de olor y sabor en aguas; cuando llega a al rango de 30-40 ppm produce manchas o capas visibles que afectan a la vida acuática y cuando llegan a 50 ppm pueden afectar a sistemas de tratamiento de aguas. Este peligro se incrementa si se consideran los PCBs ya mencionados, por su capacidad de generar dioxinas. El descarte del aceite usado, incluyendo vertido en rellenos sanitarios, mezcla con tierras o suelos, e incineración, aunque ha sido una práctica común también afecta al ambiente y la salud pública. El vertido en suelos genera riesgo de filtraciones hacia los acuíferos; la aplicación en pavimentos, por otro lado, al aplicarse en altas temperaturas genera humos tóxicos.

La Organización para el Desarrollo Industrial, de las Naciones Unidas, UNIDO, en base al estudio de la eliminación de aceites usados en doce países en vías de desarrollo con participación de delegados de treinta y cinco países, entre sus principales conclusiones señaló que la ruta más segura para los aceites lubricantes usados es el re-refinado (recuperación o regeneración) con el fin de recuperar el aceite base.

En el caso de Ecuador, para el año 2017 se estimó el consumo local de aceites lubricantes en 30 millones de galones, de la cual un 25% podría ser aceite adulterado, que corresponda a aceite reciclado sin aplicación de tratamientos adecuados ni control de calidad. El aceite que no se ha recuperado o reciclado se vende, en un mercado de dudosa legalidad, para uso como combustible, sin tratamientos previos lo que representa un riesgo ambiental. En el reportaje de Diario Expreso

se indica la necesidad de control sobre el destino del aceite usado además de normar tanto el negocio de recolección del aceite como de la aplicación de métodos para su recuperación.

Metodología

a. Determinación de la composición general de un aceite automotriz usado

El aceite, durante su uso, incorpora diferentes sustancias que incluyen compuestos organometálicos relacionados al plomo de gasolinas, compuestos azufrados, ácidos orgánicos debidos a la oxidación colateral a la combustión, hidrocarburos aromáticos polinucleares, PNA, y particularmente, partículas metálicas que incluyen metales pesados en proporciones que se indican a continuación:

Tabla 1: Composición de aceites lubricantes usados

CONTAMINANTES	ACEITES LUBRICANTES		ACEITES INDUSTRIALES
	MOTOR DIÉSEL ppm	MOTOR GASOLINA ppm	
Cadmio	1,1	1,7	6,1
Cromo	2,0	9,7	36,8
Plomo	29,0	2,2	217,7
Zinc	332,0	951,0	373,3
Cloro total	3600,0	3600,0	6100,0
PCB's	20,7	20,7	957,2

Tomado de: Vázquez Guillén, 2013

Una caracterización similar, llevada a cabo por Fong-Silva y colaboradores, en las condiciones de Cartagena de Indias, Colombia, obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 2: Caracterización de aceites usados en la ciudad de Cartagena de Indias, Colombia

Propiedad	Aceites Usados								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Viscosidad (CentiStokes)	24,8	55,3	60	50,85	72,28	56,8	67,2	114,5	81,1
Humedad (%)	2,44	0,27	0,01	0,0094	0,447	1,48	1,08	0,05	0,46
Azufre (ppm)	0,85	1,14	0,16	0,12	0,65	1,21	1,12	0,47	1,29
Aluminio (ppm)	140,74	16,41	12,28	11,41	13,54	11,2	22,03	2,21	16,95
Hierro (ppm)	55,11	1521,42	3,03	4,89	227,86	148,8	110,37	2,44	121,19
Sodio (ppm)	22,31	145,85	15,52	13,48	492,07	410,07	303,87	140,67	216,81
Zinc (ppm)	937,28	104,32	7,04	6,37	17,93	901,51	1015,87	667,24	825,56
Cobre (ppm)	7,96	5,37	0,041	0,041	10,38	17,4	7,05	1,89	14,29

