



**ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE Fe, Cu Y Al POR ESPECTROSCOPIA DE
ABSORCIÓN ATÓMICA A LA LLAMA EN EL HIDROCARBURO COMBUSTIBLE OBTENIDO
POR DESTILACIÓN SIMPLE DEL ACEITE GASTADO LUBRICANTE AUTOMOTRIZ 20W50**

VÉLEZ PONCE, MARÍA VICTORIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

**TRABAJO DE TITULACION, PREVIO A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN
PETROQUÍMICA**

QUÍM. ORBEA HINOJOSA, CARLOS FABIÁN

24 de agosto del 2020



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE Fe, Cu Y Al POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA A LA LLAMA EN EL HIDROCARBURO COMBUSTIBLE OBTENIDO POR DESTILACIÓN SIMPLE DEL ACEITE GASTADO LUBRICANTE AUTOMOTRIZ 20W50”** realizado por la señorita **Vélez Ponce, María Victoria** ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido, por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 24 de agosto de 2020



Quím. Orbea Hinojosa, Carlos Fabián, Msc.

DIRECTOR

C.C.: 050241777-7



Document Information

Analyzed document	1.MARÍA VICTORIA VÉLEZ PONCE.docx (D78135097)
Submitted	8/25/2020 2:36:00 AM
Submitted by	Orbea Hinojosa Carlos Fabian
Submitter email	cforbea@espe.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	cforbea.espe@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	TESIS PROPUESTA DE IMPLEMENTACION.docx Document TESIS PROPUESTA DE IMPLEMENTACION.docx (D26829941)		2
SA	M-ESPEL-0061tabango.pdf Document M-ESPEL-0061tabango.pdf (D8353253)		4
W	URL: https://docplayer.es/amp/31725383-Sede-cuenca-carrera-de-ingenieria-mecanica-autom... Fetched: 9/26/2019 8:49:45 AM		3
W	URL: https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/76684/1/avance_... Fetched: 7/14/2020 3:27:43 PM		1
W	URL: https://docplayer.es/96933605-Universidad-tecnica-de-cotopaxi.html Fetched: 7/23/2020 7:52:52 PM		1
SA	TesisDBazurtoSep04.pdf Document TesisDBazurtoSep04.pdf (D11421064)		5
W	URL: https://docplayer.es/46957709-Facultad-de-ciencia-y-tecnologia.html Fetched: 11/24/2019 2:20:59 AM		4
SA	Tesis_MANEJO DE ACEITES LUBRICANTES USADOS EN LAS LUBRICADORAS Y LAVADORAS DEL CAN ... Document Tesis_MANEJO DE ACEITES LUBRICANTES USADOS EN LAS LUBRICADORAS Y LAVADORAS DEL CAN ... (D16107663)		3
SA	TESIS_DE ACEITES_EDGAR_GUALAN.pdf Document TESIS_DE ACEITES_EDGAR_GUALAN.pdf (D60221278)		2
SA	tesis ok.docx Document tesis ok.docx (D28584363)		1
W	URL: https://www.593dp.com/index.php/593_Digital_Publisher/article/view/280 Fetched: 8/25/2020 2:37:00 AM		1

Quím. Orbea Hinojosa, Carlos Fabián, Msc.

DIRECTOR



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Vélez Ponce, María Victoria**, con cédula de ciudadanía n°**131148003-0**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE Fe, Cu Y AI POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA A LA LLAMA EN EL HIDROCARBURO COMBUSTIBLE OBTENIDO POR DESTILACIÓN SIMPLE DEL ACEITE GASTADO LUBRICANTE AUTOMOTRIZ 20W50”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 24 de agosto del 2020

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leer 'María Victoria Vélez Ponce'.

Vélez Ponce, María Victoria

C.C: 131148003-0



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Vélez Ponce, María Victoria** con cédula de ciudadanía n°**131148003-0**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE Fe, Cu Y AI POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA A LA LLAMA EN EL HIDROCARBURO COMBUSTIBLE OBTENIDO POR DESTILACIÓN SIMPLE DEL ACEITE GASTADO LUBRICANTE AUTOMOTRIZ 20W50”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 24 de agosto del 2020

Una firma manuscrita en tinta azul que parece corresponder al nombre de la autora.

Vélez Ponce, María Victoria

C.C: 131148003-0

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de investigación, a Dios con todo mi amor, por darme salud, sabiduría, confianza y fortaleza para continuar cuando tuve momentos malos, por haberme bendecido y guiado cada uno de mis pasos.

A mis padres Cruz María Ponce y Wilmer Vélez por ser mi apoyo en todo momento, en especial a mi madre que siempre estuvo para mí en mis buenos y malos momentos, apoyándome y alentándome para culminar esta meta, toda mi gratitud hacia ella.

A mi hermana por la paciencia que me ha tenido por lograr mis ideales, por darme apoyo y cuidar de mi madre y de mis bebitos caninos cuando yo estuve ausente.

A mi querida mi abuelita por siempre estar pendiente de mí, por creer en mí, por darme sus consejos y sabiduría y por todos sus mensajes de aliento.

A mi familia por motivarme cada día y a pesar de la distancia siempre estuvieron para mí. Gracias familia PONCE por todo su apoyo.

A mis amigos, gracias por todo y recuerden que siempre pueden contar conmigo.

María Victoria Vélez Ponce

AGRADECIMIENTO

A Dios, que con su infinito amor me dio la vida, fortaleza para lograr y disfrutar de mis verdaderas intenciones, Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, este trabajo de tesis ha sido una gran bendición, y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida.

A mi madre por ser mi apoyo en todo momento.

A mi centro de estudio Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L por permitir haber logrado la cúspide de mis estudios.

A mi director de tesis que me oriento en la elaboración de mi proyecto de investigación para el presente estudio.

A mis amigos que aportaron de una u otra manera su granito de arena para así yo alcanzar y lograr mi meta.

A mi osi por creerme en mí y apoyarme a llegar hasta aquí.

Gracias a todos, hago extensivo mis más sinceros agradecimientos.

María Victoria Vélez Ponce

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	1
CERTIFICACIÓN	2
REPORTE DE VERIFICACIÓN.....	3
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA.....	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	14
ÍNDICE DE FIGURAS	15
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción.....	19
1.2. Planteamiento del problema.....	22
1.3. Justificación e importancia	25
1.4. Objetivos	27
1.4.1. Objetivo general	27
1.4.2. Objetivos específicos.....	27
1.5. Variables de la investigación	27

1.5.1. Variable independiente	27
1.5.2. Variable dependiente.....	28
1.6. Hipótesis	28

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Energía renovable	29
2.2. Química verde	29
2.2.1. Principios de la química verde	30
2.3. Motores de combustión interna	32
2.3.1. Efectos de la altitud sobre los motores	32
2.4. Aceite lubricante.....	32
2.4.1. Características físicas y químicas de los lubricantes	34
2.4.2. Tipos de lubricantes	35
2.4.3. SAE 20W50.....	35
2.5. Aceite usado	36
2.5.1. Uso de aceites gastados	37
2.6. Contaminantes	37
2.6.1. Contaminantes presentes en los aceites lubricantes gastados	38
2.7. Norma ASTM D4057-95(2000).....	39
2.8. NTE INEN 1489:2012.....	39
2.9. Norma ASTM D 5863-00	39

2.10.	Norma ASTM D 5056-17	40
2.11.	Marco legal nacional	40
2.11.1.	Reglamento ambiental de actividades Hidrocarburíferas	40

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1.	Equipos, materiales y reactivos	42
3.2.	Matriz de diseño	42
3.3.	Recolección de la muestra	43
3.4.	Preparación de la muestra	44
3.5.	Destilación de la muestra	45
3.6.	Almacenamiento y transporte	48
3.7.	Digestión de metales	48
3.7.1.	Análisis químico	48
3.7.2.	Determinación de los metales Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Aluminio (AI)	49
3.8.	Análisis estadístico	49

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Rendimiento del destilado de las lubricadoras de Portoviejo y Latacunga	51
------	--	----

4.2.	Análisis de la concentración de los metales	53
4.3.	Análisis ANOVA	54
4.3.1.	Modelo estadístico.....	55
4.3.2.	Diagrama de Pareto estandarizada	55
4.3.3.	Gráfica de caja y bigote	56
4.3.4.	Modelo estadístico.....	58
4.3.5.	Diagrama de Pareto estandarizada	58
4.3.6.	Gráfica de Caja y Bigote.....	59
4.3.7.	Modelo estadístico.....	61
4.3.8.	Diagrama de Pareto estandarizada	61
4.3.9.	Gráfica de caja y bloque	62
4.3.10.	Modelo estadístico.....	64
4.3.11.	Diagrama de Pareto estandarizada	64
4.3.12.	Gráfica de caja y bloque	65
4.3.13.	Modelo estadístico.....	67
4.3.14.	Diagrama de Pareto estandarizada	67
4.3.15.	Gráfica de caja y bloque	68

CAPÍTULO V

5. DISEÑO DE LA PROPUESTA AMBIENTAL SUSTENTABLE DE ACEITES GASTADOS, GENERADOS DENTRO DE LAS LUBRICADORAS

5.1.	Introducción.....	70
------	-------------------	----

5.2.	Marco jurídico.....	71
5.2.1.	Constitución de la Republica del Ecuador	71
5.2.2.	Convenio de Basilea.....	72
5.2.3.	Ley de gestión ambiental.....	73
5.2.4.	Acuerdo ministerial n° 026: registro de generadores de desechos peligrosos, gestión y transporte	73
5.2.5.	Acuerdo ministerial 061: reforma del Libro 6 del TULSMA.....	73
5.2.6.	Acuerdo ministerial n° 109: establece la normativa sobre regularización ambiental.....	75
5.2.7.	Acuerdo ministerial n° 142: listado nacional de sustancias peligrosas.....	75
5.2.8.	TULSMA.....	75
5.2.9.	NTE INEN 2288.....	76
5.2.10.	NTE INEN 2266.....	77
5.2.11.	Norma ISO 14001-2015	77
5.3.	Objetivos	77
5.3.1.	Objetivo general	77
5.3.2.	Objetivos específicos.....	77
5.4.	Alcance	77
5.5.	Condiciones para el correcto almacenamiento y recolección de aceites automotrices gastados en las lubricadoras	78
5.5.1.	Área de lubricación.....	78

5.5.2. Sistema de drenaje de aceite	79
5.5.3. Material oleofílico	80
5.5.4. Área de aceites usados	81
5.5.5. Tanques de almacenamiento	82
5.6. Etiquetado	83
5.7. Transporte.....	84
5.8. Área de almacenaje y disposición final.....	85
5.9. Opción de tratamiento	86
5.9.1. Planta de producción de hidrocarburo combustible	86

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.....	88
6.2. Recomendaciones.....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Composición de la grasa lubricante</i>	33
Tabla 2. <i>Contaminantes de los aceites lubricantes gastados.....</i>	38
Tabla 3. <i>Matriz de diseño.....</i>	43
Tabla 4. <i>Tabla de variables de respuesta (Volumen de destilado a su temperatura de ebullición) con el cálculo de rendimiento para muestras en Portoviejo.....</i>	51
Tabla 5. <i>Tabla de variables de respuesta (Volumen de destilado a su temperatura de ebullición) con el cálculo de rendimiento para muestras en Latacunga</i>	52
Tabla 6. <i>Análisis de la concentración de los metales Fe, Cu y Al.....</i>	53
Tabla 7. <i>Tabla ANOVA del volumen de salida</i>	54
Tabla 8. <i>Tabla ANOVA de la temperatura de ebullición</i>	57
Tabla 9. <i>Tabla ANOVA de hierro (Fe).....</i>	60
Tabla 10. <i>Tabla ANOVA de cobre (Cu).....</i>	63
Tabla 11. <i>Tabla ANOVA del aluminio (Al)</i>	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Recolección de la muestra de aceite lubricante gastado 20W50</i>	44
Figura 2. <i>Llenado del aceite desecho al matraz (volumen inicial de 300 ml)</i>	45
Figura 3. <i>Destilación simple</i>	46
Figura 4. <i>Recolección de destilados del aceite lubricante gastado 20W50</i>	46
Figura 5. <i>Medición del volumen destilado</i>	47
Figura 6. <i>Recolección de residuo</i>	48
Figura 7. <i>Equipo de espectrometría de absorción atómica a la llama</i>	49
Figura 8. <i>Diagrama de Pareto estandarizada para el volumen de salida</i>	56
Figura 9. <i>Gráfico de caja y bigotes</i>	57
Figura 10. <i>Diagrama de Pareto estandarizada para temperatura de ebullición</i>	59
Figura 11. <i>Gráfico de caja y bigotes</i>	60
Figura 12. <i>Diagrama de Pareto estandarizada para la concentración de Fe</i>	62
Figura 13. <i>Gráfica de caja y bigotes</i>	63
Figura 14. <i>Diagrama de Pareto estandarizada para la concentración de Cu</i>	65
Figura 15. <i>Gráfica de caja y bigotes</i>	66
Figura 16. <i>Diagrama de Pareto estandarizada para la Concentración de Al</i>	68
Figura 17. <i>Gráfico de caja y bigotes</i>	
Figura 18. <i>Negocio de cambio de aceite</i>	79
Figura 19. <i>Sistema de drenaje</i>	80
Figura 20. <i>Material oleofílico</i>	81
Figura 21. <i>Área de almacenamiento</i>	82
Figura 22. <i>Tanque de almacenamiento</i>	83
Figura 23. <i>Instructivo para el significado de las señaléticas</i>	84
Figura 24. <i>Tanquero recolector de aceite usado</i>	85

Figura 25. *Diagrama de bloque del proceso de conversión de aceite lubricante*

gastado87

RESUMEN

La presente investigación inició en la recolección de aceite gastado lubricante 20W50, en 4 lubricadoras ubicadas en la ciudad de Portoviejo (LubriSilva y JB) y en la ciudad de Latacunga (Porrás y Albán). Posteriormente y usando equipos de destilación simple a escala de laboratorio, las muestras fueron destiladas, planteándose como variable el volumen de muestras. Se recolectaron 4 fracciones de destilado a distintos puntos de ebullición y volumen, permitiendo obtenerse los rendimientos respectivos de 75,76 % y 50,41 % para cada ciudad. Para su conservación, las fracciones fueron depositadas en frascos ámbar. Los destilados fueron analizados en el Laboratorio de petróleos de la Universidad Central del Ecuador, bajo la técnica de análisis de espectroscopía de absorción atómica a la llama, lográndose determinar la concentración del Fe, Cu y Al contenida en los mismos, y cuyos resultados atestiguan la presencia de aquellos metales en los aceites residuales 20W50. Se evidencia mayor concentración de éstos metales en las lubricadoras de la ciudad de Portoviejo. Posteriormente y aplicando el análisis ANOVA mediante el software Statgraphics, se analizaron cuatro tratamientos por cada metal. Además, se determinó qué factores (presión y volumen de entrada), influyen en cada variable de respuesta (volumen de destilado, temperatura de ebullición y concentración de los metales). Finalmente, se elaboró la propuesta ambiental con su respectivo marco legal y técnico, como alternativa a la reutilización y aprovechamiento del aceite lubricante gastado.

