



Aprovechamiento de aceite lubricante automotriz usado, como nueva línea de negocio en la empresa EMIR S.A E.S.P.

Adriann Yusseth Cortés Mesa
Michael Stevens Nielsen Avella

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, 16 de octubre de 2019

Aprovechamiento de aceite lubricante automotriz usado, como nueva línea de negocio en la empresa EMIR S.A E.S.P.

Adriann Yusseth Cortés Mesa
Michael Stevens Nielsen Avella

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Director:

Jhon Fredy Arias Duque

Línea de Investigación:
Gestión Integral Sustentable

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia

2019



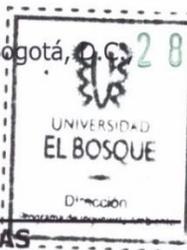
SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA No: 1094

El día **28 OCT 2019**, en las instalaciones de la Universidad El Bosque, se desarrolló la sustentación del trabajo de grado titulado **APROVECHAMIENTO DE ACEITE LUBRICANTE AUTOMOTRIZ USADO, COMO NUEVA LÍNEA DE NEGOCIO EN LA EMPRESA EMIR S.A E.S.P.**, escrito por **ADRIANN YUSSETH CORTES MESA, C.C. 1016058657** y **MICHAEL STEVENS NIELSEN AVELLA, C.C. 1057603893**, bajo la dirección de **JHON FREDY ARIAS DUQUE, C.C. 75003493**, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental. El trabajo fue evaluado por los jurados **JOHANN ENRIQUE GIL TOQUICA, C.C. 80926823** y **JUAN PABLO BONILLA GAVIRIA, C.C. 79944134**, quienes deliberaron y concluyeron que cumple con los criterios de calidad, por lo que se determina que el trabajo es **Aprobado**.

En constancia, se firma en Bogotá, C.C. **28 OCT 2019**.

KENNETH OCHOA VARGAS
Director
Programa de Ingeniería Ambiental



GERMÁN AGUDELO ASCENCIO
Secretario Académico
Facultad de Ingeniería



Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Dedicado a:

Mis padres, por ser la motivación constante en mi vida y por su dedicación y guía para formarme como persona.

Mi hermano, por ser un reflejo de éxito, esfuerzo y constancia en mi campo personal y profesional.

A mi tío y mejor amigo, Juan Sáenz por sus consejos, apoyo y brindarme siempre su guía hacia el éxito.

Adriann Cortés Mesa

Mis padres, por ser la razón principal de mi vida y el motor de ello para mi formación personal.

A mis hermanos por el apoyo incondicional.

A mis amigos que siempre me extienden la mano cuando lo necesito.

Michael Nielsen Avella

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición me ha iluminado el camino para culminar una etapa más en mi formación como persona

Mis padres, Georg y Sandra quienes son la razón principal de mi vida y el motor de ello para mi formación como persona y como profesional, de igual manera a mis hermanos Michelle y Georgi por ser ese apoyo incondicional cuando lo necesito.

Mis amigos, por tantos momentos y consejos que me han brindado y extenderme la mano cuando lo requiero.

Michael Nielsen Avella

Quiero agradecer a mis padres, Carlos y Aida, que, gracias a su esfuerzo, enseñanzas y apoyo, me permitieron culminar de manera exitosa mi carrera profesional. De igual forma, agradezco a mi hermano, quien me acompañó con sus consejos y apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

A mis amigos, quienes me acompañaron durante todo este tiempo de manera incondicional y me aportaron buenas cosas en mi vida, emociones y felicidad.

Adriann Cortés Mesa

A la Universidad El Bosque por todos aquellos aprendizajes y experiencias personales y profesionales, que hoy nos definen como Ingenieros Ambientales.

A todos aquellos profesores que dejaron una gran huella en nuestra formación profesional.

A nuestro tutor Jhon Fredy, por creer en nosotros y apoyarnos en el desarrollo del proyecto.

Adriann Cortés - Michael Nielsen

Tabla de contenido

1. Resumen.....	10
2. Introducción	11
3. Planteamiento del problema.....	12
4. Justificación	14
5. Pregunta problema	15
6. Objetivos	15
6.1 Objetivo general	15
6.2 Objetivo específico.....	15
7. Marco de referencia	16
7.1 Marco conceptual	16
7.2 Marco teórico	17
7.2.1 Generación de modelos de negocio.....	17
7.2.1.1 Descripción de cada módulo	18
7.2.2 Generalidades del aceite lubricante usado.....	20
7.2.2.1 Características de los aceites usados	21
7.2.2.2 Tipos de aceites lubricantes.....	22
7.2.2.2.1 Lubricantes líquidos:	22
7.2.2.2.2 Lubricantes sólidos.....	23
7.2.2.3 Clasificación de los aceites lubricantes, según la clasificación del Instituto Americano del Petróleo.....	23
7.2.2.4 Propiedades de los aceites lubricantes.....	27
7.2.2.5 Métodos de aprovechamiento y valorización del aceite lubricante usado	27
7.2.2.5.1 Métodos de reacondicionamiento.....	28
7.2.2.5.2 Re-refinación	29
7.2.3 Impacto ambiental de los aceites lubricantes usados	30
7.3 Estado del arte	31
7.4 Marco normativo	35
7.4 Marco Institucional.....	39
7.4.1 EMIR S.A. E.S.P.	39
7.4.2 Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), TecnoParque Colombia.....	41
7.5 Marco geográfico	41

8. Metodología	43
8.1 Diseño metodológico por objetivo	44
Objetivo específico 2:.....	47
9. Resultados, análisis y discusión de resultados	57
9.1 Resultados, análisis y discusión del objetivo específico 1	57
9.1.1 Cantidad de encuestas realizadas	57
9.1.2 Canvas versión inicial	57
9.1.3 Análisis del entorno.....	59
9.1.2.1 Canvas versión final	61
9.1.4 Diagnóstico de la versión final del CANVAS y el entorno de negocio	62
9.2 Resultados, análisis y discusión del objetivo específico 2	65
9.2.1 Comparación de alternativas de re-refinación del aceite lubricante usado	65
9.3 Resultados, análisis y discusión del objetivo específico 3	84
9.3.1 Tratamiento físico-químico de aceite usado por acidificación (ácido acético glacial al 99,5%)	86
10. Conclusiones	93
11. Recomendaciones.....	95
12. Referencias Bibliográficas.	96

Listado de Figuras

Figura 1. Lienzo del Modelo de Negocio.	18
Figura 2. Localización de la empresa EMIR S.A E.S.P.....	40
Figura 3. Organigrama de la empresa EMIR S.A E.S.P	41
Figura 4. Porcentaje del valor agregado municipal para grandes ramas de la actividad económica.	42
Figura 5. Lienzo Canvas.	46
Figura 6. Metodología de desarrollo del primer objetivo específico.	47
Figura 7. Metodología de desarrollo del segundo objetivo específico.	48
Figura 8. Metodología experimental tratamiento ácido acético glacial-arcilla con temperatura inicial de 250°C.	54
Figura 9. Metodología experimental tratamiento ácido acético glacial-arcilla con temperatura inicial de 250°C.	56
Figura 10. Canvas versión inicial.....	58
Figura 11. Canvas versión final.	61
Figura 12. Porcentaje de establecimientos que pagan por la recolección de ALU.....	63
Figura 13. Porcentaje de encuestados que conocen sobre la disposición final del ALU.....	63

Figura 14. Preferencias en relación con la marca o la calidad del producto.....	64
Figura 15. Porcentaje de importancia de los criterios.	76
Figura 16. Muestra de aceite lubricante automotriz usado del taller Lubriaautos La 20.....	86
Figura 17. Muestra de ALU en reposo, luego de temperatura a 250°C durante 1h.	88
Figura 18. Base lubricante luego de agregar tierras diatomeas y centrifugar.	89
Figura 19. Metodología modificada para tratamiento de 50mL de ALU.	90
Figura 20. Base lubricante luego de agregar tierras diatomeas y centrifugar (tratamiento con 4 mL de Ac. Acético Glacial).....	91

Listado de Tablas

Tabla 1. Composición media de los hidrocarburos que conforman las bases de aceite.	21
Tabla 2. Características típicas de los aceites usados	22
Tabla 3. Evolución cronológica del aceite lubricante con su respectivo código	24
Tabla 4. Recopilación de investigaciones relacionadas con el tratamiento de aceite lubricante usado..	31
Tabla 5. Marco legal del proyecto.	35
Tabla 6. Metodología de desarrollo de los objetivos.	44
Tabla 7. Fases de la metodología AMC.....	48
Tabla 8. Diseño de tabla de desempeño para cada alternativa.....	50
Tabla 9. Rangos del criterio 1: Método de obtención de base lubricante.	51
Tabla 10. Rangos del criterio 2: Residuos/ subproductos generados.....	51
Tabla 11. Rangos del criterio 3: Cantidad de productos.	52
Tabla 12. Rangos del criterio 4: Complejidad tecnológica del proceso.....	53
Tabla 13. Rangos del criterio 5: Eficiencia de la alternativa.	53
Tabla 14. Lista de criterios.....	65
Tabla 15. Análisis de alternativa 1: Ácido-arcilla.....	66
Tabla 16. Análisis de alternativa 1: Proceso arcilla.	68
Tabla 17. Análisis de alternativa 3. Proceso extracción por solvente.....	69
Tabla 18. Análisis de alternativa 4. Proceso extracción por propano.	70
Tabla 19. Análisis de alternativa 5. Proceso de hidrotatamiento.....	72
Tabla 20. Coeficientes de importancia relativa (CIR).	74
Tabla 21. Criterios según CIR.....	75
Tabla 22. Criterio 1: Complejidad tecnológica.	76
Tabla 23. Criterio 2: Cantidad de productos.	77
Tabla 24. Criterio 3: Residuos/subproductos generados.....	78
Tabla 25. Criterio 4: Eficiencia.....	79
Tabla 26. Criterio 5: Método de obtención de base lubricante.	80
Tabla 27. Matriz final de coeficientes.....	82
Tabla 28. Sustancias contaminantes y su origen, en el aceite lubricante automotriz usado.	85

1. Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal la propuesta para el aprovechamiento de aceite lubricante automotriz usado, generado en el sector industrial del municipio de Sogamoso, para la apertura de una nueva línea de negocio en la empresa EMIR S.A E.S.P. Por tal motivo, se inicia con el análisis estratégico del entorno de negocio mediante la herramienta Canvas; determinando las fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades; que mediante visitas técnicas y recopilación de información estadística, permitieron completar y alimentar cada uno de los módulos, generando finalmente una versión corregida del Canvas, la cual de manera simplificada permite dar a conocer la propuesta de valor y la posibilidad de abrir un nuevo portafolio de negocio con la comercialización de base lubricante. Posteriormente, mediante el método de análisis multicriterio, se logró evaluar 5 alternativas de tratamiento para la re-refinación de aceite lubricante usado, en donde la mejor opción según los criterios fue el tratamiento con propano líquido. Se debe tener en cuenta, que el presente trabajo planteó la posibilidad de realizar experimentación con el mejor método; por motivos tecnológicos y el tiempo de realización se optó por realizar la re-refinación mediante el método ácido acético glacial - arcilla, teniendo como base el método ácido-arcilla, pero con menos implicaciones ambientales y legales.