Silicio (ppm)	28,43	16,28	2,43	5,2	49,69	6,21	5,48	0,28	2,27
Fosforo (ppm)	10,58	24,89	5,46	4,97	24,17	19,79	1,82	1,06	18,37
Cloro (ppm)	24,43	224,11	18,95	15,8	709,45	635	469	210	330
Calcio (ppm)	251,33	1064	48,33	41,28	171,8	401,48	308,48	20,08	285,34
Sedimentos (%)	1,57	0,44	0,01	0,01	0,05	0,18	0,16	0,01	0,04
Cenizas (%)	0,98	0,22	0,008	0,007	0,186	0,932	0,916	0,216	0,709
Densidad (kg/L)	0,8994	0,8659	0,9004	0,901	0,8663	0,9978	0,9884	0,8976	0,885

Fuente: Fong Silva et al., 2017

Estos mismos autores relacionan la presencia de metales específicos como indicativo del tipo de deterioro de los motores, según se detalla a continuación:

Tabla 3: Relación entre deterioro de motor con residuos metálicos en lubricante

TIPO DE DETERIORO	CONTAMINANTES
Desgaste cilindros, camisas, anillos de pistón, tren de válvulas, herrumbre	Hierro
Desgaste de anillos de pistón	Cromo
Desgaste de cojinetes, bujes y aditivos de refrigerantes	Cobre
Filtración de polvo, filtros de aire ineficientes	Silicio
Mala combustión	Cenizas y sedimentos
Mala relación aire-combustible, baja relación de compresión, problemas en inyectores o bujías	Hollín

Elaborado por: autores

Fuente: Fong Silva et al., 2017

b. Normas nacionales relacionadas al manejo de aceites residuales

A fecha de la elaboración de presente documento, los articulados normativos relacionados al manejo y disposición de aceites automotrices residuales incluyen:

- Constitución de la República del Ecuador: Artículos 14, 41, 395, 396, 409, 411.
- Código orgánico del ambiente y Reglamento al código orgánico del ambiente
- Acuerdo Ministerial N° 097A. Anexos
- Norma técnica ecuatoriana INEN 2666
- Norma INEN 2288

c. Estrategia de búsqueda de información

Con la finalidad de identificar los tratamientos o métodos aplicables para la recuperación, valorización o reutilización de aceites automotrices usados se realizaron consultas en las bases de datos de Google Académico, Scielo y ScienceDirect, usando como términos de búsqueda las palabras “aceite automotriz” y “automotive waste oil”. Los resultados fueron compilados y luego revisados para seleccionar aquellos enfocados hacia la recuperación, valorización y reutilización del aceite residual de industria automotriz. Lo hallado se discute a continuación:

d. Tipos de tratamientos de reciclaje

Por regeneración se comprende la aplicación de distintos tratamientos al aceite usado de modo que se logre la recuperación de las bases lubricantes, de modo que puedan ser utilizadas o incluso reformuladas. Al respecto se han podido identificar tratamientos que incluyen diferentes combinaciones de operaciones que pueden incluir destilación, filtración, tratamiento con solventes. En el capítulo Recycling of used oil, del libro Mitigating Environmental Impact of Petroleum Lubricants, Madanhire y Mbohwa resumen los pasos generales de la recuperación de aceites lubricantes en la siguiente secuencia:

- Remoción del agua y partículas sólidas por sedimentación
- Tratamiento con ácidos, para remover gomas, grasas y otros
- Tratamiento alcalino para neutralizar el ácido
- Lavado acuoso para remover compuestos saponificados
- Contacto con arcillas para aclarar el aceite y retener impurezas
- Tratamiento térmico para separar humedad y aceites volátiles
- Filtración para remover arcillas y otros sólidos
- Ajuste a especificaciones

En el caso de métodos donde la destilación se constituye en la operación principal, se tienen:

Obtención de MDO

Este proceso es empleado para producir MDO (Marine Diesel Oil - un gasóleo intermedio) y flujo de asfalto. El aceite usado se destila para remover compuestos volátiles y agua. Como producto final se obtiene la separación de los aceites pesados -destilado- de los contaminantes -fondos-.