Palabras Clave:

- **ACEITE GASTADO 20W50**
- **METALES**
- **DESTILACIÓN SIMPLE**
- **ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA A LA LLAMA**

ABSTRACT

The present investigation began in the collection of spent lubricating oil 20W50, in 4 lubricators located in the city of Portoviejo (LubriSilva and JB) and in the city of Latacunga (Porrás and Albán). Later and using simple distillation equipment on a laboratory scale, the samples were distilled, considering the volume of samples as a variable. 4 distillate fractions were collected at different boiling points and volume, allowing the respective yields of 75,76 % and 50,41 % to be obtained for each city. For their conservation, the fractions were deposited in amber flasks. The distillates were analyzed in the Petroleum Laboratory of the Central University of Ecuador, under the technique of flame atomic absorption spectroscopy analysis, being able to determine the concentration of Fe, Cu and Al contained in them, and whose results attest to the presence of those metals in the residual oils 20W50. A higher concentration of these metals is evident in the lubricants of the city of Portoviejo. Subsequently, and applying the ANOVA analysis by means of the Statgraphics software, four treatments were analyzed for each metal. In addition, it was determined which factors (pressure and inlet volume) influence each response variable (volume of distillate, boiling temperature and concentration of metals). Finally, the environmental proposal was prepared with its respective legal and technical framework, as an alternative to the reuse and use of spent lubricating oil.

Key words:

- **SPENT OIL 20W50**
- **METALS**
- **SIMPLE DISTILLATION**
- **SPECTROSCOPY OF ATOMIC ABSORPTION TO THE FLAME**

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

El residuo de aceites lubricantes constituye uno de los peores contaminantes generados actualmente por la propia humanidad, “representando más del 60% de los aceites lubricantes consumidos, debido a que la demanda mundial de dichos aceites llega a 40 millones de toneladas por año” (Manzanarez e Ibarra, 2012, p.129). La singularidad de éste tipo de desecho es una verdadera amenaza para el medio ambiente (ecosistemas globales), a escala mundial y para la propia humanidad (amenaza importante para la salud y el bienestar de millones de personas), debido a su alta toxicidad, baja o nula biodegradabilidad, masiva bioacumulación, peligrosa emisión de gases y acelerada degradación química, contaminando directa o indirectamente el aire, agua y suelo. La actual paradoja de la humanidad es que, unida al progreso de nuestra civilización está la destrucción propiciada por la propia mano del hombre, debido a la incorrecta eliminación de aceites lubricantes residuales (por vertido o incineración incontrolada).

Según la página web de la Administración de información energética (EIA), el consumo total mundial de combustibles para automóviles ha crecido desordenada y exponencialmente durante los últimos 15 años, esperándose la continuación futura de tal proyección, al haberse convertido el consumo desmedido de combustibles en una parte indispensable de la agitada vida moderna. El monitoreo de su nefasto impacto ambiental y la urgente implementación de programas de control de calidad del combustible, validan la necesidad de su imperiosa aplicación en todo el planeta.

Existen elementos metálicos o metaloides en los combustibles (aunque sólo en baja concentración), cuyo producto final -emisión automotriz general de procesos combustibles en que intervienen- contribuye abiertamente a la contaminación ambiental, agravándose su impacto adverso en áreas densamente pobladas, contribuyendo en sí a una disminución de la calidad del aire, con el consiguiente efecto negativo tanto en la salud humana, como en la del medio ambiente. Korn, Sodré et al. (2007)

La naturaleza de los aceites lubricantes usados abarca diferentes compuestos químicos, tales como metales pesados “(cromo, cadmio, arsénico, plomo, entre otros), por lo que necesita una gestión responsable” Fong, Quiñonez y Tejada, (2017). Éstos últimos ocasionan -directa y de larga permanencia- graves daños al medioambiente al ser vertidos en el suelo, en las corrientes de agua o contactar a éstas de alguna forma.

En Colombia, uno de los usos más comunes del aceite lubricante residual, consiste en su utilización a nivel industrial como combustible barato en hornos y calderas, lo que libera una cantidad apreciable de gases altamente contaminantes a la atmósfera, que poseen componentes nocivos y muy peligrosos: partículas metálicas (formadas por el desgaste de las piezas de los motores en movimiento y fricción), compuestos de azufre, entre otros. Muñoz, Montoya y Muñoz (2017)

En Ecuador, la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento -ETAPA EP- de la ciudad de Cuenca, aprovechando el alto potencial energético del aceite lubricante gastado y mediante su recolección y controlada gestión posterior, propone una alternativa ambientalmente segura, reutiliz ndolo como combustible alternativo para la incineración en las cementeras (ETAPA EP, 2016). Sin embargo, debe recordarse que la quema sin

tratamiento previo que elimine los elementos nocivos sólo empeora el problema de la contaminación ambiental: posee mayor peligrosidad la polución atmosférica provocada que la contaminación del suelo y del agua por vertido. Los aceites usados, en su mayoría son descargados en los drenajes o directamente en el suelo, convirtiéndose así en importante fuente de contaminación de los cuerpos de agua superficiales y mantos acuíferos. Massa, Cusi et al. (2019)

Vargas y Ruiz (2007) mencionan lo siguiente:

Actualmente la química se enfrenta a retos como la reducción del impacto ambiental de los residuos industriales y al manejo adecuado de recursos ambientales, entre otros. La química verde -nueva tendencia mundial- busca alternativas de compatibilidad de productos y procesos, reduciendo o eliminando la producción de sustancias peligrosas al mismo tiempo que tiende a proteger la salud humana, promueve el aporte de nuevas metodologías y tecnologías orientadas al servicio de la humanidad y en armonía con los recursos naturales. (p.29)

Hoy en día, la contribución de la energía renovable global (en relación con el consumo total de energía primaria) es de aproximadamente el 8 % versus el 6 % en Europa. La conciencia mundial sobre los problemas energéticos continúa evolucionando, principalmente debido al agotamiento y aumento de los precios de los recursos energéticos fósiles, entre otros. Schallenberg, Piernavieja et al. (2008)

Es importante la caracterización de la materia prima reciclada como combustible, ya que permite determinar el grado de contaminación debido a la presencia de trazas de metales (hierro, cobre y aluminio), que causan merma en la calidad de las partes del

motor, lo que demanda que el aceite lubricante residual sea refinado mediante la aplicación de un tratamiento químico previo que elimine esos contaminantes.

El resultado, un hidrocarburo combustible reciclado, serviría como un suplente del combustible cotidiano obtenido del aceite lubricante gastado 20W50. Para reducir parte de la contaminación medioambiental basándose en la química verde con los principios de disminuir el consumo energético, utilizar materias primas renovables y diseñar productos biodegradables. Cabildo, Cornago et al. (2012)

1.2. Planteamiento del problema

El sigiloso y cada vez más veloz acercamiento al límite de la sostenibilidad del medio ambiente del planeta Tierra, revela el inminente peligro a la existencia de la vida, tal como se conoce. La revolución industrial trajo consigo la aparición de los aceites lubricantes y sus efectos negativos referentes a su uso, entre ellos la combustión, los derrames en el suelo, que comienzan contaminando el aire, el suelo, las aguas superficiales y subterráneas, reflejándose en la contaminación de los productos agrícolas y los alimentos. Bírová, Pavlovicová y Cvengros, (2006)

El continuo crecimiento y deterioro del ecosistema mundial, así como el agotamiento a mediano plazo de las reservas de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), son las principales consecuencias del actual sistema energético mundial, basado en el uso intensivo de estas fuentes de energía no renovables, evidenciándose la necesidad de desarrollar fuentes de energías alternativas ecológicas, renovables y / o inagotables. (Posso, 2002, p. 54)

Según afirman Loayza y Silva (2005):

Los aceites lubricantes usados, luego de su generación, están siendo utilizados como combustibles, de manera indiscriminada y sin ningún tipo de tratamiento; tanto por la pequeña como por la mediana industria, debido a sus bajos precios en comparación con el de los combustibles industriales, siendo ésta práctica la causa de problemas coligados con la contaminación del aire. Por otro lado, parte del aceite usado es dispuesto al ambiente en forma inconveniente, contaminando el agua y el suelo, ocasionando efectos graves tanto para la salud como para los ecosistemas naturales. (p.74)

Residuos de aceites lubricantes gastados que consisten en hidrocarburos totales de petróleo (TPH), bifenilos policlorados (PCB), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), metales y otros compuestos contaminantes, debido a su persistencia y su capacidad para difundirse, causan degradación ambiental en grandes áreas. En el agua y suelo se forma una película delgada que no permite el paso del oxígeno, lo que resulta en una disminución de la calidad ambiental y la salud humana. Debido a sus efectos cancerígenos, tóxicos y venenosos, se consideran difíciles de biodegradar y se clasifican como residuos peligrosos. (Vásquez, Guerrero y Quintero, 2010, p. 142)

Con la gran cantidad de aceites de motor utilizados a nivel mundial, la eliminación de éstos se ha transformado en un problema transcendental, que muchas naciones ahora tratan científicamente la contaminación ambiental de los desechos de los aceites lubricantes gastados en sus países. En los Estados Unidos, por ejemplo, se generan alrededor de 8 mil millones de litros de aceite usado al año, lo que ha llevado a las industrias y gobiernos a buscar soluciones satisfactorias que reduzcan el amplio aporte del aceite lubricante usado a la contaminación y desarrollen métodos para

recuperar éste valioso recurso de hidrocarburo. (Udonne, 2011, p.12 citado en Whisman et al., 1978).

Según Muñoz, Montoya y Muñoz (2017) afirman:

El volumen anual de consumo de lubricantes en Colombia se estima en aproximadamente 39´600.000 galones, aproximadamente, más de 31 millones de galones de aceites usados de motor no tienen una correcta disposición final. Según el informe realizado por la Revista Suiza en 2011, en Colombia se estima que el sector automotriz consume 25´740.000 galones de aceites y lubricantes al año. Del total de aceites y lubricante consumidos en el país, se tiene conocimiento de la reutilización de entre 8´283.200 galones/año, equivalentes al 38 %, reutilizados principalmente en la fabricación de combustibles industriales con mezclas de fueloil. (pp. 4-5)

En Ecuador, el 63 % de los desechos producidos por aceites lubricantes son arrojados directamente al ambiente sin la aplicación de ningún proceso o tratamiento técnico de reciclaje; en algunos casos son utilizados como combustible para incineradoras en la fabricación de ladrillos o directamente para regarlos en caminos de tierra a fin de que no se levante el polvo, sin considerar el daño que se hace al medio ambiente. (Ministerio del Ambiente, 2019)

Se generan 24 millones de galones al año para automóviles a gasolina y diésel. La Subsecretaría de Industrias e Innovación Tecnológica del Ecuador trabaja con la empresa Biofactor, dedicada a la gestión de residuos industriales, para ayudar en el proceso de reciclaje, procesando el aceite quemado desechado en mecánicas, lubrilavadoras y lugares similares, y convirtiéndolo en apto para ser reutilizado en

motores de combustión interna, evitando así el desecho al medio ambiente. Esta empresa procesa alrededor de 70 mil galones de aceite/mes. (El telégrafo, 2011)

En la ciudad de Latacunga las mecánicas recolectan todo tipo de fluidos de los vehículos en un mismo recipiente, mientras en las lavadoras, lubrilavadoras y concesionarias -por existir mayor cantidad de fluidos, especialmente aceite- es almacenado y luego vendido para incineración (Tabango y Heredia, 2011, p. 92). La Prefectura de Cotopaxi dispuso que cada semana sea recogido dicho aceite y transportado a la empresa Biofactor, que lo procesa para su reutilización.

Éstos aceites son reutilizados para incineración y combustibles alternos, pero sin realizar el respectivo análisis cuantitativo atendiendo al desgaste del automóvil para determinar si existen metales (Fe, Cu y Al), favoreciéndose así la contaminación ambiental del aire, agua y suelo.

1.3. Justificación e importancia

En Ecuador, el aprovechamiento de materias residuales es aún un tema en estado muy inicial, con mínima explotación industrial, donde la mayoría de las industrias enfocan su sistema productivo sin atender este nicho de mercado; aunque existen personas que de una u otra forma tratan de aprovechar estas materias brutas transformándolas en materias primas. Su naturaleza tóxica exige la determinación cuantitativa del contenido de metales (como Fe, Cu y Al). A bajos niveles de concentración en muestras de carácter ambiental, los metales no se degradan, acumulándose en el suelo y los sedimentos, a diferencia de los residuos orgánicos que sí se degradan.

La presencia de Fe, Cu y Al en el destilado que provienen del aceite gastado, que en esta investigación se plantea, llevaría a considerarlo como un producto desecho contaminante y perjudicial para el motor, porque estos metales deterioran las partes de éste. Con respecto al medio ambiente, afectaciones al suelo: el humus vegetal vá degradándose y el suelo pierde su fertilidad; en el agua se forma una película impermeable que impide el paso del oxígeno molecular disuelto en el agua, lo que ocasiona la muerte de los organismos vivos en ese medio acuoso circundante; mientras que, en el aire, la incineración de estos aceites lubricantes gastados produce emisiones a la atmósfera de metales (por ejemplo, plomo), gases tóxicos y otros elementos.

La importancia de obtener dicho hidrocarburo combustible residual reutilizable, radica en obtener un posible sustituto de los combustibles tradicionales, con el gran mejorante de cuidar el ecosistema al reducir la contaminación ambiental mediante el reciclado de un material ya utilizado en algún proceso productivo. Además, de proporcionar fuentes de trabajo a mano de obra calificada y no calificada. Para ello, se comienza a analizar e identificar la existencia de metales en dicho hidrocarburo combustible residual reutilizable, fundamento de la presente investigación. Subsiguientes investigaciones determinarán su aptitud como combustible.

Para esta investigación se cuenta con información técnica y científica en el proceso de destilación simple, así como también la fuente proveedora de aceites lubricantes gastados 20W50, los cuales permitirán obtener el hidrocarburo combustible.

Se cuenta con la ayuda invaluable del conocimiento teórico y práctico del tutor como guía indispensable durante éste proceso investigativo, la total entrega personal de la investigadora a la tarea, así como la obtención prioritaria de materiales, la materia

prima necesaria, equipos en el Laboratorio de Corrosión de Petroquímica y los Laboratorios de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí (UTM), el espectrofotómetro de absorción atómica en los Laboratorios de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Central del Ecuador (UCE), además de los recursos económicos necesarios para la ejecución del proyecto de investigación.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar la concentración de Fe, Cu y Al por espectroscopía de absorción atómica a la llama en el hidrocarburo combustible obtenido por destilación simple del aceite gastado lubricante automotriz 20W50 bajo las condiciones de presión atmosférica de las ciudades de Latacunga y Portoviejo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recolectar el aceite gastado lubricante automotriz 20W50 en las lubricadoras de la ciudad de Latacunga y Portoviejo.
- Destilar aceite gastado lubricante automotriz 20W50 utilizando destilación simple bajo condiciones de presión atmosférica de Latacunga y Portoviejo para poder obtener el hidrocarburo combustible.
- Analizar la concentración de Fe, Cu, Al del hidrocarburo combustible mediante la utilización de espectroscopía de absorción atómica a la llama.
- Realizar una propuesta ambiental en el caso de que se encuentre o no se encuentre Fe, Cu y Al en el hidrocarburo combustible.