Palabras clave: aceite mineral, recuperación, tratamiento, aceite lubricante, residuos peligrosos, negocio verde

Abstract

The main objective of this research work was the proposal for the use of waste engine oils, generated in the industrial sector of the municipality of Sogamoso, for the opening of a new business line in the company EMIR S.A E.S.P. For this reason, it begins with the strategic analysis of the business environment through the Canvas tool; determining strengths, opportunities, threats and weaknesses; that through technical visits and collection of statistical information, allowed to complete and feed each of the modules, finally generating a corrected version of the Canvas, which in a simplified way allows to present the value proposition and the possibility of opening a new portfolio of business with the marketing of lubricant base. Subsequently, using the multicriteria analysis method, 5 treatment alternatives for the re-refining of used lubricating oil were evaluated, where the best option according to the criteria was the treatment with liquid propane. It should be taken into account that the present work raised the possibility of experimenting with the best method; for technological reasons and the time of realization it was decided to perform the re-refining by means of the glacial acetic acid - clay method, based on the acid-clay method, but with less environmental and legal implications.

Keywords: mineral oil, recovery, treatment, lubricating oil, hazardous waste, green business

2. Introducción

En el sector de automotores, al igual que en cualquier superficie industrial se generan residuos que de acuerdo con su naturaleza pueden ser considerados como residuos peligrosos. Para el caso de parques automotores y talleres automotrices, se genera el residuo de aceites lubricantes como consecuencia del cambio necesario que se debe realizar para el mantenimiento de los motores, es allí donde se tiene en cuenta que según el Registro Único Nacional de Tránsito existen cerca de 14.957.654 de automóviles en Colombia con un crecimiento exponencial, de los cuales en promedio realizan el cambio del aceite lubricante 2 veces en el año, traducido en cifras de generación en 29 millones de galones/año de aceite lubricante automotriz usado.

Ahora bien, el problema no radica en los volúmenes de generación, el problema se encuentra en lo que sucede luego de que un aceite lubricante cumple su ciclo de vida y necesariamente debe ser dispuesto, esto permite explorar posibilidades para suplir las demandas de aceites lubricantes de calidad, sabiendo que inicialmente su composición es base lubricante más los aditivos necesarios según su uso. Adicionalmente, el presente proyecto permite estructurar las posibilidades de generación de valor a un residuo peligroso, para reincorporarlo en un proceso productivo y así mismo mitigar irregularidades de disposición final.

En términos generales el documento y proyecto presenta un análisis del entorno para la apertura de un nuevo portafolio en la empresa EMIR S.A E.S. P con el municipio de Sogamoso como área de influencia, con lo cual se genera la modificación de la propuesta de valor enmarcada dentro del tratamiento de aceites lubricantes usados y de manera paralela se realiza un análisis multicriterio para las alternativas de tratamientos ajustables a la empresa. Lo que finalmente permite realizar una experimentación inicial con el fin de conocer posibles resultados para tener en cuenta en un posterior trabajo de diseño para la implementación de la planta de tratamiento en la empresa EMIR S.A E.S.P.

3. Planteamiento del problema

Década tras década, pequeños municipios de Colombia viven un proceso de desarrollo, acompañado de avances tecnológicos que permiten suplir las necesidades económicas y posibilitan abarcar un mercado de conexión con cada una de las regiones colombianas. Esto ha producido un sin fin de vertimientos, descargas de residuos y emisiones que degradan la calidad del ambiente y deterioran la calidad de vida de las comunidades.

Una categoría identificada dentro de la generación de residuos, son los residuos peligrosos (Respel), y es necesario mencionar, que según el informe elaborado por el IDEAM (2017) los principales Respel generados y manejados en los últimos cinco años en el país, corresponden a mezclas de emulsiones de desechos de aceite y agua -hidrocarburos (provenientes en su gran mayoría de la industria petrolera), desechos clínicos y de aceites minerales.

Por otra parte, según el reporte de la Corporación Autónoma de Boyacá (CorpoBoyacá) para el 2017 se encuentran valores de generación de residuos peligrosos mayores a 1.000 Ton/año en la región boyacense, correspondientes a aceites minerales usados y según el mismo reporte, dentro de la generación de los aceites minerales, se contemplan actividades relacionadas con parques automotores. Un ejemplo claro de generación de este tipo de residuo peligroso se encuentra dentro de la jurisdicción de CorpoBoyacá, el municipio de Sogamoso; municipio que para los últimos años ha venido haciendo partícipe de la extracción minera, el transporte y la siderurgia, acompañado de cambios territoriales y económicos, junto a las dinámicas de transporte industrial y turístico en la zona, bien llamada como Corredor Industrial de Boyacá.

Lo anterior ha generado problemáticas, a razón del uso de aceites lubricantes para el corte o maquinaria hidráulica en el área de la siderurgia y por otra, están los parques automotores que han de realizar sus labores de mantenimiento de sus vehículos, principalmente el cambio de aceite lubricantes, cambio esencial para extender la vida útil de los mismos; por ende es allí donde se encuentra latente el problema de un aceite lubricante quemado, que por falta de conocimiento, sin llamarlo desinterés por parte de las administraciones o áreas encargadas de su adecuada disposición, generan una afectación bastante importante a nivel ambiental, ya que son residuos peligrosos que pueden contener trazas de diferentes compuestos químicos tóxicos y bastantes nocivos para el medio ambiente. Ahora bien, empresas tales como HOLCIM COLOMBIA S.A, han de realizar el tratamiento de estos aceites lubricantes (aceites minerales) para incorporarlos en su proceso productivo como combustible para sus hornos cementeros (HOLCIM, 2016). Aunque sea una solución inmediata para la recolección de los aceites de igual manera genera impactos negativos de acuerdo a las emisiones generadas en la quema del aceite lubricante usado, pues al quemarlo no se está siendo efectivo en la cascada de retención de valor de los residuos, teniendo en cuenta que se puede reciclar, reusar o remanufacturar para luego sí, como última medida ser usado como combustible, tomando la actividad de HOLCIM (2016) donde se le da un tratamiento básico al aceite lubricante usado, para resaltar sus características combustibles, lo cual genera un impedimento para que el residuo entre el círculo productivo durante más tiempo, reteniendo su valor.

El procedimiento y solución inmediata por parte de la empresa HOLCIM, tiene una repercusión importante en cuanto a la recolección de Respel; sin embargo, con dicha iniciativa no se ha descartado el uso del aceite quemado como inmunizador de maderas o la irregularidad de compra y venta del aceite lubricante quemado por personas que desconocen el control, disposición y adecuado tratamiento, pues finalmente terminan desechando el residuo peligroso en lugares alejados de la población urbana o

simplemente vaciando los contenedores en alcantarillados, dejando en jaque a las autoridades ambientales y de la mano una gran problemática tanto a nivel social (contaminación de fuentes hídricas, contaminación del suelo y del aire), a nivel ecológico (pérdida en las dinámicas ambientales y generación de bioacumulación de metales pesados) y a nivel económico (disposición de presupuesto para la remediación de vertimientos ilegales de aceite lubricante quemado).

Finalmente, reconociendo el panorama que atañe la calidad ambiental de un municipio tan importante de la región boyacense, representado en una oportunidad directa frente a la gestión del recurso (aceite lubricante quemado) y de la mano del cumplimiento de la normatividad competente, su adecuada logística inversa y el apropiado tratamiento para la disposición final del residuo, se permite proponer la apertura de un portafolio que genera un valor agregado para el tratamiento de aceite lubricante usado, de ahora en adelante ALU, y posterior venta de Base Lubricante en la empresa EMIR S.A E.S.P., que de manera paralela, hace seguimiento al objetivo 9 “Industria, innovación e infraestructura”, dentro de los 17 objetivos del desarrollo sostenible (ODS) (PNUD, 2015) teniendo en cuenta que se realiza un análisis multicriterio de los tratamientos más conocidos a nivel mundial, con el fin de determinar cual genera una mayor eficiencia, menor repercusión ambiental y se encuentra en la vanguardia de los avances tecnológicos y de esta forma se encuentren soluciones duraderas. Así mismo, el proyecto responde al objetivo del Plan Nacional de Negocios Verdes del país, ya que se pretende el desarrollo y fomento de un negocio verde competitivo, dentro de la producción más limpia y la economía circular, mitigando problemáticas ambientales, generando crecimiento social y económico, con un apoyo en la disminución del consumo de recursos naturales y así estar posicionado como *“un nuevo renglón estratégico de impacto en la economía nacional”* (Ministerio de Ambiente, 2014).

4. Justificación

El presente proyecto se justifica a razón de la necesidad de nuevos modelos industriales que propongan un adecuado manejo de sus recursos y la manera en la cual, se genere una mayor productividad a una menor generación de residuos; para este caso en específico, la investigación va enfocada a una nueva línea de mercado en la empresa EMIR S.A E.S.P (actualmente cuenta como actividad económica principal la recolección y disposición final de residuos peligrosos hospitalarios en 45 municipios, llegando a las 11 provincias del departamento de Boyacá.), con la apertura de una nueva línea de negocio, enfocada en la producción más limpia y con base en los negocios verdes al gestionar un residuo peligroso y convertirlo en un producto para la venta.

El modelo de negocio está enfocado en la recolección de aceites lubricantes usados, que, para la mayoría de los talleres automotrices, de parques automotores e industrias, solo genera una problemática desde el punto de vista legal y de disposición final. De este modo, se contribuye a la disminución de residuos peligrosos mal manipulados y se mitigan esos comportamientos humanos de irresponsabilidad frente al vertimiento inadecuado de este tipo de materiales abordando la problemática desde un modelo de negocio que haga más viable y sostenible en el tiempo su gestión.

Tal como se mencionó con anterioridad, el proyecto tiene un enfoque de economía circular y producción más limpia, utilizando como materia prima el aceite lubricante usado, generando un producto de valor, como lo es la Base lubricante, que durante el proceso de tratamiento deja como residuo el lodo ácido, el cual puede ser dispuesto de una manera más responsable junto a una logística inversa que cumple con todos los protocolos y responsabilidades normativas, en cada uno de los procesos unitarios que se comprenden en la investigación y puesta en marcha del proyecto.

Finalmente, los beneficios resultantes están enfocados en reducir los impactos ambientales generados por la incineración y derrames de aceite lubricante usado, que a su vez puede generar problemas de salud pública y salud ambiental. A nivel económico, hacer parte de las iniciativas nacionales de negocios verdes con la apertura de una nueva línea de mercado en el portafolio de la empresa colombiana EMIR S.A E.S.P., en Sogamoso-Boyacá, siendo competitivos a nivel nacional reteniendo el valor del ALU y re-incorporándolo en nuevos procesos productivos.

5. Pregunta problema

¿Es viable abrir una nueva línea de negocio, en la empresa EMIR S.A E.S.P, enfocada en la recolección, tratamiento y aprovechamiento de aceite lubricante automotriz usado, para una posterior venta de base lubricante?