Proceso Meiken

Contempla tratamiento ácido y eliminación previa del agua y otros componentes de bajos puntos de ebullición. En este último caso, el proceso ocurre en una unidad de termocracking que genera un destilado que se integra en un “spindle-oil” que se deriva a una unidad de tratamiento ácido. El aceite ácido, finalmente, se deriva a una unidad de vacío donde se separa la fracción de gasoil.

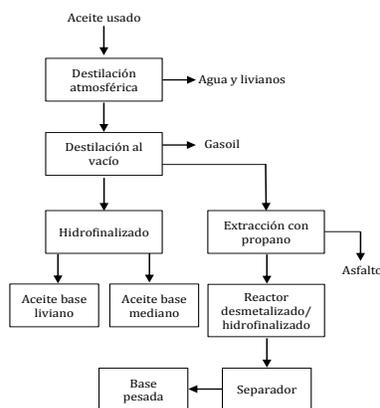
Proceso K.T.I. (Kinetics Technology International)

Es también conocido como KTI Relub Technology. Es un proceso de múltiples etapas que, de manera simplificada, inicia con una destilación atmosférica para eliminar agua e hidrocarburos ligeros; seguida por una destilación al vacío a $T < 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la que se separan los aceites de interés. El proceso sigue con la hidrogenación con la finalidad de eliminar compuestos sulfurosos, óxidos y nitrogenados además de mejorar la apariencia (color y aroma) del aceite. Finalmente, el aceite regenerado se fracciona en componentes todos de interés comercial. La recuperación lograda es de un 82%.

Proceso propano-hidroterminado

En este proceso el aceite pasa por un pretratamiento que separa el agua e hidrocarburos livianos, seguidamente es destilado, luego tratado con propano y posteriormente es hidrogenado. El producto es sometido a una nueva destilación y filtrado. Se logran un rendimiento del 83% con mínimos o nulos desechos. Una descripción gráfica del proceso se muestra a continuación:

Figura 2: Esquema del proceso de extracción con propano e hidrogenación, utilizado para reciclado y re-refinado de aceites utilizados. Adaptado de Kajdas (2014).



Proceso Mohawk

Desarrollado en Canadá por la empresa del mismo nombre, es análogo al KTI, con la principal diferencia de la implementación de un pretratamiento destinado a la eliminación de aditivos y otros contaminantes presentes. Al pretratamiento le siguen etapas de destilación atmosférica, destilación al vacío. La incorporación del pretratamiento disminuye la corrosión y el requerimiento de limpiezas continuas.

Proceso IFP

Desarrollado por el Instituto Francés del Petróleo (de allí el nombre), inicia con una destilación atmosférica, que separa al agua e hidrocarburos ligeros, a la que sigue una destilación al vacío, en la que se extrae gasóleo. La fracción pesada es hidrogenada para la obtención y separación de queroseno, en tanto que la fracción restante se somete a extracción con propano a 75 – 95 °C, de la que se obtiene asfaltos pesados y la parte ligera es desmetalizada a través de lechos catalíticos y posteriormente hidrogenada, de lo que se obtiene un aceite liviano (bright stock). Este proceso es más usual en refinerías de petróleo.

Además de los tratamientos centrados en destilación, también se encuentran documentados tratamientos centrados en el uso de disolventes orgánicos, lo que conlleva la formación de fases, una de las cuales es de mayor densidad y viscosidad, constituyéndose en “lodos”. Una vez separada la fracción de lodos, en la fracción aceitosa los metales floculan y precipitan. En la última etapa se realiza una destilación para la recuperación del disolvente utilizado. Dentro de este tipo de tratamientos se encontraron los siguientes:

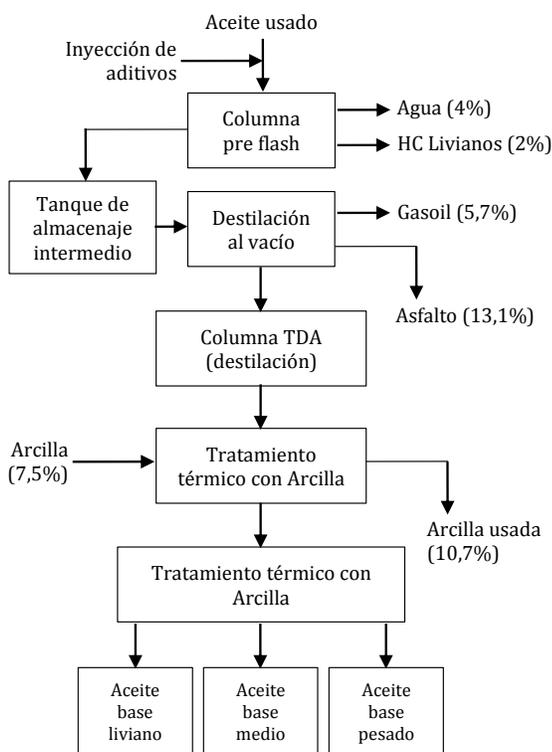
Método PPC

Este método fue desarrollado por la Phillips Petroleum Company, PPC. Consiste en el paso del aceite por un intercambiador de calor, luego de lo cual es combinado con una solución acuosa de fosfato ácido de diaconizo. A continuación, es alimentado a un primer contactor, donde es calentado y agitado, repitiendo la operación en un segundo contactor, pero en un rango de temperatura de 110 °C a 140 °C; en esta etapa ocurre la separación del agua e hidrocarburos ligeros. La fase oleosa se deriva a un tercer contactor con operación igual a los primeros, pero en un rango de temperaturas de 140 a 200 °C, donde se separan las trazas de agua que pudieran mantenerse.

Proceso TDA/TCT

Se orienta a la recuperación del aceite base, teniendo como fase inicial la separación del agua e hidrocarburos livianos mediante destilación en columna a baja temperatura. Al flujo de alimentación se inyecta aditivos para prevenir la corrosión y reducir el contenido de partículas. A continuación, pasa a la fase de tratamiento térmico (destilación al vacío) en la que se separan gasoil, resinas y asfaltos. Seguidamente el aceite pasa a un tratamiento con arcillas y posterior filtración, de la cual se separan aceites base livianos, medios y pesados.

Figura 1. Esquema de un proceso TCT usado para reciclaje de aceite lubricante usado. Adaptado de Kajdas (2014).



Proceso PROP

En este proceso los metales pesados se separan al tratar el aceite con disolución de fosfato de amonio, el que genera sales insolubles: El aceite emulsionado se somete a tratamiento térmico que elimina los compuestos fosforados y genera acumulación del metal en partículas suspensas que se separan por filtración. El aceite luego se trata con hidrógeno caliente en presencia de Ni y Mo, eliminando compuestos clorados y nitrogenados. Seguido de ello se pasa por arcilla eliminándose

ácidos y limpiezas finales para eliminar restos de combustibles. Como se puede notar, este método no implica destilación al vacío.

Proceso BERC

Desarrollado por el Centro de Investigación Energética de Bartlesville, incorpora una deshidratación previa que remueve agua e hidrocarburos livianos. A continuación, mediante 2-propanol-metilcetona-1-butanol se separa una fracción “lodosa” más pesada. La fracción aceitosa obtenida se pasa por arcillas para mejorar su apariencia y finalmente se somete a hidrotratamiento.

Procesos ácidos-arcilla

El lubricante usado se somete a una evaporación previa, que separa el agua e hidrocarburos ligeros, del rango de la gasolina. Seguido se aplica un tratamiento con ácido sulfúrico, el producto es filtrado por arcilla y cal, lo que mejora su color y neutraliza la acidez. De la evaporación previa se recupera un 85% del aceite y, de éste, en la filtración se genera un 3 a 4% de desecho consistente en una mezcla de aceite, arcilla y ácido. Este aceite regenerado se destina a una destilación de la que se obtienen compuestos livianos de tipo gasoil y base lubricante. El rendimiento global es de 65% en peso.