1.5. Variables de la investigación

1.5.1. Variable independiente

- Presión atmosférica.
- Volumen de entrada.

1.5.2. Variable dependiente

- Volumen de destilado obtenido.
- Temperatura de ebullición.
- Concentración de los metales Fe, Cu y Al en el volumen de destilado.

1.6. Hipótesis

En cada uno de los volúmenes del destilado del aceite gastado lubricante automotriz 20W50 obtenido a dos distintas presiones atmosféricas, se presentan concentraciones de los metales Hierro, Cobre y Aluminio en al menos una parte por millón.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Energía renovable

La energía renovable o generada continuamente, es inagotable a escala humana, se renueva continuamente, en contraste con la de los combustibles fósiles, permisible de brindar su aporte sólo para un periodo de tiempo determinado. Ésta energía proviene directa o indirectamente del sol. La energía geotérmica y la de las mareas son una excepción. Schallenberg, Piernavieja et al. (2008)

La energía renovable se define como aquella que no consume recursos ni contamina, susceptible de convertirse en fuente de suministro de factores sostenibles. Hasta ahora, la demanda de energía ha sido regulada y lo seguirá siendo en el futuro, debido a tres factores principales: crecimiento de la población, desarrollo económico y progreso tecnológico. Aún más, en las últimas décadas, el uso de combustibles fósiles ha causado una serie de problemas ambientales (sobrecalentamiento, lluvia ácida, entre otros), que cambian el equilibrio ecológico e impactan negativamente sobre el bienestar social. (Castells, 2012, p.596)

2.2. Química verde

La química verde refiere a métodos químicos que previenen la contaminación, y especialmente al diseño de productos o procesos que reducen o eliminan el uso o la producción de sustancias peligrosas, teniendo así una mayor compatibilidad con el medio ambiente. Los productos o procesos actualmente disponibles y utilizados por consumidores y aplicaciones industriales, han aumentado su peligrosidad. La química verde promueve la prevención de la contaminación a nivel molecular. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2016)

La química verde también es definible como una aplicación de fabricación y ciencia química que, utilizando métodos sostenibles o sustentable, es segura, libre de contaminación, consume cantidades mínimas de materiales y energía, produciendo poco o ningún desperdicio. La práctica de la química verde comienza cuando las personas se dan cuenta de que, si la producción, procesamiento, uso y eliminación final de los productos químicos son inadecuados, podrían causar daños al ambiente. (Manahan, 2007, p.8)

Los 12 principales objetivos de la química verde fueron propuestos por Paul Anastas y John Warner en 1988, cuya aplicación como implementación innovadora ayudará a la tierra en el ámbito social, económico y ambiental. Una de las técnicas realizable en base a la química verde es la síntesis química, optimizable en condiciones apropiadas, lo que reduce los requisitos de energía y mejora la eficiencia de los procesos. (Pájaro y Olivero, 2011, pp.170-171)

2.2.1. Principios de la química verde

- **Prevención de residuos**

Es preferible evitar la formación de residuos en lugar de tratar de eliminarlos después de que existan.

- **Economía atómica**

Los métodos de síntesis deben diseñarse de modo que todos los materiales utilizados en el proceso sean incorporados completamente al producto final, minimizando así la formación de subproductos.

- **Método de síntesis reductores de la toxicidad**

Siempre que sea posible, éstos métodos deben diseñarse para usar y producir sustancias con poca o ninguna toxicidad para los humanos y el medio ambiente.

- **Diseño de compuestos químicos más seguros**

De tal manera que mantengan una baja toxicidad y la efectividad de sus funciones.

- **Reducir el uso de sustancias auxiliares**

Evite el uso de sustancias innecesarias (disolventes, reactivos para separación, entre otros). Si se usan, deben ser inofensivos.

- **Eficiencia energética**

La demanda de energía se clasificará según su impacto sobre el medio ambiente y la economía, reduciéndose tanto como sea posible. Se intentará realizar el método de síntesis a presión atmosférica y temperatura ambiente.

- **Utilización de materias primas renovables**

Preferiblemente, la materia prima debe ser renovable en lugar de agotable, siempre que sea técnica y económicamente factible.

- **Reducir derivados**

Siempre que sea posible, la formación de éstos (grupos de bloqueo, protección / desprotección, modificación temporal de procesos físicos / químicos), debe evitarse.

- **Potenciación de la catálisis**

Se utilizarán catalizadores reutilizables (lo más selectivos posible) en lugar de reactivos estequiométricos.

- **Diseño de productos biodegradables**

. Los productos químicos deben diseñarse de tal manera, que se transformen en inofensivos al final de su función, no persistiendo en el medio ambiente.

- **Desarrollo de técnicas para análisis en tiempo real**

Posteriormente, se implementarán los métodos analíticos ya desarrollados, para monitorear el proceso en tiempo real antes de la formación de las sustancias peligrosas.

- **Minimizar el potencial accidentes químicos**

La elección de las sustancias utilizadas en el proceso químico debe minimizar el riesgo de accidentes químicos (emanaciones, explosiones e incendios, entre otros).

(Cabildo, Cornago et al. 2012, pp.17-18)

2.3. Motores de combustión interna

A nivel mundial, la fuerza motriz que impele actualmente al 80 % de los vehículos, corresponde a motores de combustión interna, que transforman la energía térmica del combustible en trabajo útil, produciendo un trabajo mecánico a partir de la energía química liberada por el combustible. En síntesis, en los motores de combustión interna la energía es redimida por la combustión u oxidación del combustible dentro del motor. (Rafael y Hernández, 2014)

En motores a gasolina, la mezcla (combustible y aire), es encendida por chispa eléctrica y se quema en el cilindro generando el trabajo mecánico. (Gilardi, 1985, p.12)

2.3.1. Efectos de la altitud sobre los motores

La altitud incide en la densidad del aire y su composición. Debido a que el motor de combustión interna posee un sistema volumétrico de inyección y admisión de combustible, la altitud altera el ciclo de operación termodinámico, lo que cambia tanto el rendimiento como las condiciones locales de combustión, viéndose favorecida la formación de contaminantes. Lapuerta, Armas et al. (2006)

2.4. Aceite lubricante

Son líquidos viscosos usados principalmente para reducir la fricción entre superficies. Funcionan en el interior de motores o equipos industriales, donde las condiciones de operación degradan las propiedades del aceite lubricante después de un cierto período de uso. Las propiedades químicas evitan la extensión de su tiempo de

uso; por lo que deben reemplazarse total o parcialmente. Quintana, Martínez et al. (2014)

El aceite lubricante consiste en aceite base más aditivos (sustancias activas que mejoran las propiedades del aceite base, por ejemplo: estabilidad a la oxidación, resistencia a la corrosión, resistencia al gripado o comportamiento de viscosidad temperatura). Los aceites lubricantes optimizan las propiedades del sistema: la fricción (estática) y el desgaste en la dirección deseada. (Bosch, 2005, pp. 315-316)

Tabla 1.

Composición de la grasa lubricante

Aceite Base	Espesantes	Aditivos
Aceites minerales	Jabones metálicos	Inhibidores de la oxidación
- Parafínicos	(Li, Na, Ba, Ca, Al)	Iones de Fe y Cu, formador de complejos
- Nafténicos	Normal	Inhibidores de la corrosión
- Aromáticos	Hidroxidocomplejo	Aditivos de alta presión (Aditivos EP)
Poli-a-olefina		Aditivos para la protección contra el desgaste
Alquilaromáticos	Policarbamidas	(Aditivos contra el desgaste)
Aceites diéster		Reductores del rozamiento
Poliolo	PTFE	(Modificador del rozamiento)
Silicona	PE	Agente para mejorar la adherencia
Feniléter	Bentonita	Detergentes, dispersantes
Poliéter perfluórico	Geles de sílice	Agentes que mejoran el VI Lubricantes sólidos

Nota. Recuperado de (Bosch, 2005)

2.4.1. Características físicas y químicas de los lubricantes

Según Buchelli y Garcia (2015):

El aceite lubricante utilizado en los motores de combustión interna debe cumplir con las características que permiten que el equipo tenga un correcto desempeño y funcionamiento. Las principales características del aceite son:

- Viscosidad: determina la resistencia de un fluido a fluir.
- Índice de viscosidad: el cambio de viscosidad con la temperatura se mide y se refleja como el valor correspondiente al índice. Un valor más alto indica que el aceite tiene mejor resistencia a la temperatura.
- Densidad: la relación entre la masa y el volumen de aceite medida a 15,6 °C.
- Punto de inflamación: temperatura mínima a la que se enciende el aceite lubricante cuando se genera suficiente vapor.
- TAN: corresponde a los ácidos orgánicos y representa la acidez total.
- TBN: corresponde a la reserva alcalina que combate los ácidos generados por la combustión interna del motor e indica la alcalinidad del aceite del motor.
- Ceniza sulfatada: porcentaje en peso de materiales metálicos. Proviene de los aditivos encontrados por la incineración de aceite y luego por la incineración con ácido sulfúrico.
- Resistencia a la oxidación: capacidad del aceite al resistirse para reaccionar con el oxígeno y formar compuestos oxidados.
- Demulsibilidad: capacidad del aceite para separarse del agua que lo contamina y mantenerse en suspensión. (p. 85)

2.4.2. Tipos de lubricantes

Según Sanz (2017):

- **Aceite mineral**

Compuesto por hidrocarburos de diversas fuentes minerales y obtenido a través del proceso de refinación del petróleo crudo.

- **Aceite sintético**

Producto químico obtenido a través de varios métodos que pueden modificar la estructura molecular de sus componentes, eliminando las partículas minerales indeseables. La excelente calidad del aceite sintético lo hace muy adecuado para motores de alto rendimiento utilizados en condiciones extremadamente duras. Con larga vida útil permite mayores períodos entre cambios de aceite, compensando así su alto costo.

- **Aceite semisintético**

Se compone de una base de aceite mineral y una cierta proporción de aceite sintético. El uso de este aceite puede mejorar en gran medida la calidad del aceite mineral. (p. 183)

2.4.3. SAE 20W50

El número 20W50 hace referencia a la viscosidad del aceite establecida por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros. Ésto indica su fluidez o espesor: "20W" significa la velocidad de arranque del motor en clima frío o en tiempo frío; "50" se refiere al espesor del aceite después de que el motor ha estado funcionando durante un período de tiempo. El aceite de motor 20W50 es un lubricante multigrado y es relativamente viscoso, por su alta viscosidad brinda amortiguación y preserva contra el contacto de metal a metal, por lo que lo utilizan vehículos con altos requisitos de trabajo y alto consumo de aceite. (Ash, 2017)

- **Propiedades físicas y químicas**

Según GrupoTransmerquim (GTM, 2016):

Apariencia	Líquido color ámbar a café oscuro
Olor	Leve a petróleo
Gama de ebullición	indeterminado
Gravedad a 60°F:	
Gravedad específica ($H_2O=1$)	0,8842
Libras/galón	7,3620
VOC=S (Presión de vapor >0,44 lbs/sq.in) (Lbs/gal)	0.0
Total de compuestos orgánicos volátiles (TVOC)(g/L)	0,0
No exentos compuestos volátiles (TVOC)(g/L)	0.0
Presión de vapor (mm de Hg)	<0,01
A 20°C:	
Densidad de vapor (aire=1)	No se ha determinado
Absorción de agua	Insignificante
% De volatilidad por vol.	0.0

2.5. Aceite usado

Es un desperdicio generado por el uso de lubricantes en aplicaciones automotrices e industriales. El aceite usado es una mezcla de hidrocarburos originarios del petróleo, con restos de los aditivos agregados para realizar la función de lubricación, de agua, disolventes y otros contaminantes obtenidos durante el uso. El vertido no tratado y la quema del aceite lubricante residual dañan gravemente el medio ambiente.

Interesantemente, utilizando una tecnología similar a la aplicada al petróleo crudo (a través de un proceso llamado regeneración), los hidrocarburos contenidos en el aceite residual pueden recuperarse con una calidad similar al original. Por otro lado, aunque el aceite no pase por el proceso de regeneración, su alto poder calorífico lo convierte en un posible sustituto del fuel-oil. (Arner, Barberán y Mur, 2006, pp. 81-82)

2.5.1. Uso de aceites gastados

- Para preparar mezclas de asfalto con propiedades similares a los materiales nuevos. (Gallego y Campagnoli, 2018, p. 2)
- Como combustible en ladrilleras: incorporado en la combustión para producir ladrillos. Sánchez, Mayorga et al. (2000)
- Para producir otros lubricantes: algunas industrias mezclan lubricantes de desecho con otros lubricantes para producir diferentes tipos de lubricantes.
- Como combustible para: quemadores de aceite domésticos, calderas industriales, incineradores municipales y hornos rotatorios de cemento. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR, 2016)
- Para uso en motosierras o como protección de la madera contra insectos. (Martinez y Delgado, 2013, p. 57)

2.6. Contaminantes

Es toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, derivados químicos o biológicos, y todas las formas de energía térmica, radiación ionizante, vibración, ruido, que al combinarse en la atmósfera actúen sobre el agua, el suelo, la flora o cualquier otro elemento ambiental, alterándolo o haciendo variar su composición, afectando tanto al ecosistema, como a la salud humana.

El principal elemento ambiental contaminado es el agua, debido a una variedad de circunstancias convergentes, como la desenfrenada descarga de sustancias químicas (muchas tóxicas), provenientes del sector industrial masivo, ejemplo: la minería, la industria de la celulosa del papel, la metalurgia y el acabado en metales, uso de muchos materiales contaminantes inertes como: plomo, cobre, mercurio, hierro y otros metales. (Solíz y López, 2003)

2.6.1. Contaminantes presentes en los aceites lubricantes gastados

El aceite lubricante gastado contiene diferentes compuestos químicos: metales pesados (cromo, cadmio, arsénico, plomo, entre otros), hidrocarburos aromáticos polinucleares (benceno y a veces solventes clorados, bifenilos policlorados o PCB), entre otros. Éstos compuestos afectan directamente la salud humana, siendo algunos cancerígenos. (Fong, Quiñones y Tejada, 2017)

La Tabla 2 describe los contaminantes, sus cantidades de concentración y los lugares de generación, como productos del desgaste del motor.

Tabla 2.

Contaminantes de los aceites lubricantes gastados

Contaminante	Origen	Concentración (ppm)
Bario	Aditivos detergentes	Menor a 100
Calcio	Aditivos detergentes	1000 – 3000
Plomo	Gasolina plomada – desgaste de piezas	100 – 1000
Magnesio	Aditivos detergentes	100 – 500
Zinc	Aditivos anti-desgaste y antioxidantes	500 – 1000
Fósforo	Aditivos anti-desgaste y antioxidante	500 – 1000
Hierro	Desgaste del motor	100 – 500
Contaminante	Origen	Concentración (ppm)

Cromo	Desgaste del motor	Trazas
Níquel	Desgaste del motor	Trazas
Aluminio	Desgaste de rodamientos	Trazas
Cobre	Desgaste de rodamientos	Trazas
Estaño	Desgaste de rodamientos	Trazas
Cloro	Aditivos – gasolinas plomadas	300
Silicio	Aditivos	50 – 100
Azufre	Base lubricante – productos de combustión	0,2 – 1.0 %
Agua	Combustión	5 – 10 %
Hidrocarburos livianos	Dilución del combustible	5 – 10 %
PAH	Combustión incompleta	Menor a 1000

Nota. Recuperado de (ECOLCIN S.A.S., 2014)

2.7. Norma ASTM D4057-95(2000)

Cubre los procedimientos de adquisición manual para muestras representativas de productos derivados de petróleo en estado líquidos, semilíquidos o sólidos, con una presión de vapor de menos de 101 kPa (14,7 psia), en condiciones ambientales.

Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM Internacional, 2017)

2.8. NTE INEN 1489:2012

Establece los requisitos que debe cumplir el diésel que se comercializa en el país. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2013)

2.9. Norma ASTM D 5863-00

Método de prueba estándar para la determinación de níquel, vanadio, hierro y sodio, en petróleo crudo y combustible residual por espectrometría de absorción atómica a la llama. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM International, 2011)

2.10. Norma ASTM D 5056-17

Método de prueba estándar para la determinación de metales traza en coque de petróleo por absorción atómica, que cubre el análisis de metales traza (aluminio, calcio, hierro, níquel, silicio, sodio y vanadio), comúnmente encontrados en muestras de análisis de laboratorio de coque de petróleo crudo y calcinado mediante espectroscopía de absorción atómica. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM International, 2011)

2.11. Marco legal nacional

La República del Ecuador señala regulaciones ambientales sobre el control y prevención de la contaminación de los recursos naturales:

- Constitución de la República del Ecuador en 2008, artículos 14, 15, 264, 395, 397, 409, 411 y 413.
- Ley de Gestión Ambiental.
- Acuerdo ministerial n° 026: Registro de generadores de desechos peligrosos, gestión y transporte.
- Acuerdo ministerial 061: Reforma del Libro VI del TULSMA (Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente).
- Ley de prevención y control de la contaminación ambiental, artículo 16.
- Decreto ejecutivo n° 3516 del Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, artículos 41-43, 92, 95. (TULSMA, 2015)

2.11.1. Reglamento ambiental de actividades Hidrocarburíferas

Según (Ministerio del Ambiente, 2010):

Art. 79.- Normas de manejo. - Las compañías productoras o comercializadoras de grasas y aceites lubricantes domiciliadas en el país, incorporarán obligatoriamente al envase de su producto además de las normas técnicas y tiempo de vida útil del

producto, las normas que deben observarse en su manejo, así como las condiciones mínimas a cumplirse para una disposición final ambientalmente limpia de los desechos que se produzcan en su manejo.

El seguimiento al cumplimiento de tales normas por parte de los centros de distribución o de servicios es responsabilidad de las compañías productoras o comercializadoras que suministran las grasas y aceites lubricantes, las que reportarán trimestralmente a la Dirección Nacional de Protección Ambiental Hidrocarburíferas el volumen de grasas y aceites lubricantes vendidos, así como también la identificación de los establecimientos o personas naturales o jurídicas a los que por incumplimiento de las normas de manejo y disposición se les haya retirado la distribución o suministro.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Equipos, materiales y reactivos

En el desarrollo del presente trabajo investigativo se emplearon los materiales que componen un equipo de destilación simple para obtener los destilados en el Laboratorio de Corrosión de Petroquímica (ESPE-L) y en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí (UTM); el espectrofotómetro de absorción atómica en los Laboratorios de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Central del Ecuador (UCE) para medir la concentración de los metales en el destilado, los materiales son:

Materiales:

- Balón de destilación de 500ml.
- Termómetro de 10 °C - 360 °C.
- Condensador Liebig de 30 cm.
- Mangueras de hule.
- Vaso de precipitados de 250ml, 500ml.
- Cabeza de destilación.
- Estufa.
- Pinza de doble nuez.
- Soporte universal.

Equipos

- Espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin-Elmer modelo 2100.

3.2. Matriz de diseño

En la tabla 3 se aprecia el diseño experimental para hallar el número de repeticiones y el número de tratamientos para cada muestra. Además, se expone la

matriz de bloque que refleja dos volúmenes distintos para las muestras de Portoviejo y Latacunga, realizándose una repetición por cada volumen, obteniéndose cuatro volúmenes de destilado para las muestras de cada ciudad. Se analizarán cuatro tratamientos por cada metal.

Tabla 3.

Matriz de diseño

Variables Independientes			Variables de Respuesta				
Número de Ensayo	Presión Atmosférica	Volumen de Entrada	Volumen de Salida	Temperatura de Ebullición	Concentración de los Metales		
					Hierro (Fe)	Cobre (Cu)	Aluminio (Al)
1	Latacunga	V1	VS11	T11	X1	Y1	Z1
			VS12	T12	X2	Y2	Z2
V2		VS21	T21	X3	Y3	Z3	
		VS22	T22	X4	Y4	Z4	
3	Portoviejo	V3	VS31	T31	X5	Y5	Z5
			VS32	T32	X6	Y6	Z6
V4		VS41	T41	X7	Y7	Z7	
		VS42	T42	X8	Y8	Z8	

Nota. Realizado por: María Victoria Vélez

3.3. Recolección de la muestra

Las muestras de aceite lubricantes gastados 20W50 fueron recolectados en 4 lubricadoras: LubriSilva y Lubricadora JB en la ciudad de Portoviejo, Lubricadora y Repuestos Porras y Lubricadora Albán en la ciudad de Latacunga, lugares donde principalmente cambian el aceite a vehículos de motor de combustión interna, de cilindraje entre 1000 cc a 2500 cc, una vez que dicho producto haya cumplido su vida útil entre 5000 y 7500 Km de recorrido. El aceite lubricante gastado se recolectó de

acuerdo con la norma ASTM D4057-95(2000), en botellas ámbar y etiquetadas con los datos informativos relevantes (cuantificativamente: 2 litros por lubricadora, 4 litros en Portoviejo y 4 Litro en Latacunga).

En la figura 1 se observa la recolección del aceite lubricante gastado directamente desde el motor de un vehículo, en la lubricadora LubriSilva de la ciudad de Portoviejo. Este procedimiento fue realizado en forma repetitiva en todas las lubricadoras.

Figura 1.

Recolección de la muestra de aceite lubricante gastado 20W50



Nota. Recolección y conservación con el protocolo de la Norma ASTM D4057-95(2000)

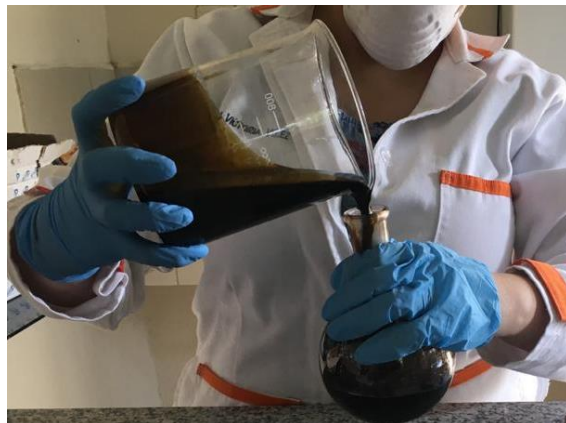
3.4. Preparación de la muestra

Se trasvasa el aceite lubricante gastado 20W50, al vaso de precipitados de 500 ml, con objeto de asegurar los volúmenes de entrada requeridos (300 y 400 mL respectivamente). Luego se los coloca en el matraz.

En la figura 2 se observa el trasvase al matraz del aceite residual.

Figura 2.

Llenado del aceite desecho al matraz (volumen inicial de 300 mL)



Nota. Usar medidas de protección en todo momento

3.5. Destilación de la muestra

Bajo las condiciones ambientales propias de Latacunga y Portoviejo se obtuvieron por tres repeticiones, los destilados, atendiendo a las temperaturas de ebullición de cada fracción, constituyendo las variables de respuesta, volumen de destilado y temperatura de ebullición.

En la figura 3 se observa la destilación simple donde se carga el balón con 300 mL primeramente y luego en otra carga, con 400 mL en el balón de destilación.

Figura 3.*Destilación simple*

Nota. Para Latacunga y Portoviejo se aplica el mismo equipo, previa limpieza.

La figura 4 muestra los destilados obtenidos, cada uno es una fracción por la diferencia de puntos de ebullición entre las fracciones.

Figura 4.*Recolección de destilados del aceite lubricante gastado 20W50*

Nota. Las muestras de destilados presentan distintos colores.

La ecuación (1) proporciona el rendimiento de cada volumen del destilado. Es la relación entre el volumen de destilado al volumen de muestra de aceite lubricante gastado. Las fracciones presentaron distintos volúmenes a distintos puntos de

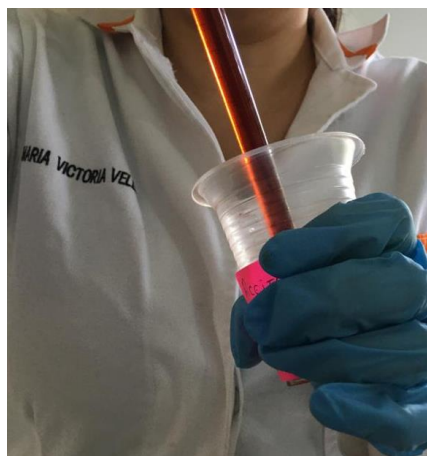
ebullición. Se evidenció cambios en la coloración de los destilados (variando de rojizo a marrón con el paso del tiempo).

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Volumen de destilado}}{\text{Volumen de aceite gastado}} * 100 \quad (1)$$

La figura 5 muestra la medición del destilado a 275 °C.

Figura 5.

Medición del volumen destilado



Nota. Se usó una pipeta para la medición del volumen destilado.

El residuo generado en la destilación simple y que se asentó en el balón de destilación fue enviado a un gestor ambiental para su tratamiento mediante sus técnicas.

La figura 6 muestra el residuo obtenido de una de las destilaciones.

Figura 6.

Recolección de residuo



Nota. El residuo tiene aspecto viscoso de color oscuro.

3.6. Almacenamiento y transporte

Las muestras de destilados se transportaron en botellas ámbar y apartados de la luz solar directa y de fuentes de calor, para evitar la contaminación. Son las muestras que se sometieron a los análisis.

3.7. Digestión de metales

Con objeto de que el equipo de absorción atómica a la llama mida una solución acuosa con los iones de los metales hierro, cobre y aluminio, se aplicó un tratamiento con ácido sulfúrico y ácido nítrico: se eliminó toda la materia orgánica. Éste tratamiento fué aplicado en el laboratorio de FIQ-UCE y referenciado bajo las normas ASTM D 5056 y ASTM D 5863.

3.7.1. Análisis químico

Para analizar Cobre se empleará el método estándar APHA 3111 B.

Para analizar Aluminio se empleará el método estándar APHA 3111 D.

Para analizar Hierro se empleará el método estándar APHA 3111 B.

3.7.2. Determinación de los metales Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Aluminio (Al)

Para cuantificar éstos metales se empleó un espectrómetro de absorción atómica a la llama, un sistema de nebulización y una fuente de atomización (quemador a base de la mezcla aire-acetileno). Éste método describe el paso de un haz monocromático cuya frecuencia puede ser absorbida por el analito en forma de vapor atómico. El porcentaje de absorción puede determinarse midiendo la intensidad luminosa antes y después de pasar a través del vaporizador atómico, donde la cantidad de absorción aumenta con el aumento de la concentración atómica en el medio de absorción, es decir, el valor de medición de absorción aumenta con la concentración del elemento en la muestra. (Sukasari, 1994, p. 3)

La figura 7 ilustra un equipo de espectrometría de absorción atómica a la llama.

Figura 7.

Equipo de espectrometría de absorción atómica a la llama



Nota. Equipo de espectrometría de absorción atómica a la llama empleado para el análisis de metales Fe, Cu y Al.

3.8. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de concentración de los metales Fe, Cu y Al en las en las fracciones de destilado, se procesaron estadísticamente en el programa software

versión libre STATGRAPHICS, proporcionando datos de media, varianza, desviación estándar y prueba t pareada, para cada variable de respuesta (los datos se muestran ordenados en las tablas 7, 8, 9, 10, 11). Para el volumen de salida del destilado, temperatura de ebullición, concentración de Fe, concentración de Cu, concentración de Al, con su respectivo análisis de varianza (ANOVA), y con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$), respectivamente. Las tablas permiten determinar los factores fuente de variabilidad de respuesta.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento del destilado de las lubricadoras de Portoviejo y Latacunga

El método físico de separación destilación simple se basa en la diferencia de temperaturas de ebullición de los componentes de una mezcla líquida homogénea, la temperatura de ebullición de cada componente líquido de la mezcla se ve influenciada por la presión atmosférica, por lo que los destilados varían en dichas variables. En los destilados existe múltiples contenidos metálicos a distintas concentraciones. Esta investigación proporciona resultados de concentración para Hierro, Cobre y Aluminio con el afán de analizar la factibilidad de considerar al destilado como material hidrocarbúrfico combustible.

Las tablas 4 y 5 muestran el volumen destilado, la temperatura de ebullición y el rendimiento del proceso de destilación para las muestras de aceite lubricante testeado.

Tabla 4.

Tabla de variables de respuesta (Volumen de destilado a su temperatura de ebullición) con el cálculo de rendimiento para muestras en Portoviejo

RENDIMIENTO PORTOVIEJO					
Numero de Ensayo	Variables Independientes		Variables de Respuesta		Rendimiento (%)
	Presión	Volumen Inicial (mL)	Volumen destilado (mL)	Temperatura de ebullición (°C)	
1	En Portoviejo 1,0 atm	300	203,1	275	67,7
2		400	326,1	275	81,53
3		300	211,0	275	73,67
4		400	266,2	275	80,13
TOTAL		1400	1006,4		75,76 (Promedio)

Tabla 5.

Tabla de variables de respuesta (Volumen de destilado a su temperatura de ebullición) con el cálculo de rendimiento para muestras en Latacunga

RENDIMIENTO LATACUNGA					
Numero de Ensayo	Variables Independientes		Variables de Respuesta		Rendimiento (%)
	Presión	Volumen Inicial (mL)	Volumen destilado (mL)	Temperatura de ebullición (°C)	
1	En Latacunga 0,71 atm	300,0	132,8	273	44,27
2		400,0	199,9	273	49,88
3		300,0	130,2	273	43,40
4		400,0	256,3	273	64,10
TOTAL		1400,0	719,2		50,41 (Promedio)

Para la ciudad de Portoviejo (Tabla 4), se obtuvo un rendimiento de 75,76 % y un volumen de destilado total de 1006,40 mL; mientras que para la ciudad de Latacunga (Tabla 5), se obtuvo un rendimiento del 50,41 % y un volumen de destilado total de 719,20 ml. Se observa que el rendimiento y volumen de destilado de Portoviejo fueron mayores en comparación a los de Latacunga. Se deduce que ésta diferencia de los resultados (tanto en el rendimiento como en el volumen destilado), se debió a la diferencia de presión atmosférica existente en cada ciudad.

Para la ciudad de Portoviejo (Tabla 4), se obtuvo una temperatura de ebullición 275 °C; mientras que para la ciudad de Latacunga (Tabla 5), se obtuvo una temperatura de ebullición de 273 °C. Se observa que la temperatura de ebullición fue mayor en Portoviejo en comparación a las temperaturas de ebullición de Latacunga.