6. Objetivos

6.1 Objetivo general

Proponer el aprovechamiento de aceite lubricante automotriz usado, como una nueva línea de negocio en la empresa EMIR S.A E.S. P, en el municipio de Sogamoso-Boyacá y sus alrededores como una alternativa viable para la adecuada disposición de Residuos Peligrosos en la Región.

6.2 Objetivo específico

- Realizar el análisis del entorno para el aprovechamiento del aceite lubricante automotriz usado, a través de técnicas de innovación en modelos de negocio.
- Priorizar y validar un método de re-refinación para la producción de Base lubricante a partir de un aceite lubricante automotriz usado.
- Demostrar experimentalmente la eficiencia del método validado para el tratamiento de aceite lubricante automotriz usado.

7. Marco de referencia

7.1 Marco conceptual

Los siguientes conceptos hacen parte importante del presente trabajo de investigación, cada uno dentro del proceso de consecución de cada objetivo específico, por lo tanto, los conceptos responden a referentes teóricos esenciales para el entendimiento y desarrollo estructurado con la finalidad de responder al objetivo general. Cabe resaltar que cada uno de los siguientes conceptos hace parte de la revisión estructurada de proyectos, investigaciones científicas y trabajos calificados que hacen parte del estado del arte y marco teórico.

Aceite lubricante usado: Aceite lubricante (de motor, de transmisión o hidráulico, con base mineral o sintética) de desecho, generado a partir del momento en que deja de cumplir la función inicial para la cual fue creado (NTC 5995, 2013).

Aprovechamiento y/o valorización: Es el proceso de recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos o desechos peligrosos, por medio de la recuperación, el reciclado o la regeneración (Decreto 4741, 2005).

Base lubricante re-refinada: Producto obtenido a partir de procesos fisicoquímicos de purificación de aceite lubricante usado y el posterior tratamiento de refinación (NTC 5995, 2013).

Desechos peligrosos: Es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos (Decreto 4741, 2005).

Generador: Persona natural o jurídica cuyas actividades o procesos productivos producen desechos sólidos, líquidos y gaseosos (Trujillo, 2009).

Impacto ambiental: Cualquier cambio en el medio ambiente que sea positivo o negativo, total o parcial, resultante de las actividades humanas (Trujillo, 2009).

Material peligroso: Es aquel material que durante su manejo, transporte y almacenamiento, puede representar un peligro para la integridad de los seres humanos, animales y medio ambiente (Trujillo, 2009).

Modelo de negocio: Es el diseño de la estructura organizacional que representa una oportunidad comercial (George & Bock, 2011).

Proceso de re-refinación: Tratamiento por el cual el aceite lubricante usado se procesa y refina, mediante diferentes etapas, para obtener una base lubricante que cumpla los requisitos establecidos en la presente norma y pueda ser utilizada en la fabricación de aceites y grasas lubricantes (NTC 5995, 2013).

Receptor: El titular autorizado para realizar las actividades de almacenamiento, aprovechamiento y/o valorización (incluida la recuperación, el reciclado o la regeneración), el tratamiento y/o la disposición final de residuos o desechos peligrosos (Decreto 4741, 2005).

Regeneración: Proceso tanto físico como químico al que es sometido el aceite usado con el fin de devolverle parte de sus características iniciales para su reutilización (Trujillo, 2009).

Re-refinación: Equivalente a un segundo proceso de refinación o regeneración (Trujillo, 2009).

Tratamiento: Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos o desechos peligrosos, teniendo en cuenta el riesgo y grado de peligrosidad de los mismos, para incrementar sus posibilidades de aprovechamiento y/o valorización ó para minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente (Decreto 4741, 2005).

Ley de reciclaje y Responsabilidad extendida del productor REP: Corresponde a un instrumento económico de gestión de residuos que obliga a fabricantes de ciertos productos a organizar y financiar la gestión de los residuos derivados de sus productos (GRN, 2018).

7.2 Marco teórico

Generando una estructuración frente a cada uno de los objetivos específicos del presente documento de investigación, es fundamental fortalecer cada uno de los aportes teóricos que permiten la construcción sólida y exitosa del marco metodológico para cada uno de los objetivos. Por lo tanto, inicialmente se encuentra el análisis de mercado realizado según Osterwalder & Pigneur (2011) tomando como base su libro Generación de Modelos de Negocio, como segunda medida se encuentra la base teórica del análisis de alternativas y finalmente las características fisicoquímicas del aceite lubricante y los posibles aportes para el tratamiento de re-refinación.

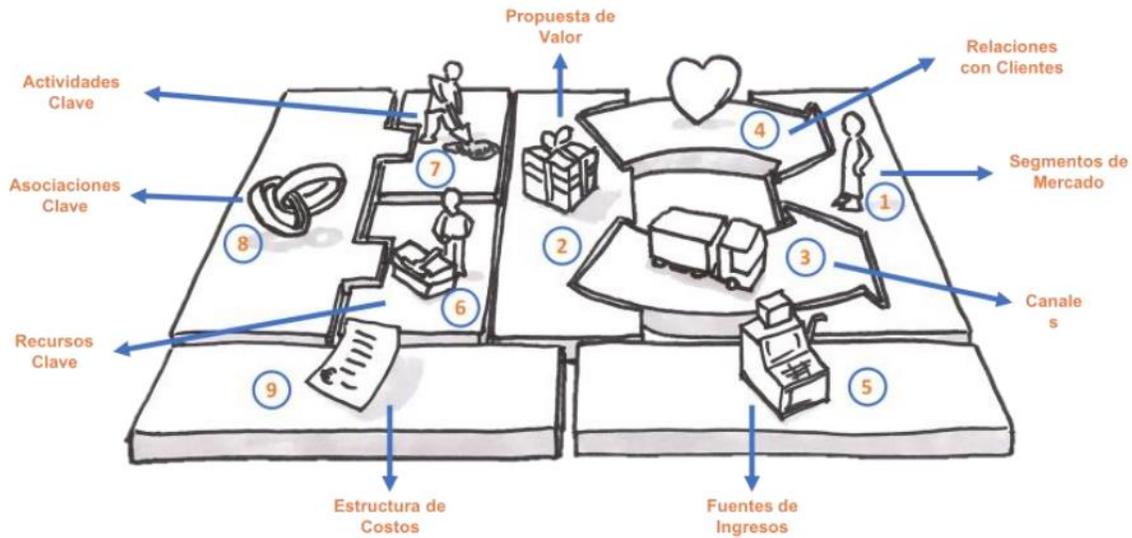
7.2.1 Generación de modelos de negocio

Se puede iniciar tomando como referencia la definición de modelo de negocio de Osterwalder & Pigneur (2011) el cual describe las bases sobre las que una empresa crea, proporciona y capta valor; para este caso específico, la empresa EMIR S.A E.S.P crea, proporciona y capta valor a partir de un residuo peligroso (aceite lubricante usado automotriz), que durante años solo ha logrado permanecer una vez en el mercado, durante su ciclo de vida, sin ser reincorporado de una manera que retenga su valor en el tiempo y disminuya su impacto ambiental neto.

Ahora bien, dentro del Modelo de Negocios Canvas creado por Alex Osterwalder, comprende la manera en la cual el mercado se manifiesta y se puede plasmar dentro de un lienzo, tal como lo menciona Osterwalder & Pigneur (2011) la mejor manera de describir un modelo de negocio es mediante su adecuada división en 9 módulos que se relacionan entre sí, los cuales permiten ser plasmados de manera gráfica y con posibilidades de ser mejorados; los nueve módulos recrean cuatro áreas importantes de un negocio, los cuales son los clientes, la oferta, la infraestructura y la viabilidad económica.

La siguiente figura corresponde al “lienzo del modelo de negocio” en el cual van dispuestos los 9 módulos para iniciar el análisis del modelo de negocio.

Figura 1. Lienzo del Modelo de Negocio.



Fuente: Osterwalder & Pigneur, 2011, p. 18-19.

7.2.1.1 Descripción de cada módulo

Los siguientes son los módulos que Osterwalder (2011) amplía en su libro y que siguen el orden de construcción del lienzo para la construcción del análisis del modelo de negocio.

1. Segmentos del mercado:

Es considerado como los clientes o clientes potenciales a los cuales se les dirige el producto o servicio; se entiende entonces a los clientes como un conjunto dinámico para el cual el objetivo de la empresa siempre será adaptarse a sus necesidades con el fin de satisfacerlas de la mejor manera posible, pues son directamente el reporte positivo e ingresos para la empresa (Campos, 2016).

Dentro del módulo de segmentos del mercado, el autor Osterwalder propone diferentes ejemplos que recopilan conjuntos importantes, entre ellos se encuentran mercado de masas el cual es un modelo de negocio que se centran en el público general y no distinguen segmentos de mercado, nicho de mercado representado como un modelo de negocio que atiende segmentos específicos y especializados, mercado segmentado el genera una clasificación de clientes de acuerdo a sus necesidades, mercado diversificado los cuales atienden a más de un segmento de mercado sin que exista una relación entre ellos y plataformas multilaterales en donde se opera en más de un segmento priorizando clientes de acuerdo a sus necesidades (Osterwalder & Pigneur, 2011).

2. Propuesta de valor:

Tal como lo menciona Osterwalder (2011) éste módulo permite describir el conjunto de productos y servicios que crean valor para un segmento de mercado específico, por lo tanto ese conjunto es el que permite generar un lazo duradero entre la empresa y el cliente, entendido desde otro punto de vista como ventajas competitivas y responsabilidad empresa-cliente.

Al igual que los segmentos de mercado, Osterwalder (2011) define once elementos que contribuyen a la generación de valor para el cliente, los cuales son resumidos por Campos (2016) como: novedad (oferta inexistente con anterioridad), mejora del rendimiento, ajuste a las necesidades de los clientes, externalización de servicios, diseño, marca/ status (indicador de calidad), precio, reducción de costes (producir eficientemente), reducción de riesgos, accesibilidad (que el producto llegue a más personas) y comodidad.

3. *Canales:*

Los canales de comunicación, distribución y venta establecen el contacto entre la empresa y los clientes Osterwalder (2011). Dicho de otra manera es la forma como la empresa se comunica con los diferentes clientes (segmentos de mercado), con el fin de darles a conocer la propuesta de valor.

Dentro de las funcionalidades que comprenden los canales, Osterwalder (2011) las relaciona de la siguiente forma en cuanto empresa-cliente o cliente-empresa se refiere:

- Dar a conocer los productos y servicios de la empresa.
- Ayudar a los clientes a evaluar la propuesta de valor de la empresa.
- Permitir la libertad de compra de los clientes.
- Permitir la comunicación cliente-empresa para proporcionar la propuesta de valor.
- Ofrecer a los clientes la atención posventa.

4. *Relaciones con clientes:*

Las relaciones con los clientes plantean una importancia similar a la planteada por los canales, ya que es la forma de generar interés o desinterés del cliente frente a la propuesta de valor. Mediante la interacción y la relación que se establezca, la empresa define si aquella relación es personal o automatizada, para Osterwalder (2011) las relaciones pueden estar basadas en: captación de clientes, fidelización de clientes y estimulación de las ventas.