Una variación del proceso arriba indicado es el proceso “propano-ácido-arcilla”, que incluye unidades adicionales de filtración-neutralización buscando reducir el consumo de ácido y la generación de desechos. Este proceso logra recuperar un 70% de aceite base además de 7,5% de combustible pesado y 1% de gasoil.

Proceso UOP-DCH

Usado limitadamente a escala piloto, trata el aceite con hidrógeno, eliminando compuestos metálicos y halogenados. Mediante el oxígeno se obtienen hidrocarburos ligeros. El tratamiento principal involucra un reactor catalítico en el que ocurre la mencionada eliminación de halógenos. Se considera un tratamiento económico y que da buenos resultados.

Recuperación por aplicación de radiación ionizante

Un acercamiento diferente para el reciclado del aceite lubricante es la aplicación de radiación. Esta técnica presenta alta eficiencia y permite la degradación de los compuestos orgánicos además de la remoción de los metales. En estudios de pequeña escala las muestras se mezclaron con peróxido de hidrógeno como tratamiento previo y luego fueron irradiadas con ^{60}Co en dosis de 100 y 200 kGy con resultados satisfactorios en la remoción de P, S, Ca, Cl, Zn y V en ambos casos. Se considera que la efectividad viene dada por la acción de los radicales OH, H y eaq. [13]

Pirólisis por microondas

Se ha investigado a pequeña escala el tratamiento de aceites residuales mediante pirólisis generada por aplicación de microondas, los productos obtenidos luego fueron condensados en forma de aceites líquidos. Se encontró que la temperatura de operación es determinante sobre el rendimiento general, que se acotó, es superior a los métodos tradicionales de recuperación. Entre los compuestos recuperados se identificaron hidrocarburos ligeros, que hacen a este aceite recuperado un combustible altamente promisorio.

e. Aprovechamiento energético

Consiste en el uso del aceite como combustible. Existen dos casos de aplicación: la primera se viene usando desde hace varias décadas y es en instalaciones con alta potencia térmica, que alcanzan altas temperaturas por lo que también tienen elevados consumo de combustible y producción de gases. [15]. El ejemplo usual con los hornos de Clinker, donde se quema el aceite y su contenido de metales queda incorporados al cemento. Las partículas restantes son luego retenidas mediante precipitadores electrostáticos. Flores identifica una segunda ruta, que consiste en la aplicación de tratamientos físico-químicos al aceite para convertirlo en un combustible de uso más amplio hacia instalaciones de menor potencia térmica, motores de combustión y calderas. [16]. No obstante de lo anterior, Cajas indica que el proceso más común se limita a un filtrado previo para retener contaminantes sólidos, lo que mantiene todos aquellos presentes en la fase líquida y que, debido a las combustiones a relativamente bajas temperaturas los contaminantes terminan liberándose al ambiente; para la eliminación de PCBs debe asegurarse temperaturas superiores a 1500 K. En algunos casos el aceite puede dañar los hornos. Este autor concluye que la combustión del aceite usado es una práctica no recomendable puesto que, además de causar polución al dispersar óxidos metálicos y contaminantes orgánicos, destruye un recurso valioso: los aceites

base. El petróleo crudo contiene entre 5 y 15% de aceite mineral, mientras que el aceite automotriz usado contiene un 70 a 75%; por ello debería tratarse como un recurso valioso.

f. Destino del aceite recuperado o regenerado

Se ha reportado el uso del aceite lubricante usado, en cantidades mínimas, en actividades como tratamiento de madera, combustible complementario, pulverización de piezas automotrices, fabricación de bloques de cemento, curado de ganado y para impedir el crecimiento de maleza. [17] Adicionalmente, el aceite puede ser utilizado en aplicaciones como aceite de máquinas de corte, para sistemas hidráulicos, insumo graso para la elaboración de jabón, en fabricación de membranas impermeables y también para la fabricación de pintura asfáltica.