4.2. Análisis de la concentración de los metales

Se realizó mediante espectroscopia de absorción atómica a la llama en condiciones ambientales, cuyos resultados se detallan en la tabla 6 y refieren a la concentración de Fe (hierro), Cu (cobre) y Al (aluminio), contenidas en las muestras de destilado del aceite lubricante gastado 20W50, obtenidas tanto de las lubricadoras LubriSilva y Lubricadora JB de las ciudades de Portoviejo, como de Lubricadora y Repuestos Porras y Lubricadora Albán, de la ciudad de Latacunga.

Tabla 6.

Análisis de la concentración de los metales Fe, Cu y Al

Numero de Ensayo	Variables Independientes		Variables de Respuesta		
	Presión Atmosférica (Atm)	Volumen de entrada (mL)	Concentración de los Metales (mg/kg)		
			Hierro (Fe)	Cobre (Cu)	Aluminio (Al)
1	1 (Portoviejo)	300	19,804	2,366	8,587
		400	19,810	2,401	8,643
2		300	19,789	2,251	8,478
		400	19,801	2,328	8,567
3	0,7132 (Latacunga)	300	0,690	0,000	3,060
		400	0,073	0,010	3,102
4		300	0,070	0,000	3,080
		400	0,075	0,020	3,100

Cuantitativamente, en las muestras de destilado de la ciudad de Portoviejo, se encontró mayor presencia de Fe que en las muestras de la ciudad de Latacunga cuyo valor es cercano a $0,0 \text{ mg/Kg}^{-1}$, mientras que en las muestras de la ciudad de Portoviejo es aproximadamente 20 veces mayor.

Para el cobre las muestras de destilado de la ciudad de Portoviejo se encontró mayor presencia de cobre que en las muestras de la ciudad de Latacunga. Se destaca que la presencia de cobre en las muestras receptadas en la ciudad de Latacunga se mueve en un rango bastante cercano al 0, pudiéndose decir que es prácticamente inexistente.

Cuantitativamente, en las muestras de la ciudad de Portoviejo, se encontró mayor presencia de aluminio que en las muestras de la ciudad de Latacunga. Se destaca que la presencia de aluminio en las muestras receptadas en la ciudad de Latacunga se mueve en un rango por debajo de la mitad del rango de las muestras de la ciudad de Portoviejo.

4.3. Análisis ANOVA

Los resultados ANOVA (analizan la influencia significativa de los factores de control sobre las variables de respuesta), se efectuaron a través del software versión libre STATGRAPHICS, empleando los resultados experimentales obtenidos.

La tabla ANOVA del volumen de salida (Tabla 7) prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental.

Tabla 7.

Tabla ANOVA del volumen de salida

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
Presión Atmosférica	10310,50	1	10310,5	89,05	0,0573
Volumen de Entrada	17242,20	1			
Error	3418,66	5			
Total	30999.90	7			

En éste caso, se tiene 1 efecto con un valor -P mayor que 0.05, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel de confianza del 95 %. Además, se obtuvo el valor del estadístico R-Cuadrada indicando un buen ajuste del modelo, con un 88,972 % de la variabilidad en el volumen de salida, valor que indica que es un diseño experimental confiable con un error estándar de 33,7573 %, donde la diferencia de la respuesta observada y la respuesta predicha no es tan distinta, así mismo la desviación estándar fué de 66,5474.

4.3.1. Modelo estadístico

La ecuación de regresión del modelo que se ajustó correctamente al diseño factorial 2x2 con 1 repetición, viene dada por:

$$Vol\ Salida = -402,126 + 341,876 * A + 1,15251 * B - 0,261506 * A * B \quad (2)$$

Donde:

A: Presión (Atm)

B: Volumen de entrada (ml)

La ecuación (2) permite predecir el volumen de salida en una relación con la presión y volumen de entrada diferentes a los establecidos en la experimentación.

4.3.2. Diagrama de Pareto estandarizada

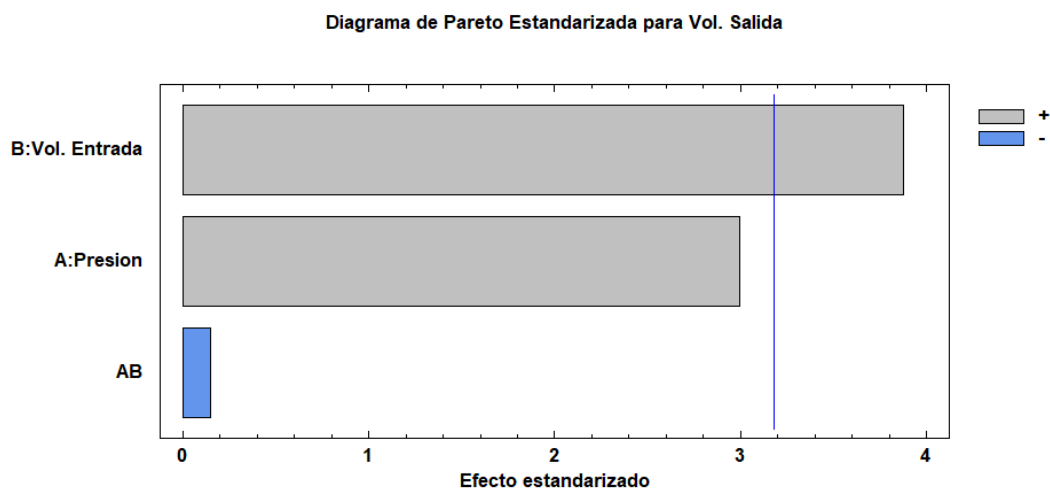
El Análisis de Pareto es un procedimiento estadístico que busca descubrir desde un análisis de reportes de efectos, cuáles son los que más influyen en una variable de respuesta, en orden decreciente de importancia.

En la Figura 8 se observa 1 factor de control relativamente significativo, como lo es el volumen de entrada, es decir, que influye de manera directa con un valor P= 0.0304 sobre la variable de respuesta que en este caso es el volumen de salida del destilado. La línea vertical que permite detectar la correlación significativa de cada

efecto está basada en el estadístico de Durbin-Watson determinado en el análisis de varianza con un valor igual a 0,2811.

Figura 8.

Diagrama de Pareto estandarizada para el volumen de salida



Nota. El volumen de entrada es el efecto más relevante porque influye en la variable de respuesta con un valor menor a 0,05.

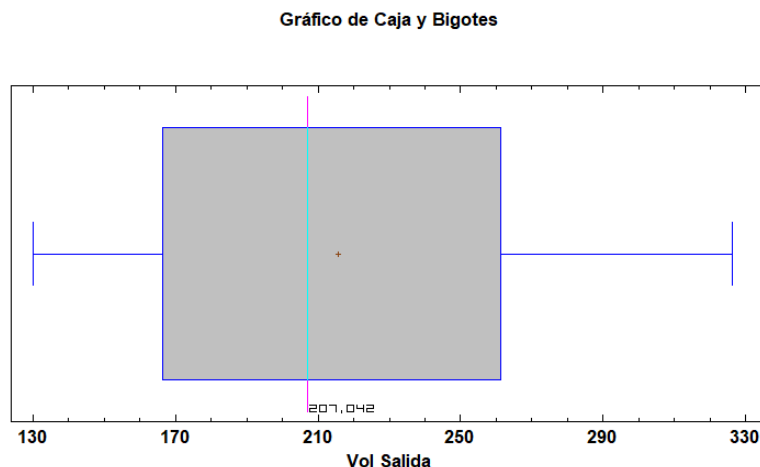
4.3.3. Gráfica de caja y bigote

En la figura 9 se presenta la gráfica de caja y bigote donde se muestra varias características para el volumen de salida, donde la parte rectangular del diagrama se extiende desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior, cubriendo la mitad de la muestra. La línea del centro de la caja indica la mediana de la muestra con un valor de 207,042, el signo más (+) indica la media muestral siendo 215,7.

Los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores mínimo y máximo en la muestra, excepto por cualquier punto alejado, los cuales serán graficados por separado.

Figura 9.

Gráfico de caja y bigotes



Nota. En ésta gráfica se observa que no hay puntos alejados.

La tabla ANOVA de la temperatura de ebullición (Tabla 8) prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental.

Tabla 8.

Tabla ANOVA de la temperatura de ebullición

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
Presión Atmosférica	648,153	1	648,153	528,51	0,0002
Volumen de Entrada	2,44091	1	2,44091		
Error	3,67912	5			
Total	656,000	7			

En éste caso, se tiene 1 efecto con un valor P menor que 0,05; siendo $P=0,0002$ indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre un nivel de

tratamiento y otro, con un nivel de confianza del 95 %. Además, se obtuvo el valor del estadístico R-Cuadrada indicando un buen ajuste del modelo, con un 99,4392 % de la variabilidad en la temperatura de ebullición, valor que indica que es un diseño experimental confiable con un error estándar de 1,10742 %, donde la diferencia de la respuesta observada y la respuesta predicha es casi igual, así mismo la desviación estándar fue de 9,68061.

4.3.4. Modelo estadístico

La ecuación de regresión del modelo que se ajustó correctamente al diseño factorial 2x2 con 1 repetición, viene dada por:

$$Temp.Ebullición = 193,83 + 86,1733 * A + 0,0668973 * B - 0,0669004 * A * B \quad (3)$$

Donde:

A: Presión (Atm)

B: Volumen de entrada (ml)

La ecuación (3) permite predecir la temperatura de ebullición en una relación con presión y volumen de entrada diferentes a los establecidos en la experimentación.

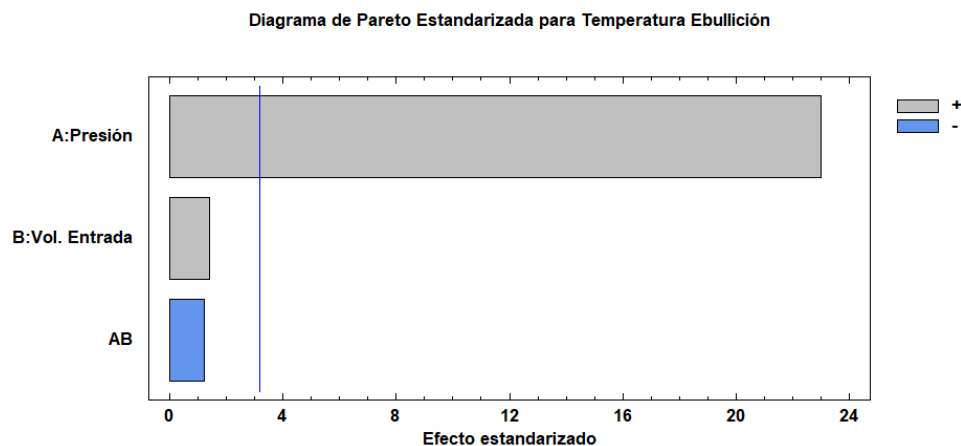
4.3.5. Diagrama de Pareto estandarizada

El Análisis de Pareto es un procedimiento estadístico que busca descubrir desde un análisis de reportes de efectos, cuáles son los que más influyen en una variable de respuesta, en orden decreciente de importancia.

En la Figura 10 se observa 1 factor de control relativamente significativo, como lo es la presión, es decir, que influye de manera directa sobre la variable de respuesta que en este caso es la temperatura de ebullición. La línea vertical que permite detectar la correlación significativa de cada efecto está basada en el estadístico de Durbin-Watson determinado en el análisis de varianza con un valor igual a 1.

Figura 10.

Diagrama de Pareto estandarizada para temperatura de ebullición



Nota. La presión es el efecto más relevante porque influye en la variable de respuesta con un valor menor a 0,05.

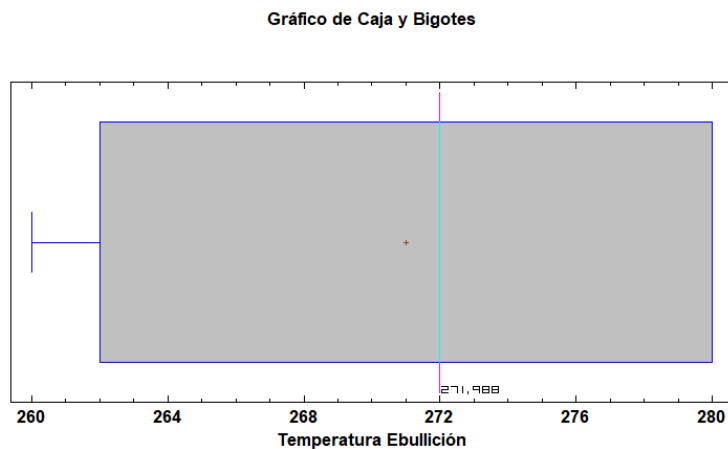
4.3.6. Gráfica de Caja y Bigote

En la figura 11 se muestra la gráfica de caja y bigote donde muestra varias características para la temperatura de ebullición, donde la parte rectangular del diagrama se extiende desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior, cubriendo la mitad de la muestra. La línea del centro de la caja indica la mediana de la muestra con un valor de 271,988, el signo más (+) indica la media muestral siendo 271,032.

Los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores mínimo y máximo en la muestra, excepto por cualquier punto alejado, los cuales serán graficados por separado.

Figura 11.

Gráfico de caja y bigotes



Nota. En ésta gráfica se observa que no hay puntos alejados.

La tabla ANOVA de la concentración de hierro (Tabla 9) prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental.

Tabla 9.

Tabla ANOVA de hierro (Fe)

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
Presión Atmosférica	77,475	1	778,475	287836,99	0,0000
Volumen de Entrada	0,00553069	1	0,00553069		
Error	0,00811371	5			
Total	778,487	7			

En este caso, se tiene 1 efecto con un valor P menor que 0,05, siendo P=0,000 indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel de confianza del 95 %. Además, se obtuvo el valor del

estadístico R-Cuadrada indicando un buen ajuste del modelo, con un 99,999 % de la variabilidad en la concentración de hierro, valor que indica que es un diseño experimental confiable con un error estándar de 0,0520055 %, donde la diferencia de la respuesta observada y la respuesta predicha es casi igual, así mismo la desviación estándar fue 10,5457.

4.3.7. Modelo estadístico

La ecuación de regresión del modelo que se ajustó correctamente al diseño factorial 2x2 con 1 repetición, viene dada por:

$$\text{Conc. Fe} = -47,8632 + 67,6326 * A - 0,00318436 * B + 0,00327443 * A * B \quad (4)$$

Donde:

A: Presión (Atm)

B: Volumen de entrada (ml)

La ecuación (4) permite predecir la concentración de Fe en una relación con la presión y volumen de entrada diferentes a los establecidos en la experimentación.