Así mismo, existen varias categorías de relaciones con el cliente manteniendo un segmento de mercado, Osterwalder (2011) define 6, siendo las siguientes y se pueden profundizar en su libro *Generación de Modelos de Negocio*.

- Asistencia personal
- Asistencia personal exclusiva
- Autoservicio
- Servicios automáticos
- Comunidades
- Creación colectiva

5. *Fuentes de ingresos:*

La fuente de ingresos hace referencia al flujo de caja relacionado con los diferentes segmentos de mercado en los que se encuentra la empresa. Así mismo un modelo de negocio puede tener dos tipos de fuentes de ingreso: 1. Son ingresos que se generan por transacciones derivadas de pagos puntuales por

parte de los clientes y 2. Ingresos recurrentes generados por pagos periódicos según sea la propuesta de valor o servicio (Osterwalder & Pigneur, 2011).

6. *Recursos clave:*

Los recursos clave son indispensables para la ejecución de las actividades para crear la propuesta de valor y así mismo a ofrecer a los clientes, creando relaciones dentro de un segmento de mercado y poder recibir ingresos. Dentro de las categorías de los recursos claves se encuentran físicos, intelectuales, humanos y económicos (Osterwalder & Pigneur, 2011).

7. *Actividades clave:*

Para Osterwalder (2011) éste módulo se refiere a las acciones que una empresa debe ejecutar para que su modelo de negocio funcione, de tal forma que se pueden clasificar de tres formas, como producción a aquellas actividades que se relacionan con el diseño, fabricación y entrega de producto, como resolución de problemas enfocada en resolver los problemas individuales de los clientes y por último plataformas/red que son aquellas donde el recurso clave es la plataforma (Osterwalder & Pigneur, 2011).

8. *Asociaciones clave:*

A lo largo del camino, una empresa necesita de asociaciones con el fin de optimizar sus modelos de negocio, reducir riesgos y/o adquirir recursos, es por ello que, Osterwalder (2011) habla de cuatro tipos de asociaciones: 1. Alianzas estratégicas entre empresas no competidoras, 2. Coopetición: asociación estratégica entre empresas competidoras, 3. Joint ventures (empresas conjuntas) para crear nuevos negocios, 4. Relaciones cliente-proveedor para garantizar la fiabilidad de los suministros.

9. *Costos:*

Éste módulo describe los costos principales que se deben asumir con un modelo de negocio específico, con el fin de mantenerse en el tiempo, iniciar y entregar la propuesta de valor a los clientes, es por eso que se deben tener en cuenta las dos amplias estructuras de costes: según costos y según valor; el primero con el objetivo de recortar los gastos en donde sea posible y el segundo se centra en que los costos del modelo de negocio sean una prioridad (Osterwalder & Pigneur, 2011).

Finalmente, como lo menciona Campos (2016) en su aplicación del modelo canvas para la creación y puesta en marcha de un negocio de comercio electrónico, la herramienta Canvas simplifica los pasos para la creación de un modelo de negocio rentable y sustentable en el tiempo junto a su propuesta de valor, y se mantiene bajo el objetivo de responder a las necesidades comerciales de la empresa o emprendimiento.

7.2.2 *Generalidades del aceite lubricante usado*

El aceite lubricante es un derivado del proceso de refinación del petróleo, está compuesta por mezclas de diferentes tipos de hidrocarburos con el fin de reducir la fricción de partes rodantes, proteger contra la corrosión y limpieza de piezas que lo requieran. Los aceites base están compuestos por hidrocarburos entre el 75% y el 85% de la composición total del producto. En su mayoría se obtiene a partir del proceso de refinación del petróleo, o se obtiene por medio de síntesis química que da a lugar a los aceites bases semi-sintéticos. En la tabla 1 se muestra la composición media de los hidrocarburos que conforman las base-aceite (MINAMBIENTE, 2014).

Tabla 1. Composición media de los hidrocarburos que conforman las bases de aceite.

Tipo de sustancia	Hidrocarburo	Composición
Parafinas	Alcanos	45-76%
Naftenos	Ciclo alcanos	13-45%
Aromáticos	Aromáticos	10-30%

Fuente: Martín Pantoja, José Luis. Tesis: La gestión de los aceites usados – Escuela de Negocios, España, 2008 Tomado de: Manual técnico para el manejo de aceite lubricante usados de origen automotor e industrial, MINAMBIENTE, 2014

Cualquier material que cumpla con esta descripción tiene que manejarse como aceite usado. Este aceite usado incluye los aceites sintéticos, el aceite de transmisión, el aceite de frenos y cualquier otro aceite o grasa lubricante. El aceite usado no incluye los productos derivados de grasas animales o vegetales. Después de su uso, el aceite mineral usado adquiere concentraciones elevadas de metales pesados producto principalmente del desgaste del motor o maquinaria que lubricó y por contacto con combustibles.

El aceite lubricante usado, es considerado como residuo peligroso en el Convenio de Basilea, estos contienen elementos contaminantes como el Bario, Calcio, Plomo, Magnesio, Zinc, Fósforo, Hierro, Cromo, Níquel, Aluminio, Cobre, Silicio, Azufre, Hidrocarburos livianos, PAH y agua; producto de aditivos detergentes, anti desgastantes y antioxidantes, desgaste de piezas, de motor, rodamientos, gasolinas plomadas, disolución de combustibles y combustión (MINAMBIENTE., 2014).

7.2.2.1 Características de los aceites usados

A medida del constante uso del aceite lubricante, este va acumulando diferentes contaminantes que degradan con el paso del tiempo lo cual va perdiendo las propiedades iniciales de aceite, por lo tanto, se hace necesaria la sustitución de éste por uno aceite nuevo. Las principales características para catalogar una muestra como aceite lubricante usado se presentan a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 2. Características típicas de los aceites usados

Características	Automotriz	Industrial
Viscosidad a 40°C, SSU	97-120	143-330
Gravedad a 15.6°C, °API	19-22	25.7-26.2
Peso específico a 15.6 °C	0.9396-0.8692	0.9002-0.8972
Agua, %vol.	0.2-33.8	0.1-4.6
Insolubles en benceno, %peso	0.1-4.2	0.0
Solubles en gasolina, %vol.	0.56-33.3	0.0
Punto de ignición, °C	78-220	157-179
Potencia calorífica, MJ/Kg	32.560-44.880	40.120-41.840

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Manual técnico para el manejo de aceites lubricantes usados de origen automotor industrial. 2 ed. Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014. p. 15

7.2.2.2 Tipos de aceites lubricantes

7.2.2.2.1 Lubricantes líquidos:

Son muy utilizados por la facilidad con que se manejan y aplican, por el extenso campo de cualidades que puedan producirse según sea el requerimiento, así mismo por su capacidad de eliminar el calor

desarrollado por el rozamiento y por su bajo costo de producción en comparación con otros lubricantes. Estos se subdividen en:

- *Lubricantes minerales*

Se obtienen por técnicas modernas de refinación simples. Las propiedades físicas de este aceite lubricante como la viscosidad y su comportamiento dependen grandemente de la distribución relativa de los componentes parafínicos, aromáticos y alicíclicos (Menéndez, A, 2004, p.24).

- *Lubricantes sintéticos*

Son obtenidos a partir del carbono por medio del gas síntesis, y poseen características como, ser químicamente inerte, ser resistente a la oxidación, no ser corrosivo ni tóxico, entre otros. Los hidrocarburos más utilizados como lubricantes sintéticos son los polímeros de: etileno, propileno, butileno (Menéndez, A. 2004, p.24).

7.2.2.2 Lubricantes sólidos

Son grasas o aceites espesados con un agente solidificante. Este lubricante disminuye los requerimientos de sellado, ya que al ser sólidos permanecen en el lugar de aplicación por un periodo de tiempo largo, estos se necesitan en menor proporción para el mantenimiento del equipo, debido a que sólo se aplican en la superficie de contacto y no fluyen a través de líneas para poder lubricar.

7.2.2.3 Clasificación de los aceites lubricantes, según la clasificación del Instituto Americano del Petróleo

Para la década de los años 70's la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (ASTM), el Instituto Americano del Petróleo (API) y la sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), cooperaron en la creación de un sistema de clasificación de aceites de motor según la severidad y el servicio.

Este sistema contiene dos grandes grupos, los cuales se distinguen entre, aceite de motores a gasolina y aceite de motores a diésel (SAE J183, 1993) (Menéndez, A, 2004, p.24).

Tabla 3. Evolución cronológica del aceite lubricante con su respectivo código

Código	Descripción
SA	Aceites minerales puros sin ningún tipo de aditivo. Recomendados para motores desgastados que queman gran cantidad de aceite.
SB	Aceites con mínimo control al desgaste para vehículos fabricados antes de 1963
SC	Aceites que controlan depósitos, desgaste, corrosión y herrumbre, para vehículos fabricados antes de 1971
SD	Aceite con características SC mejoradas, para vehículos fabricados antes de 1971
SE	Aceites con características SD mejoradas y particular control de oxidación y depósitos, con capacidad de drenado prolongado. Indicado para vehículos fabricados antes de 1979.
SF	Aceites con características SE mejoradas y particular control de oxidación, desgaste y depósitos, con capacidad de drenado prolongado. Recomendados para vehículos fabricados antes de 1989.

SG	Aceites con características SF mejoradas y particular control de lodos, depósitos y economía de combustible. Recomendado para vehículos fabricados antes de 1994
SH	Aceites con características SG mejoradas gracias a criterios más estrictos de clasificación. Recomendables para vehículos fabricados a partir de 1994, pudiendo sustituir los niveles precedentes

Fuente: Paz,A, 2004, p.24

Tabla 3. Evolución cronológica del aceite lubricante con su respectivo código.

Código	Descripción
CA	Aceites para tipo de servicio liviano con combustible de alta calidad. Fueron ampliamente recomendados en las décadas de los 40 y 50.
CB	Aceites para tipo de servicio liviano/moderado y uso de combustible de baja calidad. Fueron introducidos en el mercado en 1949.
CC	Aceites para tipo de servicio moderado a severo. Introducidos en 1961.
CD	Aceites indicados para controlar desgaste y depósitos, y cuando se use combustible con alto contenido de azufre. Introducidos en 1965.

CD II	Servicio típico para motores diesel de dos tipos cuando se requiere controlar desgaste y depósitos. También cumplen con los requerimientos de un API CD
CE	Aceites para servicios de baja velocidad- alta carga y alta velocidad-alta carga. Recomendados para ciertos motores diesel turbocargados o sobre alimentos fabricados desde 1983.
CF-4	Servicio típico para motores de cuatro tiempos de alta velocidad. Excede los requerimientos del CE, particularmente en lo referente a consumo de aceite y formación de depósitos en el pistón. Se recomienda para ciertos motores diesel fabricados a partir de 1990
CF-2	Servicio típico para motores de dos tiempos que requieren un efectivo control del desgaste y depósitos.
CG-4	Vigente desde 1995, tuvo su origen en las regulaciones impuestas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Su fin es relacionar la calidad del lubricante con el nivel de emisiones a la atmósfera.

Fuente: Menéndez, A, 2004, p.24

La primera letra que aparece en la tabla 3, la letra S proviene de la palabra en inglés “service” que tiene en cuenta las estaciones de servicio, garajes, y casas automotrices. Por otro lado, la letra C da una traducción en inglés de “Commercial” el cual abarca flotas, contratistas, entre otros.