Resultados y discusión

La revisión identificó que los tratamientos para recuperación, regeneración o valorización se agrupan en dos categorías principales: destilación y extracción por solventes; incluso habiendo métodos que incluyen ambas operaciones. En cuanto a las etapas, de manera general involucran: pretratamientos para separación de metales pesados, eliminación de agua y de hidrocarburos livianos; seguido de fraccionamiento o extracción por solventes y tratamientos posteriores para recuperación del solvente (si fuese el caso) y mejora del color y olor del aceite. En cuanto a los reactivos utilizados, Stan y colaboradores identifican el uso de ácidos sulfúrico, acético, nítrico, fosfórico y fórmico, siendo el más efectivo el ácido sulfúrico, seguido del fórmico y luego por el fosfórico. La arcilla preferida es la bentonita.[18]

Respecto a las características del aceite recuperado o regenerado, dependen de múltiples factores que van desde las características iniciales del aceite “nuevo” y además del tipo de tratamiento y valores en los parámetros de operación, por lo que no se puede establecer un único conjunto de valores de referencia. Sin embargo, en las investigaciones se menciona su viabilidad para aplicaciones industriales e incluso su reutilización como aceite base. Al respecto, Durrani presentó los siguientes resultados comparativos:

Tabla 2: Comparativa entre aceite recuperado y aceite base SAE 30

Especificación	Aceite recuperado	SAE 30
Apariencia	Claro y homogéneo	Claro y homogéneo
Color	1	máx. 2,5
Punto de flash (°C)	222	min. 215
Punto de fluidez	-4	máx. -6
Viscosidad cinemática (c.St.)	8,33	min. 9,5
Índice de viscosidad	94	min. 90
Espuma	0	0
Agua y sedimentos (% Vol)	trazas	máx. 0,02
Número de neutralización (mg KOH/g lubricante)	<0,05	máx. 0,02

Fuente: Durrani et al., 2008

En relación con los tratamientos fisicoquímicos reportados, se observa que aquellos que involucran operaciones de destilación por su consumo energéticos e infraestructura más compleja, por lo que son más comunes en empresas de ramo petroquímico o que operan con mayores volúmenes. En cambio, los métodos basados en extracción con solventes podrían ajustarse para condiciones de operación con volúmenes menores de aceite a tratar. Por otro lado, la mayoría de los tratamientos aseguran proporciones de recuperación superiores al 65% llegando incluso al 85%.

Dentro de las opciones de uso del aceite, la menos recomendada es el de combustible, siendo que, literalmente, se quema el aceite que podría recuperarse y representar un mayor valor comercial.

Desde un punto de vista económico y financiero, la implementación de métodos de recuperación de aceite, realizada de manera técnica puede ser una oportunidad de negocio. Así lo concluyen Carrión, indicando que se podría recuperar la inversión luego del primer año de operación y cuenta, además con una percepción positiva en el 78% del público encuestado.

Conclusiones

Existe una amplia base bibliográfica respecto a tratamientos físico-químicos para la recuperación, regeneración o valorización del aceite automotriz residual. Estos tratamientos, dependiendo de la escala de operación, pueden ser basados en destilación para grandes volúmenes en plantas especializadas o extracción por solventes, para volúmenes menores y con menores requerimientos de energía.

El uso de pre tratamientos reduce la carga de metales pesados y la incorporación de arcillas, además de aportar a la purificación mejora la apariencia del aceite recuperado.

La valorización energética de los aceites, que desde hace varias décadas consistía en su incorporación como combustible para industria mayoritariamente cementera, se ha ido desestimando debido a su impacto como fuente de polución además de consumir un recurso que, recuperado, representa un mayor valor económico.

Los tratamientos o técnicas utilizadas dependerán de la escala de operación y del nivel de consumo energético que pueda asumir la planta. El porcentaje de recuperación evidencia esta actividad como una de interés económico y de beneficio ambiental.