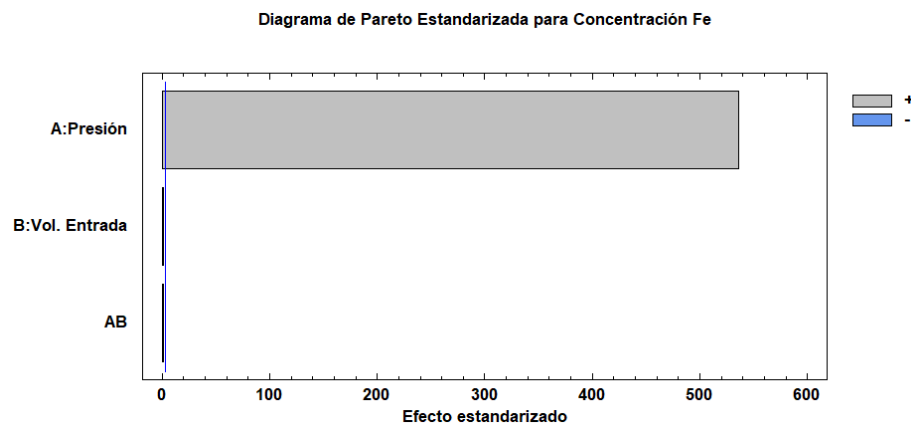
4.3.8. Diagrama de Pareto estandarizada

El Análisis de Pareto es un procedimiento estadístico que busca descubrir desde un análisis de reportes de efectos, cuáles son los que más influyen en una variable de respuesta, en orden decreciente de importancia.

En la Figura 12 se observa 1 factor de control relativamente significativo, como lo es la presión, es decir, que influye de manera directa sobre la variable de respuesta que en este caso es la concentración de Fe. La línea vertical que permite detectar la correlación significativa de cada efecto está basada en el estadístico de Durbin-Watson determinado en el análisis de varianza con un valor igual a 1,62768.

Figura 12.

Diagrama de Pareto estandarizada para la concentración de Fe

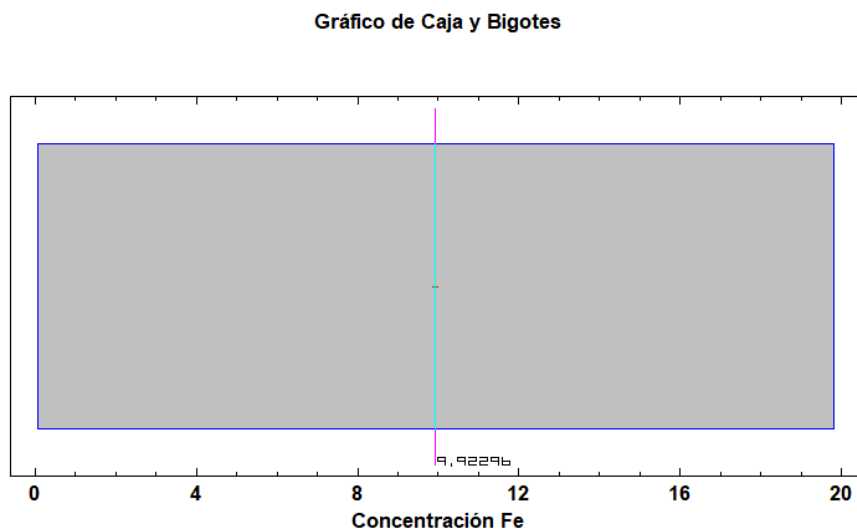


Nota. La presión es el efecto más relevante porque influye en la variable de respuesta con un valor menor a 0,05.

4.3.9. Gráfica de caja y bloque

En la figura 13 se muestra la gráfica de caja y bigote donde muestra varias características para la concentración de Fe, donde la parte rectangular del diagrama se extiende desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior, cubriendo la mitad de la muestra. La línea del centro de la caja indica la mediana de la muestra con un valor de 9,92296, el signo más (+) indica la media muestral siendo 9,93638.

Los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores mínimo y máximo en la muestra, excepto por cualquier punto alejado, los cuales serán graficados por separado.

Figura 13.*Gráfica de caja y bigotes*

Nota. En ésta gráfica se observa que no hay puntos alejados.

La tabla ANOVA de la concentración de cobre (Tabla 10) prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental.

Tabla 10.*Tabla ANOVA de cobre (Cu)*

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
Presión Atmosférica	10,8487	1	10,8487	5901,83	0,0000
Volumen de Entrada	0,000826236	1	0,000826236		
Error	0,00551459	5			
Total	10,8612	7			

En este caso, se tiene 1 efecto con un valor P menor que 0,05, siendo P=0,000 indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre un nivel de

tratamiento y otro, con un nivel de confianza del 95 %. Además, se obtuvo el valor del estadístico R-Cuadrada indicando un buen ajuste del modelo, con un 99,9492 % de la variabilidad en la concentración de cobre, valor que indica que es un diseño experimental confiable con un error estándar de 0,0428742 %, donde la diferencia de la respuesta observada y la respuesta predicha es casi igual, así mismo la desviación estándar fue 1,24563.

4.3.10. Modelo estadístico

La ecuación de regresión del modelo que se ajustó correctamente al diseño factorial 2x2 con 1 repetición, viene dada por:

$$\text{Conc. Cu} = -5,35207 + 7,49294 * A - 0,00123079 * B + 0,0017897 * A * B \quad (5)$$

Donde:

A: Presión (Atm)

B: Volumen de entrada (ml)

La ecuación (5) permite predecir la concentración de Cu en una relación con la presión y volumen de entrada diferentes a los establecidos en la experimentación.

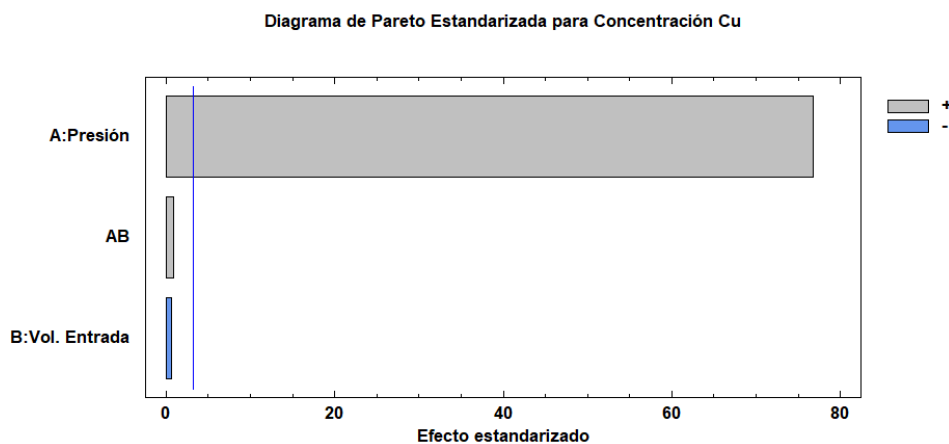
4.3.11. Diagrama de Pareto estandarizada

El Análisis de Pareto es un procedimiento estadístico que busca descubrir desde un análisis de reportes de efectos, cuáles son los que más influyen en una variable de respuesta, en orden decreciente de importancia.

En la Figura 14 se observa 1 factor de control relativamente significativo, como lo es la presión, es decir, que influye de manera directa sobre la variable de respuesta que en este caso es la concentración de Cu. La línea vertical que permite detectar la correlación significativa de cada efecto está basada en el estadístico de Durbin-Watson determinado en el análisis de varianza con un valor igual a 0,594793.

Figura 14.

Diagrama de Pareto estandarizada para la concentración de Cu



Nota. La presión es el efecto más relevante porque influye en la variable de respuesta con un valor menor a 0,05.

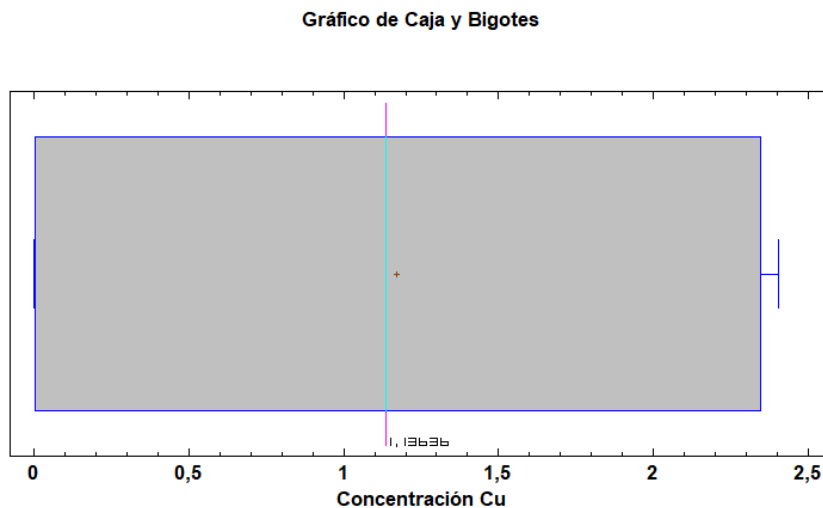
4.3.12. Gráfica de caja y bloque

En la figura 15 se muestra la gráfica de caja y bigote donde muestra varias características para la concentración de Cu, donde la parte rectangular del diagrama se extiende desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior, cubriendo la mitad de la muestra. La línea del centro de la caja indica la mediana de la muestra con un valor de 1,3636, el signo más (+) indica la media muestral siendo 1,172.

Los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores mínimo y máximo en la muestra, excepto por cualquier punto alejado, los cuales serán graficados por separado, en éste caso, no hay puntos alejados.

Figura 15.

Gráfica de caja y bigotes



Nota. En ésta gráfica se observa que no hay puntos alejados.

La tabla ANOVA de la concentración de aluminio (Tabla 11) prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental.

Tabla 11.

Tabla ANOVA del aluminio (Al)

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
Presión Atmosférica	60,1329000	1	60,1329000	33175,86000	0,0000
Volumen de Entrada	0,00136411	1	0,00136411		
Error	0,00543765	5			
Total	60,1473000	7			

En éste caso, se tiene 1 efecto con un valor P menor que 0,05, siendo $P=0,000$ indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre un nivel de

tratamiento y otro, con un nivel de confianza del 95 %. Además, se obtuvo el valor del estadístico R-Cuadrada indicando un buen ajuste del modelo, con un 99,991 % de la variabilidad en la concentración de aluminio, valor que indica que es un diseño experimental confiable con un error estándar de 0,042574 %, donde la diferencia de la respuesta observada y la respuesta predicha es casi igual, así mismo la desviación estándar fue de 2,93129.

4.3.13. Modelo estadístico

La ecuación de regresión del modelo que se ajustó correctamente al diseño factorial 2x2 con 1 repetición, viene dada por:

$$\text{Conc. Al} = -9,99332 + 18,3087 * A - 0,00158146 * B + 0,00230535 * A * B \quad (6)$$

Donde:

A: Presión (Atm)

B: Volumen de entrada (ml)

La ecuación (6) permite predecir la concentración de Al en una relación con la presión y volumen de entrada diferentes a los establecidos en la experimentación.

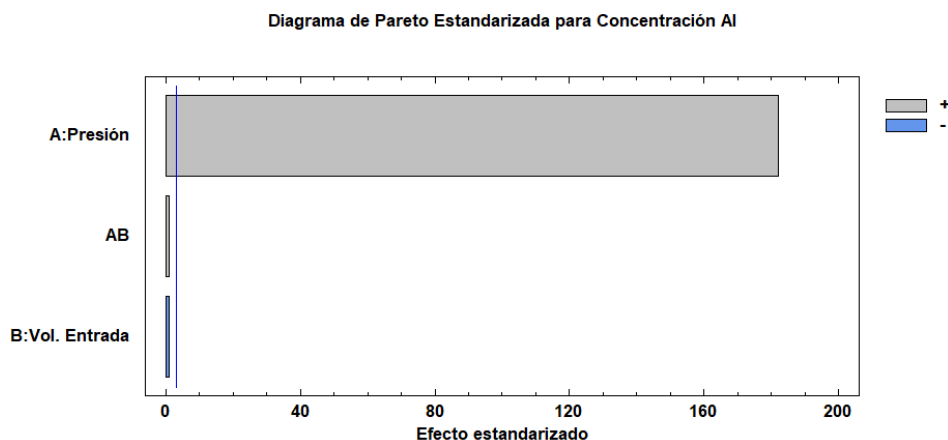
4.3.14. Diagrama de Pareto estandarizada

El Análisis de Pareto es un procedimiento estadístico que busca descubrir desde un análisis de reportes de efectos, cuáles son los que más influyen en una variable de respuesta, en orden decreciente de importancia.

En la Figura 16 se observa 1 factor de control relativamente significativo, como lo es la presión, es decir, que influye de manera directa sobre la variable de respuesta que en este caso es la concentración de Al. La línea vertical que permite detectar la correlación significativa de cada efecto está basada en el estadístico de Durbin-Watson determinado en el análisis de varianza con un valor igual a 2,90707.

Figura 16.

Diagrama de Pareto estandarizada para la Concentración de AI



Nota. La presión es el efecto más relevante porque influye en la variable de respuesta con un valor menor a 0,05.

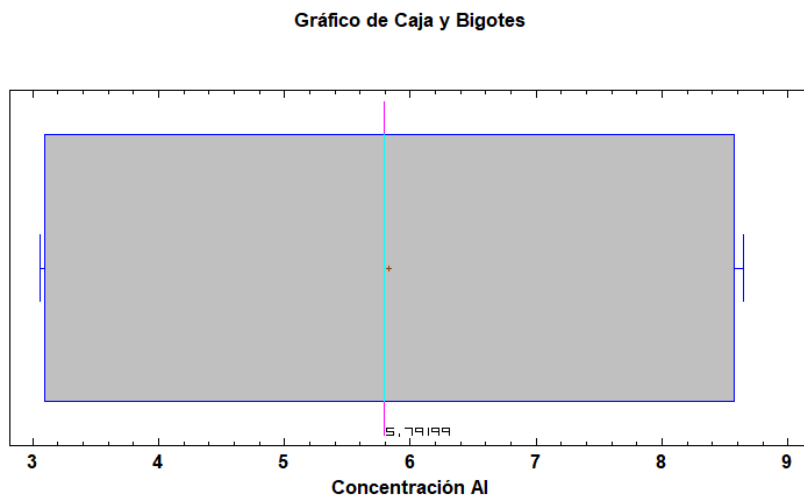
4.3.15. Gráfica de caja y bloque

En la figura 17 se muestra la gráfica de caja y bigote donde muestra varias características para la concentración de AI, donde la parte rectangular del diagrama se extiende desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior, cubriendo la mitad de la muestra. La línea del centro de la caja indica la mediana de la muestra con un valor de 5,79199, el signo más (+) indica la media muestral siendo 5,82713.

Los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores mínimo y máximo en la muestra, excepto por cualquier punto alejado, los cuales serán graficados por separado, en éste caso, no hay puntos alejados.

Figura 17.

Gráfico de caja y bigotes



Nota. En ésta gráfica se observa que no hay puntos alejados.

CAPÍTULO V

5. DISEÑO DE LA PROPUESTA AMBIENTAL SUSTENTABLE DE ACEITES GASTADOS, GENERADOS DENTRO DE LAS LUBRICADORAS

5.1. Introducción

Hoy en día la gestión de residuos peligrosos impone su importancia relevante en Ecuador y en el mundo entero. La evolución de la sociedad humana trae aparejada consecuencias indeseables e inevitables (aumento del volumen de residuos peligrosos debido -entre otros- al incorrecto gerenciamiento del desecho de los lubricantes usados, p.e.). La producción, uso y desecho de estos fluidos, guarda estrecho paralelismo con el exponencial y descontrolado aumento de la maquinización en plena era industrial. Las tareas de mantenimiento a las que forzosamente deben ser sometidos los automotores, generan residuos de los aceites lubricantes aplicados, verdaderas amenazas al equilibrio de los delicados ecosistemas sostenedores de la vida sobre el planeta Tierra, modificando los elementos vitales del entorno.