La segunda letra aparecida es la evolución en orden alfabético de los grados de clasificación que se han venido desarrollando de forma cronológica, siendo mayores los requerimientos por calidad a medida que progresa la letra del alfabeto.

7.2.2.4 Propiedades de los aceites lubricantes

·Color:

Este factor se asocia directamente al estado del aceite, donde el color indica la degradación o contaminación a la que ha sido sometido el lubricante a lo largo de su función en el motor. Para un aceite lubricante nuevo los colores oscuros o turbios indican una defectuosa o mala purificación en el proceso de refinación. Sin embargo, el grado de pureza se puede dar mediante un recipiente transparente, con el fin de observar qué características físicas posee el lubricante. (Paz,A, p.31))

·Densidad:

Esta propiedad se relaciona con la naturaleza, origen del crudo y el punto de destilación, para fracciones equivalentes los aceites parafínicos son de menor densidad y los aromáticos de mayor valor. La densidad de los aceites lubricantes oscila entre los 0,8-0,9 siendo menores que la unidad, por lo tanto, es menor que la densidad del agua. Este es un factor que puede incidir a la hora de su comercialización y posterior tratamiento.

·Viscosidad:

Esta propiedad es una de las más importantes para un lubricante, ya que es la resistencia de un líquido a fluir, dependiendo de sus fuerzas intermoleculares que ahondan dentro del lubricante. Está se ve afectada por las condiciones ambientales, como la presión, temperatura y por último la presencia de aditivos que componen la sustancia (Créspin, M., 2015)

·Punto de inflamación:

Se determina a la mínima temperatura a la cual desprende vapores inflamables que tienen acción en presencia de llama o punto incandescente. Este valor debe ser lo más alto posible teniendo en cuenta que el aceite lubricante trabaja a temperaturas elevadas al estar en contacto con el motor.

·Punto de combustión:

Si se sobrepasa el punto de inflamación de la sustancia, el aceite se incendiará de modo permanente y arderá por tiempo corto.

·Estabilidad química:

La sustancia se encuentra constantemente en movimiento, producto de esto arrastra las partículas formadas por el desgaste propio de las piezas y se contamina con partículas de polvo, agua, combustible, entre otro. Por esta razón debe tener una gran estabilidad química para resistir la degradación y la formación de subproductos.

7.2.2.5 Métodos de aprovechamiento y valorización del aceite lubricante usado

Los aceites lubricantes usados pueden ser usados como una alternativa energética mediante el suministro de combustible para la industria, en cuanto a la valorización de este considerado RESPEL, se puede aprovechar mediante la re-refinación que es entendido como el conjunto de procesos que permiten obtener las propiedades iniciales del lubricante obtenido.

Según las cifras de la EPA, con 3 litros de aceite usado se obtienen 2 de aceite nuevo. Para poder obtener la misma cantidad a partir de petróleo hacen falta aproximadamente 100 litros. Con 100 litros de aceite usado podríamos generar casi 67 litros de un nuevo aceite, casi 33 veces más que directamente del petróleo, estas cifras claramente apuntan a la recuperación y reciclaje. (Moya, L., 2010, pp. 18)

Los aceites lubricantes usados pueden usarse mediante aprovechamiento energético, como combustible, en procesos productivos de cemento y en el cual se garantice, tanto la destrucción de los componentes orgánicos presentes en el aceite lubricante usado como la encapsulación de los componentes inorgánicos ya inertes al Clinker (Plazas, L., 2011, pp. 15). Ahora bien, existen dos métodos de recuperación de aceites lubricantes, los cuales son, reacondicionamiento y re-refinación (Cuervo & Valdiri, 2019).

7.2.2.5.1 Métodos de reacondicionamiento

Consisten en la extracción de impurezas, partículas en suspensión y otros compuestos del aceite lubricante usado. Entre estos métodos, se destacan la filtración, separación magnética y deshidratación en vacío (Cuervo & Valdiri, 2019).

Filtración

La finalidad del filtrado es la separación del líquido de los sólidos suspendidos en él. Para asegurar que la filtración se dé de manera efectiva se hace necesaria una buena selección del medio filtrante, este se selecciona de manera específica o con afinidad al medio que se quiera separar. Una variable importante en este proceso es la temperatura, ya que un aumento en la temperatura del fluido disminuye su viscosidad lo que facilita el proceso de filtración (Cuervo & Valdiri, 2019, p.39).

Separación magnética

Este proceso es utilizado para la extracción de partículas metálicas del aceite lubricante usado. Para este proceso se utilizan dos tipos de extractores magnéticos que puede ser un cilindro con una rejilla, o con un cilindro rotatorio (Cuervo & Valdiri, 2019, p.39).

Deshidratación en vacío

Es un proceso en cual se busca separar del aceite el agua otras impurezas como solventes o gases disueltos mediante destilación en vacío. Este proceso se puede complementar de cierta forma con procesos de separación debido a la inmiscibilidad del agua en el aceite (Cuervo & Valdiri, 2019, p.40).

Separación centrífuga

El aceite usado es sometido a una fuerza centrífuga con el fin de precipitar de una manera más rápida y efectiva los sólidos suspendidos, esto gracias al aumento de la aceleración. Para facilitar la separación se necesita un aumento de temperatura, ya que con este disminuirá la viscosidad (Cuervo & Valdiri, 2019, p.40).

Destilación e hidrotratamiento

El aceite usado es destilado en una columna de alto vacío, como es de esperarse las impurezas saldrán por el fondo de la columna, las cuales se extraerán después. El aceite posteriormente se llevará a un reactor donde se calentará para fraccionarlo en las distintas partes de del lubricante (Cuervo & Valdiri, 2019, p.40).

7.2.2.5.2 Re-refinación

Este método se emplea cuando el aceite comprende una mayor presencia de contaminantes y por esta razón los diferentes procesos de reacondicionamiento no son los ideales para el caso. Estos procesos remueven en gran parte la concentración de contaminantes, pero de igual manera pueden remover productos solubles, ácidos en sus diferentes composiciones, entre otros. Entre los diferentes métodos de re-refinación, se encuentran extracción por solvente, ácido-arcilla, arcilla, tratamiento por absorbente, destilación e hidrotreamiento.

Extracción por solvente

Esta técnica es uno de los procesos más económicos y eficientes en la recuperación de aceites usados. Presenta ventajas frente al proceso de ácido arcilla puesto que produce un lodo orgánico útil y no un lodo tóxico como lo es el residuo del de ácido arcilla. Con este proceso se logra remover entre un 10 a 14% del aceite usado como contaminante, lo que corresponde a los aditivos e impurezas presentes en el aceite. El aceite pasa primeramente por un proceso de sedimentación con el fin de sedimentar partículas grandes, luego se adiciona un solvente para retener los aditivos y las impurezas orgánicas que se encuentran en los aceites usados (Cuervo & Valdiri, 2019, p.41).

Proceso ácido-arcilla

El aceite usado se somete a evaporación de aquellos productos ligeros como agua e hidrocarburos de rango gasolina. Después de esta etapa previa la carga se trata con ácido sulfúrico dando un rendimiento de un 85% aproximadamente en relación con el producto tratado, el resto es un desecho aceitoso y ácido. Para mejorar su color y acidez, el producto obtenido después del tratamiento ácido es filtrado con arcilla y cal. En la filtración también se obtiene un desecho con una composición de 3-4% de una mezcla de aceite ácido y arcilla. Este proceso tiene un rendimiento global del 70% en peso de la carga de aceite (Moya, L., 2010, p. 18).

Proceso con arcilla

El proceso consta de un reactor donde se mezclan los aceites lubricantes usados a tratar con una mezcla de arcillas. Dicha mezcla de lleva a unas temperaturas de 80°C a 200°C. Las temperaturas no deben ser excesivamente altas para evitar o minimizar el “cracking” de los aceites lubricantes en la mezcla. La mezcla arcilla lubricante se mantiene con agitación en el reactor un tiempo determinado favoreciendo así la transferencia de impurezas.

Las repercusiones ambientales que se tienen en el proceso son las arcillas contaminadas, al igual que en el proceso anterior, además de filtros con arcilla contaminada adherida. Todos estos residuos deberán ser sometidos a diferentes tratamientos, siempre que se dispongan de tecnología, recuperación, reciclado o incluso deposición en vertedero autorizado de residuos peligrosos o no peligrosos en función de sus características (Moya, L., 2010, p. 19).

Adsorción e intercambio iónico

Este método se utiliza para remover metales pesados del aceite. El proceso consiste es hacer pasar el aceite por una torre de adsorción que contenga en su interior un sólido adsorbente. El intercambio iónico se realiza mediante un sólido insoluble, el cual permite remover iones de carga positiva o negativa agregando una carga similar o equivalente en el aceite usado (Cuervo & Valdiri, 2019, p.41).

7.2.3 Impacto ambiental de los aceites lubricantes usados

De acuerdo con la normatividad internacional y nacional, los aceites lubricantes son residuos peligrosos debido sus características toxicológicas y de baja biodegradabilidad, que presentan un alto grado de afectación a las dinámicas ambientales debido a su mala disposición, generando contaminación en afluentes, contaminación del aire por combustiones ilegales y contaminación en el suelo por sus características fisicoquímicas.

Dentro de los principales factores contaminantes relacionados con el agua, el suelo, el aire y la salud, Cuervo & Valdiri (2019) afirman:

Contaminación del agua: El proceso de biodegradación y disolución de los aceites puede tardar entre 10 y 15 años para su eliminación. Los aceites forman en el agua finas películas impermeables que separan las fases entre el aire y el agua, impidiendo que el oxígeno contenido en la atmósfera se disuelva en el cuerpo hídrico, afectando el desarrollo de la vida acuática, pues provoca la muerte de organismos aerobios. Igualmente, al diluirse el aceite en el agua se extienden los productos tóxicos que contienen generando así una intoxicación directa o indirecta de organismos que puedan ingerir el agua contaminada. Se ha demostrado que 1L de aceite contamina 1.000.000 litros de agua y que concentraciones de 1 mg/L de aceite usado en agua hace que el agua sea inapropiada para el consumo humano. (Cuervo & Valdiri, 2019, p.37)

Contaminación de suelos: A la contaminación de fuentes hídricas se suma la contaminación de suelos, ya que la lenta degradación de los hidrocarburos saturados contenidos en aceites usados, al igual que en el agua, genera una película impermeable que impide el normal desarrollo de la actividad biológica y química del suelo destruyendo la vegetación y por lo tanto la fertilidad del suelo (Cuervo & Valdiri, 2019, p.37).

Contaminación del aire: Se presentan graves impactos en el aire generados por la incineración de aceites usados, en donde la combustión es el principal método de eliminación de estos aceites. Por otra parte, los aceites usados son mezclados con combustible u otros aceites en concentraciones mayores que las permitidas y son utilizadas como combustibles para hornos y calderas. La quema inadecuada es altamente nociva ya que la incineración de 5L de aceite usado puede provocar la contaminación del aire que respira una persona en 3 años (Cuervo & Valdiri, 2019, p.37).