Referencias

1. CEUPE, “¿Cómo tratar los residuos peligrosos?” 2019. [Online]. Available: <https://www.ceupe.com/blog/como-tratar-los-residuos-peligrosos.html>. [Accessed: 21-Jul-2020].
2. P. A. Torres Cobos, P. Andrés, and F. Arroyo, “Diseño de un plan de recolección y el re-refinamiento de los aceites lubricantes usados en la ciudad de Loja,” UIDE, 2014.
3. C. Kajdas, “Used Oil Disposal and Collection,” in *Encyclopedia of Lubricants and Lubrication*, Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 2213–2252.
4. L. Zumba, “La ilegalidad enturbia el negocio de lubricantes,” *Expreso*, Guayaquil, 03-Dec-2017.
5. W. Fong Silva, E. Quiñonez Bolaños, C. N. Tejada Tovar, E. Quiñones Bolaños, and W. Fong Silva, “Physical-chemical characterization of spent engine oils for its recycling,” *Prospectiva*, vol. 15, no. 2, pp. 135–144, 2017, doi: 10.15665/rp.v15i2.782.
6. E. Ministerio del Ambiente, “Instructivo para aplicación de la responsabilidad extendida en la gestión integral de aceites usados y envases vacíos,” Quito, 2019.
7. I. Madanhire and C. Mbohwa, “Recycling of Used Oil | SpringerLink,” in *Mitigating Environmental Impact of Petroleum Lubricants*, Cham, 2016, pp. 127–148.
8. B. Boughton and H. Arpad, “Environmental assessment of used oil management methods,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 38, no. 2, pp. 353–358, 2004.
9. J. G. Cabrera Coronel, “Elaboración de un diagnóstico de la gestión de aceites automotrices usados generados en lubricadoras y estaciones de servicio para el planteamiento de una

- propuesta de manejo adecuado Ciudad de Quevedo, Provincia de Los Ríos - 2016,” Universidad Nacional de Tumbes, 2018.
10. J. D. Hernández Pedraza and A. F. Maldonado Rodríguez, “Evaluación de un proceso para la recuperación de bases lubricantes contenidos en los aceites lubricantes industriales usados,” Fundación Universidad de América, Bogotá, 2020.
 11. A. G. González Sampedro and Á. Guzmán, “Diseño y construcción de un prototipo de una planta para regenerar aceites usados con productos biodegradables,” Universidad Técnica Equinoccial, Quito, 2017.
 12. J. A. Ramírez, “Recueración de aceites lubricantes para automotores a partir de aceites usados y desechados, utilizando procesos físico químicos,” Universidad de Antioquia, 2001.
 13. M. A. Scapin, C. Duarte, M. H. O. Sampa, and I. M. Sato, “Recycling of the used automotive lubricating oil by ionizing radiation process,” *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 76, no. 11–12, pp. 1899–1902, Nov. 2007, doi: 10.1016/j.radphyschem.2007.03.017.
 14. S. S. Lam, A. D. Russell, and H. A. Chase, “Microwave pyrolysis, a novel process for recycling waste automotive engine oil,” *Energy*, vol. 35, no. 7, pp. 2985–2991, Jul. 2010, doi: 10.1016/j.energy.2010.03.033.
 15. J. Pantoja, L. Martin, and P. Moreno, “¿Qué se hace en España con los aceites usados?,” *Ing. Química*, vol. 309, pp. 113–117, 1995.
 16. P. Flores, “Transformación de los aceites usados para su utilización como energéticos en procesos de combustión,” *Escenarios y Estrategias*, vol. 8, no. 28–32, 2001.
 17. H. A. Durrani, M. I. Panhwar, and R. A. Kazi, “Management of vehicle waste oil in Pakistan a case study,” *Mehran Univ. Eng. Technol.*, vol. 40, no. 1, pp. 429–440, 2008.
 18. C. Stan, C. Andreescu, and M. Toma, “Some aspects of the regeneration of used motor oil,” in *Procedia Manufacturing*, 2018, vol. 22, pp. 709–713, doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.102.
 19. M. J. Carrión Sánchez and G. F. Beltrán Romero, “Desarrollo de productos resultantes de la regeneración del aceite lubricante quemado para la comercialización y distribución en la ciudad de Quito, sector Sur,” UPS, 2011.