Éste nefasto derrotero exige una pronta solución que elimine, neutralice o mínimamente reduzca paulatinamente la contaminación, por ejemplo a través de estrategias y metodologías que traten eficazmente tales residuos peligrosos. Así lo enfoca la normativa legal nacional vigente.

Las características naturales de éste tipo de substancias, aunadas a la aplicación de nuevos enfoques científicos, podrían facilitar su transformación en elementos benéficos capaces de ser reintroducidos en las cadenas productivas, impactando positivamente sobre el deterioro ambiental.

El desarrollo de una propuesta ambiental basada en la gestión eficiente de dichos residuos, proporcionará parámetros reales para el manejo adecuado de éstos contaminantes, en sus distintas etapas de almacenamiento, transporte y disposición final.

5.2. Marco jurídico

Con la finalidad de preservar el medio ambiente y a su vez, garantizar los recursos necesarios para el sostenimiento de la vida y el desarrollo integral de las personas, la Republica del Ecuador establece en acuerdos ministeriales, reglamentos y normativas, el manejo y almacenamiento de aceites usados. A continuación, se presenta una recopilación de tales regulaciones.

5.2.1. Constitución de la Republica del Ecuador

Atendiendo la Constitución de la República del Ecuador (2008), se consideran relevantes los siguientes artículos para el desarrollo de la propuesta ambiental:

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir.

Art.15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.

Art.264.- Los gobiernos municipales tienen competencias exclusivas de ejercer control sobre el uso y ocupación del suelo y sus ordenanzas.

Art.395.- El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas.

Art.397.- El Estado establece mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales. Con objeto de garantizar la conservación

de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas, el estado tomará medidas de restauración frente a los fenómenos naturales o antropogénicos, regulando la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente, buscando garantizar en su conjunto, el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

Art.409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil, estableciéndose un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

Art.411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico, priorizando la sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano en el uso y aprovechamiento del agua, regulando toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas.

Art.413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto, que no arriesguen la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua. (pp.13-123).

5.2.2. Convenio de Basilea

Acuerdo Multilateral establecido en 170 países de las Naciones Unidas por el cual procuran salvaguardar la salud y bienestar de los seres humanos, evitando perjuicios al medio ambiente en la generación, manejo, transporte y eliminación de desechos peligrosos.

5.2.3. Ley de gestión ambiental

Una de las leyes más importantes que propugna la protección de los ecosistemas del país, mediante el control, sanción y prevención de toda actividad con efecto contaminante. Emite las directrices sobre política ambiental, estableciendo los niveles de intervención en la gestión ambiental de los sectores públicos y privados (Ministerio del Ambiente, 2004).

5.2.4. Acuerdo ministerial n° 026: registro de generadores de desechos peligrosos, gestión y transporte

Establece que todo ente generador de residuos tóxicos debe poseer un registro de generador de desechos peligrosos a través del Sistema Único de Información Ambiental (SUIA). Además, estipula que cualquier extranjero o nativo que brinde servicios de transporte y procesamiento para todas las etapas de gestión, obligatoriamente debe cumplir con los procedimientos preliminares de gestión de permisos ambientales (Ministerio del Ambiente, 2008).

5.2.5. Acuerdo ministerial 061: reforma del Libro 6 del TULSMA

Señala procedimientos y regula las responsabilidades y actividades en el campo de calidad ambiental.

- **Gestión integral de residuos, desechos peligrosos y/o especiales**

Regula todas las etapas y mecanismos para prevenir y controlar la contaminación ambiental en territorio nacional, aplicando normativas técnicas previstas en la legislación ambiental. De obligada observancia para toda organización y empresa a nivel nacional. Éste sistema comprende las siguientes fases:

- a. Generación.
- b. Almacenamiento.
- c. Recolección.

- d. Transporte.
- e. Aprovechamiento y/o valorización, y/o tratamiento (incluyendo el reuso y reciclaje).
- f. Disposición final (Ministerio del Ambiente, 2015, pp.15-16).

- **Gestión de sustancias químicas peligrosas**

Procedimientos y normas técnicas previstos en la Ley de Gestión Ambiental y de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental vigentes en territorio nacional, o las que las reemplacen en sus respectivos reglamentos y en los convenios internacionales relacionados con ésta materia, suscritos y ratificados por el Estado.

Dicha fase de gestión consiste en:

- a) Abastecimiento (abarca su creación, fabricación e importación).
- b) Almacenamiento.
- c) Transporte.
- d) Uso o exportación.

Toda persona dedicada a la fase de gestión está obligada a:

- a) Desarrollar un plan de minimización.
- b) En caso de producirse un accidente durante el manejo de las sustancias, debe reportarse dentro de las primeras 24 horas a las autoridades ambientales pertinentes.
- c) Asegurarse que el personal esté capacitado y use ropa protectora para precautelar su integridad física.
- d) Obtener el registro de sustancias químicas peligrosas.
- e) Declarar anualmente la gestión de sustancias químicas peligrosas.
- f) Regularizar las actividades (Ministerio del Ambiente, 2015, pp. 36-41).

5.2.6. Acuerdo ministerial n° 109: establece la normativa sobre regularización ambiental

El Art. 3 señala que cualquier persona -jurídica o natural- cuyo proyecto, actividad o trabajo implique varias etapas de prestación de servicio (desde el manejo de sustancias químicas, desechos peligrosos y/o especiales), debe regular sus actividades a través de un permiso emitido por la Autoridad Ambiental Nacional (AAN), pudiendo ser éste de 3 tipos:

- Certificado Ambiental: para obras, proyectos o actividades con impacto ambiental no significativo.
- Licencia Ambiental: para obras, proyectos o actividades con medio o alto impacto ambiental.
- Registro Ambiental: para obras, proyectos o actividades con bajo impacto ambiental.

5.2.7. Acuerdo ministerial n° 142: listado nacional de sustancias peligrosas

Emite una lista nacional de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales, clasificados en:

- Anexo A: "Listado de sustancias químicas peligrosas"
- Anexo B: "Listado de desechos peligrosos"
- Anexo C: "Listado de desechos especiales"

5.2.8. TULSMA

Regulación que previene tanto la destrucción de recursos naturales vitales del ecosistema (agua, aire y suelo), como salvaguardar la vida y bienestar humanos.

- **Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: recurso agua (TULSMA, anexo 1 del libro 4)**

Determina los parámetros para prever y controlar la contaminación ambiental del agua, estableciendo lo siguiente:

- Límites permisibles, prohibiciones y regulaciones para la descarga en el sistema de alcantarillado.
- Normas de calidad del agua para diferentes propósitos.
- Prohibición de depositar desechos peligrosos no tratados en la red de alcantarillado (aceites de motor usado, lubricantes, grasas y otros, generados en talleres de mecánica, vulcanizadoras y lubricadoras).
- Prohibición de descarga de líquidos productos del lavado de vehículos y/o mantenimiento de maquinaria (terrestre o aérea), así como todo recipiente, envase y empaque que hayan contenido o contengan sustancias químicas o agroquímicos.
- **Norma de calidad ambiental del recurso Suelo-Aire y criterios de remediación (TULSMA, anexo 2, anexo 4 del libro VI)**

Normativa técnica ambiental contemplada por la Ley de Gestión Ambiental, teniendo como propósito garantizar la protección a la salud y bienestar humanos, reglando la calidad ambiental para el suelo y el aire (TULSMA, 2015).

5.2.9. NTE INEN 2288

Aplicable en la elaboración de etiquetado de advertencia en productos químicos peligrosos. Sugiere lenguaje de advertencia. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2000)

5.2.10. NTE INEN 2266

Establece los requisitos a cumplirse para el transporte, almacenamiento y manipulación de materiales peligrosos. Las empresas dedicadas a éstas actividades deben tener instrucciones y procedimientos operativos claros y eficaces, que garanticen su seguridad laboral. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2000)

5.2.11. Norma ISO 14001-2015

Normativa internacional que gestiona e identifica los riesgos ambientales potencialmente validables cuando la empresa ejecuta sus actividades (NORMA ISO 14001, 2015)

5.3. Objetivos

5.3.1. Objetivo general

Plantear una estrategia ambiental sostenida por una planta recicladora que transforme el aceite gastado en un hidrocarburo combustible.

5.3.2. Objetivos específicos

- Aplicar métodos de gestión y organización que regulen eficientemente el uso de los residuos oleosos.
- Plantear la posible metodología a seguir para concretar la disposición final de los aceites residuales.

5.4. Alcance

Dentro de la propuesta ambiental del presente trabajo investigativo, son incluidas estrategias y procedimientos acertados que evitan el inadecuado manejo de los aceites gastados y/o mitigan sus efectos contaminadores sobre el ecosistema, actuando desde los mismos generadores de éstos óleos residuales contaminantes (fase de recolección), reorientándolos hacia la correcta gestión de aquellos.

La importante magnitud de ésta aciaga tendencia, evidencia la necesidad de llevar a término las regulaciones y normativas medioambientales contempladas en la legislación vigente, mismas que serán observadas por las partes involucradas (y mejor aún por toda la población), dentro de su adecuado gestionamiento.

Al manejar inadecuadamente éstos aceites lubricantes usados, se valida la letal amenaza contra la vida y bienestar de las personas y el equilibrio del ecosistema, sostén de la vida.

5.5. Condiciones para el correcto almacenamiento y recolección de aceites automotrices gastados en las lubricadoras

5.5.1. Área de lubricación

El piso deberá ser impermeable, libre de grietas u otros defectos que impidan o dificulten la limpieza de aceites, grasas o cualquier sustancia deslizante. Para evitar la contaminación del suelo y de aguas subterráneas por filtración de este tipo de residuo, su estructura deberá contar con buena ventilación natural o forzada, asimismo con áreas de almacenamiento y recolección que permitan la movilización de las personas.

La figura 18 muestra uno de los lugares donde se recolectó aceite gastado lubricante automotriz 20w50.

Figura 18.

Negocio de cambio de aceite



Nota. Fotografía de la lubricadora Albán de la ciudad de Latacunga.

5.5.2. Sistema de drenaje de aceite

Conducirá de manera segura la recolección principal del aceite lubricante gastado desde el motor de los automóviles, hasta el colector de almacenamiento temporal (tanque), evitando -en la medida posible- la pérdida de energía debido a fugas y derrames en el área de trabajo.

El embudo deberá garantizar que el aceite lubricante gastado se transfiera sin provocar derrames. El contenedor de recolección será de un material resistente a la acción de los hidrocarburos, contará con una agarradera y un mecanismo para garantizar su manejo seguro al momento de transferir el aceite residual al tanque de almacenamiento, a través de una manguera o bomba de gravedad para que no se pierda aceite debido a derrames, goteos o fugas durante las operaciones.

La figura 19 muestra un sistema de drenaje que consiste en un tanque con embudo donde se recoge el aceite lubricante gastado de los carros.

Figura 19.

Sistema de drenaje



Nota. Existen otros tipos de sistemas de drenaje (ya en deterioro).

5.5.3. Material oleofílico

Se dispondrá de material oleofílico (absorbe aceites rápidamente), absorbente o adhesivo que permita controlar goteo, fugas o desbordamiento.

La figura 20 muestra aserrín usado como material oleofílico para controlar un derrame de aceite lubricante gastado en la Lubricadora LubriSilva de Portoviejo.

Figura 20.

Material oleofílico



Nota. En otras lubricadoras se observó que utilizaban tierra como material oleofílico.

5.5.4. Área de aceites usados

Estará estructurada con un dique de contención para limitar los derrames, goteos o fugas que puedan ocurrir al recibir o entregar aceite lubricante gastado. El piso será de material impermeable o concreto, y tendrá una cubierta para evitar que el agua de lluvia ingrese a los tanques de almacenamiento, tomando en cuenta que no debe interferir con la recolección de dicho aceite lubricante gastado por parte del movilizador (debe estar libre de cualquier obstáculo).

En la figura 21 se observa un patio ocupado como área de almacenamiento para los tanques de desecho en la ciudad de Portoviejo.

Figura 21.*Área de almacenamiento*

Nota. La imagen atestigua que no existe una distribución adecuada para el área de almacenamiento en la ciudad de Portoviejo.

5.5.5. Tanques de almacenamiento

Se diseñarán herméticos y resistentes a perforación o cortes, permitiendo que el lubricante gastado pueda transferirse con facilidad y evitando derrames, fugas o goteos del aceite residual. Se debe ubicar señalética como medidas de seguridad en el lugar.

En la figura 22 se muestra un tanque de almacenamiento de aceite residual sin su respectiva señalética.

Figura 22.

Tanque de almacenamiento



Nota. El tanque utilizado no cuenta con las características establecidas para el almacenamiento del aceite residual.

5.6. Etiquetado

En cada deposito deberá constar una etiqueta legible elaborada de un material resistente a la manipulación con palabras RESIDUOS: ACEITE USADO. El líquido residual gastado está clasificado como producto químico peligroso, por lo que su etiquetado corresponde a un rombo cuadrangular de no menos de 100mm x 100mm, dividido en 4 áreas, donde cada zona corresponde a un color que indica el tipo de riesgo existente, y un número que cuantifica el nivel de riesgo del producto (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2000, pp.10-11).

La figura 23 es un rombo de materiales peligrosos usado como señalización.

Figura 23.

Instructivo para el significado de las señaléticas



Nota. Recuperado de: (Asociación nacional de protección contra el fuego NFPA-704, 2012)

5.7. Transporte

El transporte de éste tipo de residuos debe cumplir con la normatividad legal vigente sin comprometer la naturaleza de los reglamentos, y las actividades de carga, transporte o descarga deben cumplir con las condiciones y elementos necesarios para su funcionamiento (Ecoil Fluidos, 2006).

Los tanqueros que por lo general tienen una capacidad mínima de 208 litros, deben estar representados por el color naranja y poseer un identificativo que les permita diferenciarse y a la vez no poseer alteraciones en su estructura, tapas herméticas, una manguera flexible y resistente a las condiciones de transporte de aceite.

La figura 24 muestra un tanquero operando y que cada 15 días recolecta aceite lubricante gastado en una lubricadora de Portoviejo.

Figura 24.

Tanquero recolector de aceite usado



Nota. El aceite lubricante gastado muchas veces es vendido por los gestores a los recolectores.

5.8. Área de almacenaje y disposición final

Dedicada al almacenamiento del aceite. Al entregar el aceite se corroborará el volumen del tanque y se constatará su condición estable para evitar fugas o derrames. Se dispondrá de un plan de contingencia donde estarán establecidos los mecanismos de respuesta ante situaciones de emergencia.

Las plantas de tratamiento de aceites residuales deberán contar con:

- Un estudio de impacto ambiental aprobado por el MAE.
- Cumplir con las normas de calidad, ordenanzas y reglamentos.
- Ubicarse en las afueras de la ciudad.
- Tener una franja de amortiguamiento alrededor de la planta.
- Contar con la licencia correspondiente.
- Informar la cantidad de desechos tratados y su destino final a las autoridades pertinentes (p.e. el Ministerio del Ambiente y Agua (MAE)).