Impactos en la salud: En Colombia se generan el promedio 10.527 muertes relacionadas con la contaminación del aire. Su impacto radica en la concentración de material particulado con tamaño menor a 2,5 micras, en donde este microscópico material es nocivo para la salud, puesto que el organismo no tiene la capacidad de evitar que estas micropartículas lleguen directamente a los pulmones y al torrente sanguíneo. Entre los efectos conocidos de los componentes de los aceites usados está el asma, la bronquitis, efectos tóxicos en los riñones y los pulmones, así como efectos cancerígenos (Cuervo & Valdiri, 2019, p.38).

7.3 Estado del arte

Los procesos de tratamiento de aceites automotriz han sido durante los últimos tiempos una alternativa de reutilización de dicha materia prima, para su posterior reincorporación dentro de alguna cadena productiva, ya que esto representa a las empresas un valor agregado bastante importante en términos económicos, como también, la reducción de costos y el valor adicional de volver a reutilizar el aceite, que se convierte en la industria una alternativa bastante llamativa para este sector automotriz. En la siguiente tabla se recopilan los trabajos más relevantes en torno al aprovechamiento de los aceites automotores usados y sus diferentes alternativas de re-refinación del aceite lubricante usado.

Tabla 4. Recopilación de investigaciones relacionadas con el tratamiento de aceite lubricante usado.

N°	Año	Tema de investigación	Resultados	Cita
1	2007	La industria de la re-refinación de aceite mineral usado en Argentina	Durante la refinación del petróleo se producen bases de lubricantes, las cuales deben cumplir en forma muy estricta con el rango de viscosidad que las caracteriza. La materia prima para obtener las bases de lubricantes es el residuo de la destilación atmosférica del petróleo, el cual se re-distila a condiciones de vacío para generar cortes específicos que se denominan: especialidades, neutro ligero y neutro, generando además en otro proceso de desasfaltización del residuo de vacío por extracción con solventes, cortes adicionales que se denominan: neutro pesado, pesado y cilindros.	Gómez et al., (2007)
2	2007	Combustibles alternativos a partir de aceites usados con tratamientos de limpieza	Se compara de manera cuantitativa y experimental los aceites usados con diferentes grados de limpieza. Por medio de la característica de poder calorífico, con el fin de corroborar la viabilidad en el aprovechamiento de este residuo como fuente de energía en nuevos procesos.	(Delgado, D., Parra, J., Aguilar, L., Guevara, D., Novoa, J. 2007)

3	2009	Used lubricating oil management options based on life cycle thinking	Se evaluaron seis escenarios de gestión para la gestión de aceite lubricante usado por sus impactos ambientales basados en el enfoque del ciclo de vida. Dos de ellos, es decir, la arcilla ácida y la extracción con disolventes son los procesos de tratamiento para la recuperación de ALU y el producto principal de estos procesos es el aceite usado reciclado.	(Kanokkantung, V., et al. 2009. pp 294-299)
4	2013	Gestión integral del aceite automotor reciclable en cuenca	Se elaboró un manual de procedimientos que permite conocer objetivos, alcances, definición de responsables, elementos y condiciones necesarias para las distintas actividades del sistema de gestión. El sistema de Gestión integral incluye el manejo del aceite usados desde la generación hasta su procesamiento y/o disposición final, cumpliendo criterios que se armonicen con legislación, las buenas prácticas ambientales y al aprovechamiento energético de los residuos como estos.	(Vázquez, J., 2013)
5	2013	Re-refining of used lube oil, I- by solvent extraction and vacuum distillation followed by hydrotreating	Las diferentes técnicas para la re-refinación de aceite han dado resultados positivos en cuanto a la recuperación de estos, sin embargo, el tratamiento físico por destilación y la evaporación de película delgada y la extracción con solvente. Además, el aceite residual de proceso puede convertirse en aceite de pirólisis. Estas técnicas tienen diferentes rendimientos y calidades de producto, construcción y costo operacional. Dado que el tratamiento químico crea problemas ambientales, por lo tanto, la extracción con solvente se propuso como un método alternativo.	(Eman, E., Shoab, A., 2013. pp 179-187)

6	2014	Proyecto de reciclaje de aceites usados en empresas automotrices del distrito de Cajamarca bajo un enfoque de buenas prácticas del PMI	Se diseñó una propuesta de gestión integral y proyecto de reciclaje de aceite para las empresas automotrices del distrito de Cajamarca, se recopiló las buenas prácticas de la gestión de proyectos. Se observó y analizó los usos y destinos del aceite desde la recolección hasta el reciclaje, esto permitió describir los procesos y procedimientos para la propuesta integral, se comparó entre diversas tecnologías de reciclaje de aceite, esta fue la base para el desarrollo del perfil de proyecto	(Cuipa, V., 2014)
7	2014	Diseño de una planta industrial para la re-refinación de aceites lubricantes usados en el distrito de Chilca	En el desarrollo de este proyecto se llevan a cabo actividades conjuntas de investigación de proceso productivo, análisis del mercado, análisis de tecnologías existentes orientadas a optimizar la calidad del producto de aceites lubricantes re-refinadas, ampliar la demanda nacional y satisfacción de los clientes.	(Sánchez,A., 2014)
8	2015	Propuesta para la creación de una planta de regeneración de aceites usados de vehículos para elaborar bases lubricantes	Este proyecto inicializará la regeneración y reutilización de “desechos” que se obtienen a partir de un producto terminado; en este caso, el aceite usado en vehículos. El producto, la base lubricante ya regenerada, adoptará el nombre de “Olie”, y la calidad del mismo, una vez que ha pasado el tratamiento de regeneración, gracias a todos los factores físico químicos a los que se va a someter, tendrá un 95 % de similitud al lubricante que se utilizó antes de refinarlo.	(Crespin, S., 2015)
9	2017	Caracterización físico-química de aceites de motor usados para su reciclaje.	En esta investigación se presentó la caracterización físico-química de aceites usados de motor de una muestra de empresas del sector industrial de Mamonal de la ciudad de Cartagena. Características más relevantes tenidas en cuenta en el estudio, fueron: densidad, porcentaje de humedad, viscosidad, metales en suspensión y poder calorífico superior. A	(Silva, W., Bolaños, E., Tovar, C. 2017 pp 135-144)

10	2017	Recycling of used lubricating oil: Evaluation of environmental and energy performance by LCA	Los aceites lubricantes usados (ALU) representan un grave problema para el medio ambiente y la salud humana debido a la presencia de contaminantes altamente dañinos, siendo obligatorio un manejo adecuado basado en sistemas de recolección y procesos de tratamiento eficientes. En este trabajo, se evalúa el desempeño ambiental y energético de un proceso de refinación para la actualización de los ALU.	(Botas, J., Moreno, J., Serrano, D. 2017 pp 315-323).
11	2018	Recycling of used engine oil by different solvent	La refinación de aceites lubricantes a partir de aceite lubricante de desecho se examinó utilizando una nueva mezcla de solvente extracción y adsorbente de alúmina activada.	(Osman, D., Attia, S., Taman, A. 2018. pp 221-225)
12	2018	Some aspects of the regeneration of used motor oil	La investigación investiga el efecto de diferentes alcoholes utilizados en el tratamiento ácido del aceite de motor usado y la influencia del tratamiento de blanqueo en las propiedades del aceite regenerado. Los aceites de motor usados están contaminados por contaminantes e impurezas resultantes de procesos de oxidación indeseables: sedimentos, agua, partículas metálicas y aditivos degradados.	(Stan, C., Andreescu, C., Toma, M. 2018 pp 709-713)

Fuente: Autores

Los autores consultados coinciden en el valor agregado de incorporar ese residuo en una nueva cadena productiva, dejando a un lado la perspectiva de que este sea un potencial residuo peligroso y como ventaja sea un sustituto de materia prima para la reconversión de aceites lubricantes automotores. Según Gómez et al. (2007) el proceso de re-refinación de aceite mineral usado se obtienen tres tipos de productos diferentes, aptos para su posterior comercialización, como lo son el aceite base lubricante, el fuel oil, y un tipo de aceite liviano que puede ser aprovechado como insumo eléctrico implementado dentro de la cadena de prolongación de la vida útil del aceite lubricante usado.

Para el aprovechamiento de aceite usado según (Sánchez, L., 2014) hay 7 tecnologías diferentes las cuales son aptas y demostradas experimentalmente su validez, las cuales las más destacadas por su eficiencia en la remoción de contaminantes y la generación de residuos peligrosos adicionales. El método ácido-

arcilla, es uno de los óptimos, el cual pasa por una serie de filtros que le permiten remover contaminantes presentes en los aceites lubricantes, como los metales pesados, el hollín, entre otros; este método tiene un rendimiento global de 70% en peso de la carga de aceite. Sin embargo, este método es uno de los que más repercusiones a nivel ambiental tiene, ya que los residuos peligrosos que generan requieren de un tratamiento especial (Chuqui, M. Romero, J., 2017).

El método que mayor rentabilidad tiene a nivel económico y ambiental es el de extracción con propano líquido ya que al tener una eficiencia del 80% del aceite regenerado, adicional a esto se puede comercializar un componente asfáltico y por último un combustible ligero que puede ser abastecido a la misma plata como un aporte energético, y como posible residuos no deseado se obtiene un agua producto de la destilación del aceite lubricante, esta se puede separar y enviar a un gestor autorizado para su respectivo tratamiento (Chuqui, M. Romero, J., 2017).

7.4 Marco normativo

En el territorio colombiano a lo largo de su historia se han establecido un conjunto de leyes con relación a gestión integral del aceite lubricante usado como un RESPEL. A continuación, se relaciona el marco legal aplicable al desarrollo del proyecto:

Tabla 5. Marco legal del proyecto.

Nombre norma	Fecha	Articulo	Descripción
Decreto 4741	2005	Artículo 8, párrafo 3	El generador de un residuo o desecho peligroso debe actualizar la caracterización de sus residuos o desechos peligrosos, particularmente si se presentan cambios en el proceso que genera el residuo en cuestión; esos cambios pueden incluir, entre otros, variaciones en los insumos y variaciones en las condiciones de operación.