5.9. Opción de tratamiento

5.9.1. Planta de producción de hidrocarburo combustible

Estará estructurada en 5 áreas bien definidas y delimitadas:

- Área de craqueo térmico.
- Área de destilado.
- Área de rectificación.
- Área de filtración.

El proceso iniciará una vez ingresado el aceite a la planta: por tuberías será bombeado al reactor donde ocurrirá el rompimiento molecular debido al incremento de la temperatura (llegará a 355 °C). Después, el producto craqueado será bombeado al destilador atmosférico en donde se obtendrán tres fracciones:

- Hidrocarburos livianos: que salen a una temperatura menor a 160°C;
- Productos medios: con puntos de ebullición entre 160°C hasta 360 °C (es la fracción que formará el hidrocarburo combustible);
- Fracciones pesadas: obtenidas a temperatura mayor a 360°C.

Éstos últimos serán realimentados al reactor de craqueo para ser nuevamente procesados; mientras que los hidrocarburos livianos, o serán enfriados y se almacenarán en contenedores, o serán recirculados a la columna de destilación.

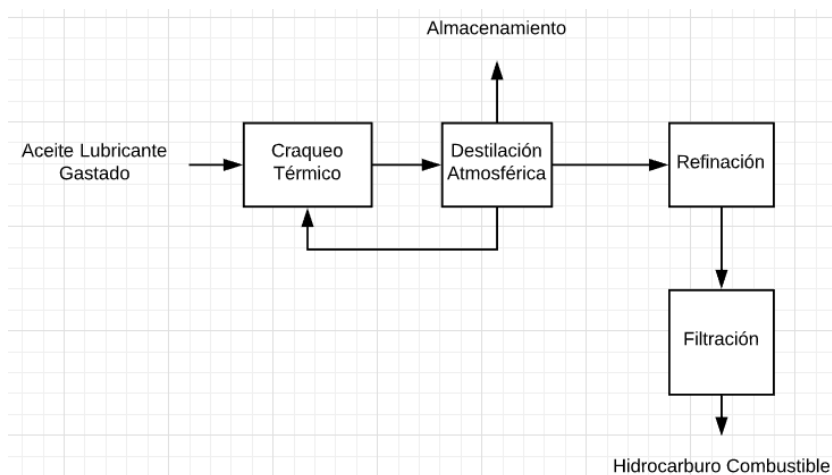
Los hidrocarburos medios serán enviados al área tres, donde por rectificación se eliminarán los compuestos livianos presentes en el destilado (gases, naftas y gasolinas con punto de ebullición desde 40 °C hasta 160 °C), obteniendo sólo los hidrocarburos medios.

Dicho hidrocarburo combustible se enviará a la zona de filtración (se eliminarán olefinas reactivas, compuestos sulfurados y agua presente en dicho combustible), obteniéndose el hidrocarburo combustible con características similares al diésel.

La figura 25 muestra un diagrama de bloques de cómo será el proceso para obtener un hidrocarburo combustible a mayor escala.

Figura 25.

Diagrama de bloque del proceso de conversión de aceite lubricante gastado



Nota. El diagrama muestra las fases del proceso para obtener el hidrocarburo combustible.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La norma ASTM D4057 fué seguida para la recolección del aceite lubricante gastado 20W50, directamente desde el mismo inicio del proceso. La norma INEN 1489 fué observada en cuanto a la toma de temperatura en el proceso de destilación de la muestra de aceite lubricante gastado 20W50. Las normas ASTM D 5056 y ASTM D 5863 fueron contempladas para determinar la presencia de los metales en el análisis de espectroscopia de absorción atómica a la llama.
- La Ley de Gestión Ambiental, utilizada para elaborar la propuesta ambiental, fue atendida desde el mismo inicio de la recolección del aceite lubricante gastado 20W50, hasta su disposición final persiguiendo evitar o mitigar la contaminación del medio ambiente.
- El hidrocarburo obtenido por destilación simple del aceite lubricante gastado 20W50 presentó las siguientes características: color rojizo, olor característico y alcanzó temperaturas entre 273 °C y 275 °C, similares a las del diésel comercial.
- Se comprueba que la diferencia de los resultados de la temperatura de ebullición se debió a la diferente presión atmosférica existente en cada ciudad.
- A nivel del mar, aunque exista una combustión completa de la mezcla en el motor, se obtuvo mayor concentración de los metales Fe, Cu y Al (en las muestras de las lubricadoras de Portoviejo), debido a que en la costa es mayor el desgaste de las partes del motor a causa del factor físico-químico

de la humedad que, generando o incrementando la corrosión, reduce la vida útil tanto del aceite lubricante del motor (pierde sus propiedades), como del mismo motor.

- En la sierra, al disminuir tanto la presión como la temperatura atmosférica, disminuyen también la densidad del aire y su composición, lo que afecta negativamente el rendimiento del motor: se producen golpeteos o cascabeleos, aumenta el desgaste de las partes internas del motor (pistones, bloque, rines de compresión, rines de lubricación y árbol de levas, partes todas elaboradas con aleaciones de hierro, cobre y aluminio).
- El diésel comercial carece de valores normados de concentración de metales, pero éste hidrocarburo destilado demuestra ser interferente en la combustión de los motores.
- La propuesta ambiental está edificada sobre la normativa adecuada y nace de la inobservancia de las lubricadoras visitadas a las disposiciones de la ley medioambiental.
- De procesarse en cantidades grandes el aceite lubricante gastado 20W50, podría ser fuente de interesantes beneficios: generador de empleo, mejoras en la economía e incidir en la conservación de los ecosistemas.

6.2. Recomendaciones

- El aceite gastado 20W50 debe ser: recolectado según la norma ASTM D4057, destilado según la norma INEN 1489, analizado según las normas ASTM D 5056 y ASTM D 5863.
- Debido a la toxicidad de los gases emanados en la destilación simple del aceite gastado lubricante 20W50, se recomienda usar una correcta protección

como una mascarilla con carbón activo para evitar afecciones en el sistema respiratorio. El proceso de destilación emite vapores desagradables.

- Buscando evitar la oxidación de las muestras, éstas deben ser almacenadas en lugares fuera del alcance de la luz solar directa.
- Se aconseja la realización de análisis de metales en el diésel comercial, mediante una validación de métodos, en virtud de que no existe una norma técnica.
- Como coadyuvante en la lucha contra la contaminación ambiental originada por un mal tratamiento de los residuos oleosos gastados, se recomienda incentivar el uso de combustibles alternativos empleando materiales abundantes y que no cumplen propósito industrial.
- Se recomienda continuar el hilo científico desarrollado en la presente investigación: “hidrocarburo combustible obtenido por destilación simple”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (2016). *Folleto de información sobre la química verde*. Recuperado el 15 de octubre de 2019, de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1004H5G.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades ATSDR. (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Aceite usado de cárter (Crankcase Motor Oil)*. Recuperado el 26 de Enero de 2020, de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs102.html
- Arner, A., Barberán, R., & Mur, J. (2006). La Política de Gestión de Residuos: Los Aceites Usados. *Revista de Economía Aplicada*, XIV, 81-82.
- Ash, C. (21 de 07 de 2017). *Puro motores*. Obtenido de <https://www.puromotores.com/13180727/por-que-utilizar-aceite-de-motor-20w50>
- Asociación nacional de protección contra el fuego NFPA-704. (2012). *Norma NFPA-704*. Obtenido de <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Norma-NFPA-704.pdf>
- Bírová, A., Pavlovicová, A., & Cvengros, J. (2006). Lubricating Oils Based on Chemically Modified Vegetable Oils. *Lubrication Science*, 18, 291-292.
- Bosch, R. (2005). *Manual de la Técnica del Automóvil*. REVERTÉ, S.A.
- Buchelli, L., & Garcia, V. (2015). Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diesel mediante la técnica de análisis de aceite / The use of using oil analysis for early detection of faults in diesel internal combustion engines. *Ciencia Unemi*, 8, 85.

- Cabildo, M., Cornago, M., Escolástico, C., Esteban, S., Farrán, M., Pérez, M., & Sanz, D. (2012). *Procesos Orgánicos de Bajo Impacto Ambiental: Química Verde*. Madrid, España: UNED.
- Castells, X. (2012). *Energías Renovables: Energía, Agua, Medioambiente, Territorialidad y Sostenibilidad*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Constitución de la República del Ecuador*. (13 de 07 de 2008). Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Ecoil Fluidos. (2006). *Manual para el manejo de aceites usados*. Obtenido de https://www.academia.edu/8743112/Manual_para_el_manejo_de_aceites_usados
- ECOLCIN S.A.S. (2014). *Hoja de seguridad de los Aceites Usados*. Bogotá.
- El telégrafo. (09 de Diciembre de 2011). Cartera de Industrias ayuda a procesar aceite residual. *El telégrafo*.
- ETAPA EP. (2016). *Programa de recolección y disposición de aceites usados*. Recuperado el 15 de 01 de 2020, de <https://www.etapa.net.ec/Informaci%C3%B3n/Gesti%C3%B3n-ambiental/Gesti%C3%B3n-de-desechos-y-calidad-ambiental/Programa-de-recolecci%C3%B3n-y-disposici%C3%B3n-de-aceites-usados>
- Fong, W., Quiñonez, E., & Tejada, C. (2017). Physical-chemical characterization of spent engine oils for its recycling. *Prospect*, 15, 136.
- Gallego, P., & Campagnoli, S. (2018). Effect of Waste Engine Oil on physical and mechanical properties of asphalt mixtures containing RAP. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 2.
- Gilardi, J. (1985). *Motores de Combustion Interna*. Lima: IICA.
- Grupo Transmerquim GTM. (2016). *Hoja De Datos De Seguridad*. México.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (14 de 06 de 2013). *Productos derivados del petróleo. Diésel. Requisitos*. Obtenido de <https://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/06/NTE-INEN-1489-7-ENMIENDA-1.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (07 de 2000). *Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2288*. Obtenido de <https://www.prosigma.com.ec/pdf/gso/INEN2288Productos-Quimicos-Industriales-Etiquetado.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2000). *NORMA INEN 2266 Transporte, almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos.Requisitos*. Obtenido de <http://www.prosigma.com.ec/pdf/gso/INEN2266Transporte-Almacenamiento-y-Manejo-de-Productos-Quimicos.pdf>
- Korn, M., Santos, D., Welz, B., Vale, M., Teixeira, A., Lima, D., & Ferreira, S. (2007). Atomic spectrometric methods for the determination of metals and metalloids in automotive fuels. *Talanta*, 73, 2-3.
- Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J., & Sánchez, C. (2006). Study of the Altitude Effect on Internal Combustion Engine Operation. Part 1: Performance. *SciELO*, 21.
- Loayza, J., & Silva, M. (2005). Diseño de Métodos Rápidos para la Caracterización De Aceites Lubricantes Usados. *Revista Peruana Química*, 8, 74.
- Manahan, S. (2007). *Manahan, S. (2007). Introducción a la Química Ambiental. México: Reverté, S.A. México: Reverté, S.A.*
- Manzanarez, L., & Ibarra, M. (2012). Diagnostico del uso y manejo de los residuos de aceite automotriz en el Municipio del Fuerte, Sinaloa. *Ra Ximhai*, 8, 129.
- Martinez, G., & Delgado, J. (2013). Evaluación del ciclo de vida del aceite de motor como producto sostenible en los Santanderes . *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*, 57.

- Massa, L., Cusi, R., Cuneo, S., Alvaro, M., Escate, E., & Flores, A. (2019). Regeneration of used oils from combustion engines, reduces the environmental impact in Ica city. *ÑAWPARISUN*, 1(4), 82.
- Ministerio del Ambiente. (2004). *Ley de Gestion ambiente, Codificación*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2008). *Acuerdo N°026*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/AM-026-Procedimientos-Registro-generadores-desechos-peligrosos.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Reglamento ambiental de actividades hidrocarburíferas*. Obtenido de <https://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/MARCO-LEGAL-2016/Registro-Oficial-265-Decreto-Ejecutivo-1215.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *ACUERDO NO. 061*. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155124.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Por primera vez Ecuador reciclará el 100% de lubricantes usados*. Recuperado el 09 de octubre de 2019, de <http://www.ambiente.gob.ec/por-primera-vez-ecuador-reciclara-el-100-de-lubricantes-usados/>
- Muñoz, É., Montoya, D., & Muñoz, A. (2017). *Planteamiento y solución de la problemática de los aceites usados en Colombia*.
- NORMA ISO 14001. (14 de 10 de 2015). *ISO 14001:2015*. Obtenido de <https://www.nueva-iso-14001.com/pdfs/FDIS-14001.pdf>
- Pájaro, N., & Olivero, J. (2011). Química Verde: Un nuevo reto. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21-2, 170-171.

- Posso, F. (2002). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías alternativas. *Geoenseñanza*, 7, 54.
- Quintana, J., Martínez, F., Ramírez, J., & Vásquez, Y. (2014). Estudio de factibilidad para optimizar frecuencia de reemplazo del lubricante, en Grupos Electrógenos. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23, 60.
- Rafael, M., & Hernández, A. (2014). *Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible*. Sanfandila.
- Sánchez, T., Mayorga, E., Gnecco, M., Marquina, J., Velásquez, J., Escobar, R., . . . Gonzales, M. (2000). *Utilización de la cascarilla de arroz como fuente energética en ladrilleras*. Piura: Group - ITDG.
- Sanz, S. (2017). *Motores*. Madrid: Editex S.A. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=OV0pDwAAQBAJ&pg=PA283&dq=LUBRICANTE+MINERAL+PARA+MOTOR&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj8-8fPwYbnAhXItlkKHQ7UBKMQ6AEIOzAD#v=onepage&q=LUBRICANTE%20MINERAL%20PARA%20MOTOR&f=false>
- Schallenberg, J., Piernavieja, G., Hernández, C., Unamunzaga, P., García, R., Díaz, M., . . . Subiela, V. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
- Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM Internacional). (2017). *ASME*. Recuperado el 15 de Enero de 2020, de <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/astm?c=005245>
- Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM International). (2011). *ASTM D6595 - 00*. Recuperado el 14 de Enero de 2020, de http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2850/1/Metodolog%C3%ADas%20muestreo%20est%C3%A1ndar_Torres_2015.pdf

- Solíz, L., & López, J. (2003). *Principios Básicos de Contaminación Ambiental*. México: Instituto Literario 100 Ote.C.P.
- Sukasari, D. (1994). *Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica*.
- Tabango, R., & Heredia, G. (2011). *Estudio de alternativas para el manejo de fluidos contaminantes en un taller automotriz*. Recuperado el 09 de octubre de 2019, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4471/1/M-ESPEL-0061.pdf>
- TULSMA. (2015). *Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI*. Ecuador.
- Udonne, J. (2011). A comparative study of recycling of used lubrication Oils using distillation, acid and activated charcoal with clay methods. *Petroleum and Gas Engineering*, 2, 12.
- Vargas, E., & Ruiz, L. (2007). Química Verde en el siglo XXI; Química Verde, una Química Limpia. *Revista Cubana de Química*, XIX, 29.
- Vásquez, M., Guerrero, J., & Quintero, A. (2010). Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XII, 142.

ANEXOS