		<p>Artículo 10</p>	<p>El generador debe garantizar la gestión y manejo integral de los residuos o desechos peligrosos que genera; elaborar un plan de gestión integral de los residuos o desechos peligrosos; identificar las características de peligrosidad de cada uno de los residuos o desechos peligrosos; registrarse ante la Autoridad Ambiental competente; capacitar al personal encargado de la gestión y el manejo; contar con un plan de contingencia actualizado; conservar las certificaciones de almacenamiento, aprovechamiento, tratamiento o disposición final que emitan los respectivos receptores, hasta por un tiempo de 5 años; tomar todas las medidas de carácter preventivo o de control previas al cese, cierre, clausura o desmantelamiento de su actividad.</p>
		<p>Artículo 14</p>	<p>Se debe garantizar el manejo seguro y responsable de los envases, empaques, embalajes y residuos del producto o sustancia química con propiedad peligrosa; así mismo, declarar a los consumidores y a los receptores el contenido químico o biológico de los residuos o desechos peligrosos que su producto o sustancia pueda generar</p>
		<p>Artículo 17</p>	<p>El receptor debe tramitar y obtener las licencias, permisos y autorizaciones de carácter ambiental a que haya lugar; brindar un manejo seguro y ambientalmente adecuado de los residuos o desechos recibidos; expedir al generador una certificación; indicar en su publicidad el tipo de actividad y tipo de residuos o desechos peligrosos que está autorizado a manejar; contar con un plan de contingencia actualizado; tomar todas las medidas de carácter preventivo o de control previas al cese, cierre, clausura o desmantelamiento de su actividad.</p>
		<p>Artículo 19</p>	<p>El responsable de la contaminación de un sitio por efecto de un manejo o una gestión inadecuada de residuos o desechos peligrosos, estará obligado entre otros, a diagnosticar, remediar y reparar el daño causado a la salud y el ambiente.</p>

		Artículo 28	Los generadores de residuos o desechos peligrosos están obligados a inscribirse en el Registro de Generadores de la Autoridad Ambiental competente de su jurisdicción, de acuerdo con la categorías y plazos establecidos y reglamentados mediante la Resolución 1362 de 2007 por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del Decreto 4741 de 2005.
Resolución 1446	2005	Artículo 2	Establece los requisitos y condiciones para aprovechar el aceite de desecho o usado generado en el país, como combustible.
		Artículo 3	El tratador de aceites de desecho o usados deberá realizar cada cuatro meses la caracterización del aceite usado tratado o sin tratar según el caso, y archivar hasta por 3 años los resultados de los análisis de laboratorio.
Resolución 909	2008	Artículo 102	Establece los residuos permitidos mediante tratamiento térmico en instalaciones de incineración de residuos y/o desechos peligrosos que realicen coprocesamiento como: -Residuos de aditivos de aceites lubricantes
Ley 1252	2008	Artículo 2	Se deben diseñar planes, sistemas y procesos adecuados, limpios y eficientes de tratamiento, almacenamiento, transporte, reutilización y disposición final de residuos peligrosos que propendan al cuidado de la salud humana y el ambiente; implementar estrategias y acciones para sustituir los procesos de producción contaminantes por procesos limpios; y aprovechar al máximo los residuos peligrosos susceptibles de ser devueltos al ciclo productivo como materia prima.
		Artículo 15	La utilización de residuos de hidrocarburos, entre los cuales se encuentran los aceites lubricantes de desecho para la generación de energía, solo se permitirá si son generados en el país y con el cumplimiento de las condiciones y requisitos establecidos por las autoridades competentes. El Gobierno Nacional establecerá mecanismos que permitan impulsar la utilización de este tipo de tecnologías y su respectiva reglamentación.

Decreto 2820	2010	Artículo 9 numeral 10	Necesidad de obtener licencia ambiental para la construcción y operación de instalaciones cuyo objeto sea el almacenamiento, aprovechamiento, recuperación y/o disposición final de residuos o desechos peligrosos.
NTC 5995	2013		Esta norma establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben someterse las bases lubricantes re-refinadas que se comercialicen en Colombia, obtenidas a partir de aceites lubricantes usados, y que van a usarse como materia prima en la elaboración de aceites y grasas lubricantes.
Programa Regional de Negocio Verdes	2014		Definir los lineamientos y proporcionar herramientas para la planificación y la toma de decisiones que permitan el desarrollo y el fomento de los Negocios Verdes y sostenibles, de acuerdo con las potencialidades y ventajas competitivas regionales, generando crecimiento económico y social y promoviendo la conservación de los recursos naturales.
Manual Técnico para el Manejo de Aceites Lubricantes Usados de origen automotor e industrial. 2da ed.	2014		Es el resultado del diagnóstico sobre generación y manejo de aceites usados, realizado a través de consulta a diferentes actores, autoridades ambientales y demás entidades estatales involucradas en la gestión de los aceites usados, sumado a la evaluación jurídica que se hizo de la normativa y a la revisión bibliográfica realizada a nivel nacional e internacional, se elaboró este manual, que brinda los lineamientos técnicos correspondientes al manejo de los aceites usados tanto para el sector automotor como para el industrial en las etapas de generación, almacenamiento, transporte, tratamiento, aprovechamiento y, valorización.
Plan Nacional de Negocios Verdes	2014		Esta Política articula la oferta (producción) y la demanda (consumo) del mercado y busca impulsar el crecimiento económico por medio de una mayor eficiencia en la utilización de los recursos naturales y un uso sostenible de la biodiversidad. Este cambio –la inclusión de la demanda en la política– es fundamental para entender el mercado de bienes y servicios sostenibles, pues se utiliza el poder del mercado para generar beneficios sociales y ambientales.

Proyecto de ley cámara	2017	Artículo 5	Se prohíbe cualquier vertido de aceites usados o contaminados en el suelo, aguas superficiales, aguas subterráneas, el mar territorial o en los sistemas de alcantarillado o de eliminación de aguas residuales. Así mismo se prohíbe acumular residuos de aceites mezclados con otras sustancias, cualquiera sea la naturaleza y lugar en que se depositen, que constituyan o puedan constituir un peligro de contaminación del suelo, de las aguas superficiales y subterráneas o pueda causar daño a los conductos subterráneos o al ambiente de las ciudades objeto de la presente ley. Dichos residuos deberán ser recolectados, transportados, tratados y dispuestos fuera de sus establecimientos, por un Recolector debidamente autorizado por la entidad ambiental competente.
CONPES 3934	2018		Por medio de esta política se busca fomentar el crecimiento económico y el desarrollo al tiempo que se garantiza que los activos naturales continúen proporcionando los recursos y servicios ambientales que hacen posible el bienestar humano.
CONPES 3918	2018		Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia
Estrategia Nacional de Economía Circular	2019		Cuyo objetivo es fortalecer el modelo de desarrollo sostenible del país, orientándose a la eficiencia de flujos de materiales y energía, la innovación tecnológica, la generación de colaboraciones y alianzas y de nuevos modelos de negocio, que permitan el cierre de ciclos de materiales, agua y energía.

Fuente: Autores

7.4 Marco Institucional

7.4.1 EMIR S.A. E.S.P.

Es una empresa localizada a 8 Km del casco urbano de la ciudad de Sogamoso específicamente en la Vereda San José de Porvenir, cuenta con un área de 16.700 m²; limita al Norte con: Acerías Paz de Río y celda de seguridad de la Empresa Siderúrgica Nacional SIDENAL, al Sur: Vereda Morca y predios de COSERVICIOS, al Occidente: Compañía de Servicios Públicos de Sogamoso COSERVICIOS -. Relleno Sanitario Terrazas El Porvenir y al Oriente con Tópage- Arenera ARCOS. En la actualidad posee más de

300 clientes distribuidos en más de 45 municipios, llegando a las 11 provincias del departamento de Boyacá.

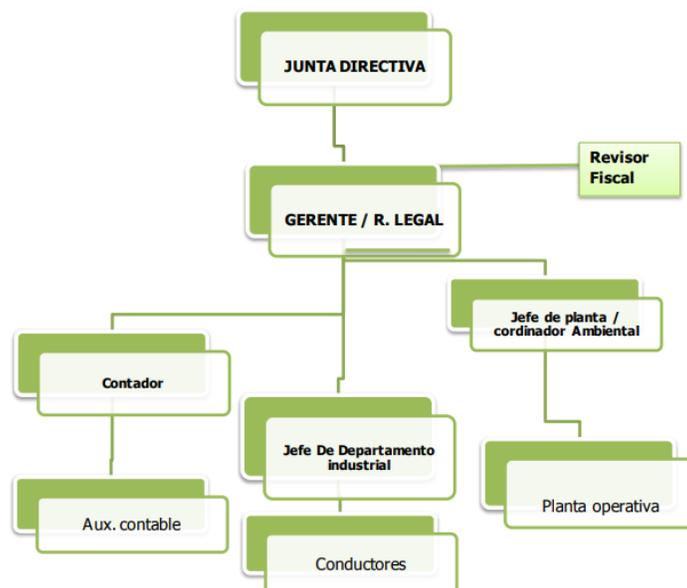
EMIR S.A. E.S.P. Cuenta con licencia ambiental mediante la Resolución # 1406 del 27 de octubre de 2009 por parte de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá “CORPOBOYACÁ”, para la realización e implementación de las actividades en lo pertinente a la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares.

Figura 2. Localización de la empresa EMIR S.A E.S.P.



Fuente: Google Earth, 2019

Figura 3. Organigrama de la empresa EMIR S.A E.S.P



Fuente: Autores

7.4.2 Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), TecnoParque Colombia

Es una entidad del estado adscrita al ministerio de educación, en el cual actualmente se benefician más de un millón de colombianos técnicos en diferentes áreas del conocimiento; esta entidad también ofrece diferentes proyectos para atraer ideas más innovadoras a los jóvenes en Colombia, como lo es el programa de TecnoParque Colombia, en el cual este proyecto se vio beneficiado con el préstamo de un laboratorio para desarrollar el componente experimental del proyecto además del acompañamiento profesional de la Doctora Ana María Gómez, asignada como tutora luego del proceso de selección para iniciar con el proceso experimental e investigativo (Ver Anexo 5)

Gestor de investigación: Ana María Gómez Ortiz

Formación académica:

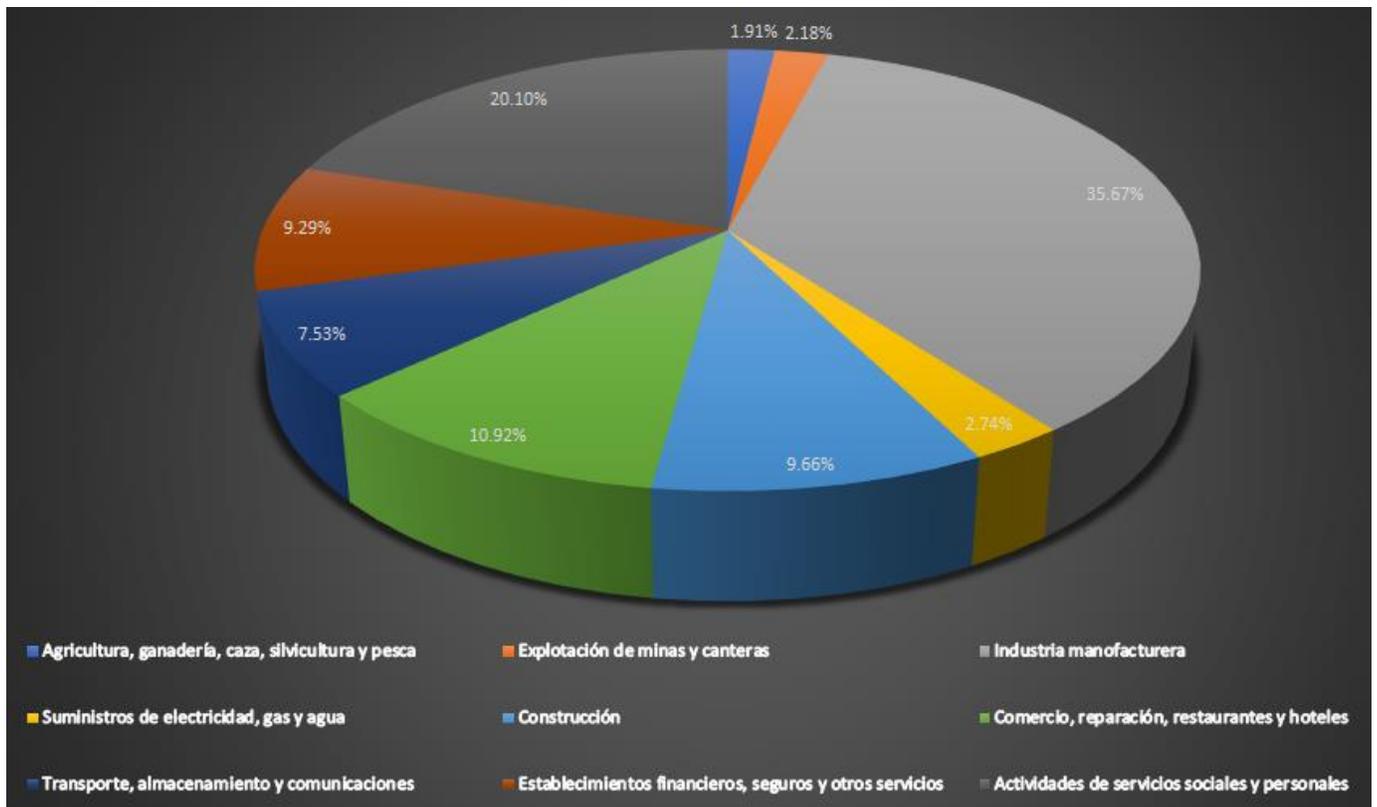
- Maestría - MAESTRÍA EN QUÍMICA AMBIENTAL - Graduado
- Profesional - QUÍMICA - Graduado
- Básica secundaria
- Estudio en el Exterior - Doctorado en Ciencias Agrarias - Graduado
- Estudio en el Exterior - Máster en Química Sostenible - Graduado

7.5 Marco geográfico

Sogamoso es una ciudad colombiana situada en el centro-oriente del departamento de Boyacá, está a 210 km² al noreste de Bogotá, la capital del país y a 74.6 Km de Tunja la capital del departamento. Es la capital y ciudad principal de la Provincia de Sugamuxi en la región del Alto Chicamocha localizándose a 2.569 m de altitud sobre el nivel del mar con temperaturas promedio de 17 °C.7. Según la DNP este

municipio pertenece a la categoría de ciudad ‘robusta’ ya que tiene una extensión de 214 Km2 y su población actual para el año 2019 es de 111.799 habitantes, donde el 88.1% vive en zona urbana y el 11.9% es para la zona rural. Según un estudio de la cámara de comercio de Sogamoso el municipio ha tenido un crecimiento importante en cuanto a diferentes sectores productivos que representan la mayor economía en este municipio. (Cámara de Comercio Sogamoso., 2019)

Figura 4. Porcentaje del valor agregado municipal para grandes ramas de la actividad económica.



Fuente: Departamento Nacional de Planeación, 2018.

Esta figura se observa que el sector que mayor importancia tiene es el manufacturero con un 35.67%, sin embargo se ha visto que los sectores tales como el comercio, reparación, y hotelería (10.92%) ha tenido un crecimiento importante a lo largo de los años, así mismo el sector de transporte y almacenamiento y comunicaciones ha tenido un incremento en la creación de organizaciones afines a esta actividad productiva, lo que indica que las nuevas empresas están teniendo mayores ingresos y que a medida del tiempo se van consolidando en el mercado (Cámara de Comercio Sogamoso, 2019).

8. Metodología

El presente trabajo de investigación se realizó mediante un enfoque mixto, ya que tiene inmerso el enfoque cualitativo y el enfoque cuantitativo. Inicialmente el enfoque cualitativo se realizó para el desarrollo del primer objetivo, realizando una recolección de datos y su respectivo análisis, con el fin de generar una contextualización del ambiente, que para este caso en específico fue el entorno de negocio permitiendo responder el interrogante de viabilidad de la apertura de un nuevo portafolio para la comercialización de Base Lubricante en la empresa EMIR S.A E.S.P. (Hernández Sampieri, Fernández y Baptista, 2014). Por su parte, el enfoque cuantitativo se encuentra enmarcado en los siguientes dos objetivos específicos, pues mediante la asignación de puntuaciones numéricas y análisis numérico se permitió elegir una metodología o tratamiento con mayor representación económica, ecológica y social, para luego iniciar con los procesos de laboratorio correspondiente al resultado arrojado por el análisis de alternativas; lo anterior respondiendo a las características que posee el enfoque cuantitativo, según Sampieri (2014) representado en el conjunto de procesos secuenciales con el fin de determinar experimentalmente la producción de Base Lubricante en laboratorio y para posteriormente establecer la propuesta de aprovechamiento de aceite lubricante usado.

Con respecto al alcance que le compete al presente trabajo, se relaciona con el alcance descriptivo ya que buscó especificar los comportamientos y características dentro del fenómeno económico a partir la herramienta de análisis estratégico Canvas, dentro del área de estudio en el municipio de Sogamoso, teniendo en cuenta las características cualitativas de cada uno de los ámbitos relacionados con el análisis de la viabilidad de apertura de un portafolio de negocio en la empresa EMIR S.A E.S.P.. Por otra parte, el proyecto tomó también un alcance correlacional mediante los resultados obtenidos por el análisis de alternativas, que como resultado permitió determinar el tratamiento más adecuado mediante la cuantificación de variables para cada uno de los tratamientos para finalmente iniciar una fase experimental con la alternativa escogida (Hernández Sampieri, Fernández y Baptista, 2014).

Tabla 6. Metodología de desarrollo de los objetivos.

Objetivo General	Objetivo Específico	Actividades	Técnica	Instrumento	Resultados esperados
Proponer el aprovechamiento de aceite lubricante usado, como una nueva línea de negocio en la empresa EMIR S.A E.S.P, en el municipio de Sogamoso-Boyacá y sus alrededores como una alternativa viable para la adecuada disposición de Residuos Peligrosos en la Región.	Realizar el análisis del entorno para el aprovechamiento del aceite lubricante usado, a través de técnicas de innovación en modelos de negocio.	1. Revisión Bibliográfica 2. Alimentar la herramienta Canvas 3. Analizar la herramienta 4. Identificar oportunidades y amenazas para el negocio 5. Construir primera versión CANVAS 6. Identificar Debilidades y Fortalezas de la empresa para incursionar en el negocio 7. Construcción de última versión CANVAS 8. Definir estrategias para capitalizar oportunidades, enfrentar amenazas, aprovechar fortalezas y superar	Análisis estratégico del entorno interno y externo	1. Modelo CANVAS 2. Encuesta	1. Definición de factibilidad del negocio 2. Definición del modelo de negocio (mapa estratégico)
	Priorizar y validar un método de re-refinación para la producción de Base lubricante a partir de un aceite lubricante usado.	1. Definir la metodología de análisis: sencillo o multivariable 2. Definir alternativas de tratamiento de refinación de ALU 3. Definir niveles de análisis para cada alternativa 4. Definir los criterios de análisis 5. Asignar puntajes 6. Priorizar la mejor alternativa	Análisis de multivariable de alternativas	1. Revisión de literatura 2. Hojas de cálculo 3. Análisis estadístico	1. Priorizar la mejor alternativa de aprovechamiento de ALU
	Demostrar experimentalmente la eficiencia del método validado para el tratamiento de aceite lubricante usado.	1. Realizar el método experimental en laboratorio para definir la eficiencia del método. 2. Realizar el análisis de calidad, al producto de la re-refinación del aceite lubricante usado 4. Comparar las características de calidad de Base-Aceite, con la Base-Aceite refinada de manera industrial.	Análisis experimental	1. Revisión de literatura 2. Experimentación 3. Análisis físico-químico	1. Determinar las características físico-químicas de la Base Lubricante 2. Calidad del producto

Fuente: Autores

8.1 Diseño metodológico por objetivo

Objetivo específico 1

- ❖ Realizar el análisis del entorno para el aprovechamiento del aceite lubricante usado, a través de técnicas de innovación en modelos de negocio.

Enfoque: Este objetivo fue desarrollado bajo un enfoque cualitativo y cuantitativo, ya que como lo menciona Sampieri (2014) el enfoque cualitativo relaciona la recolección de datos con las perspectivas o puntos de vista de los participantes, en este caso mediante una encuesta con preguntas abiertas, con la finalidad de determinar las variables y tópicos importantes que influyen en la apertura de negocio y el tratamiento de aceite lubricante usado, de la mano de la herramienta CANVAS. Por otra parte, la encuesta también hizo parte de un análisis dentro de las fuerzas del mercado, logrando dar respuesta a la hipótesis planteada frente a la viabilidad de un nuevo portafolio de servicio en la empresa EMIR S.A E.S.P., dando lugar a un tratamiento y reincorporación de aceite lubricante usado en un proceso productivo.

Alcance: El alcance de este objetivo fue correlacional, ya que mediante la herramienta CANVAS se logró asociar cada una de sus variables a el grupo de estudio (parques automotores y talleres) en la ciudad de Sogamoso-Boyacá; logrando comprender el comportamiento de las variables con respecto a la

principal pregunta de investigación, relacionada con la viabilidad de apertura de un portafolio relacionado con el tratamiento de Aceite Lubricante Usado y venta de Base Lubricante.

Técnicas e instrumentos para la recolección de la información: Se basaron a partir de la información primaria obtenida de las encuestas hechas a los generadores del aceite lubricantes, con esto se identificó las debilidades y fortalezas que tiene el mercado de aceites lubricantes usados y bases lubricantes, de esta manera se construyó la primera versión del instrumento CANVAS, a partir de esto, se buscó responder una serie de preguntas relacionadas a las fuerzas de la industria, las fuerzas macroeconómicas, las tendencias claves y por último las fuerzas del mercado.

De acuerdo con la información obtenida se corroboró con las encuestas llevadas a cabo a los diferentes gestores; para finalmente elaborar la versión final del CANVAS y con estos resultados, se determina el análisis del entorno más acorde a las dinámicas que presenta el mercado de los aceites lubricantes. Adicionalmente se realizó una encuesta (instrumento) a los principales gestores de este RESPEL, con el fin de conocer las diferentes variables que pueden incidir en el mercado. Y para llevar a cabo el instrumento de recolección de información, se calculó la muestra, que se ve expresada en la siguiente fórmula (Díaz et al., 2016).

Fórmula 1. Ecuación para hallar la muestra para las encuestas.

$$\eta = \frac{Z^2(P+(1-P))}{\varphi^2}$$

η = Muestra

Z= Nivel de confianza

P= Probabilidad de éxito

φ = Probabilidad de fracaso

Una vez obtenida la muestra, posteriormente se calculó el número total de encuestas con la siguiente fórmula (Díaz et al., 2016).

Fórmula 2. Ecuación para hallar número total de encuestas.

$$Ne = \frac{\eta}{1 + (\frac{\eta}{N})}$$

Donde:

Ne= Número total de encuestas.

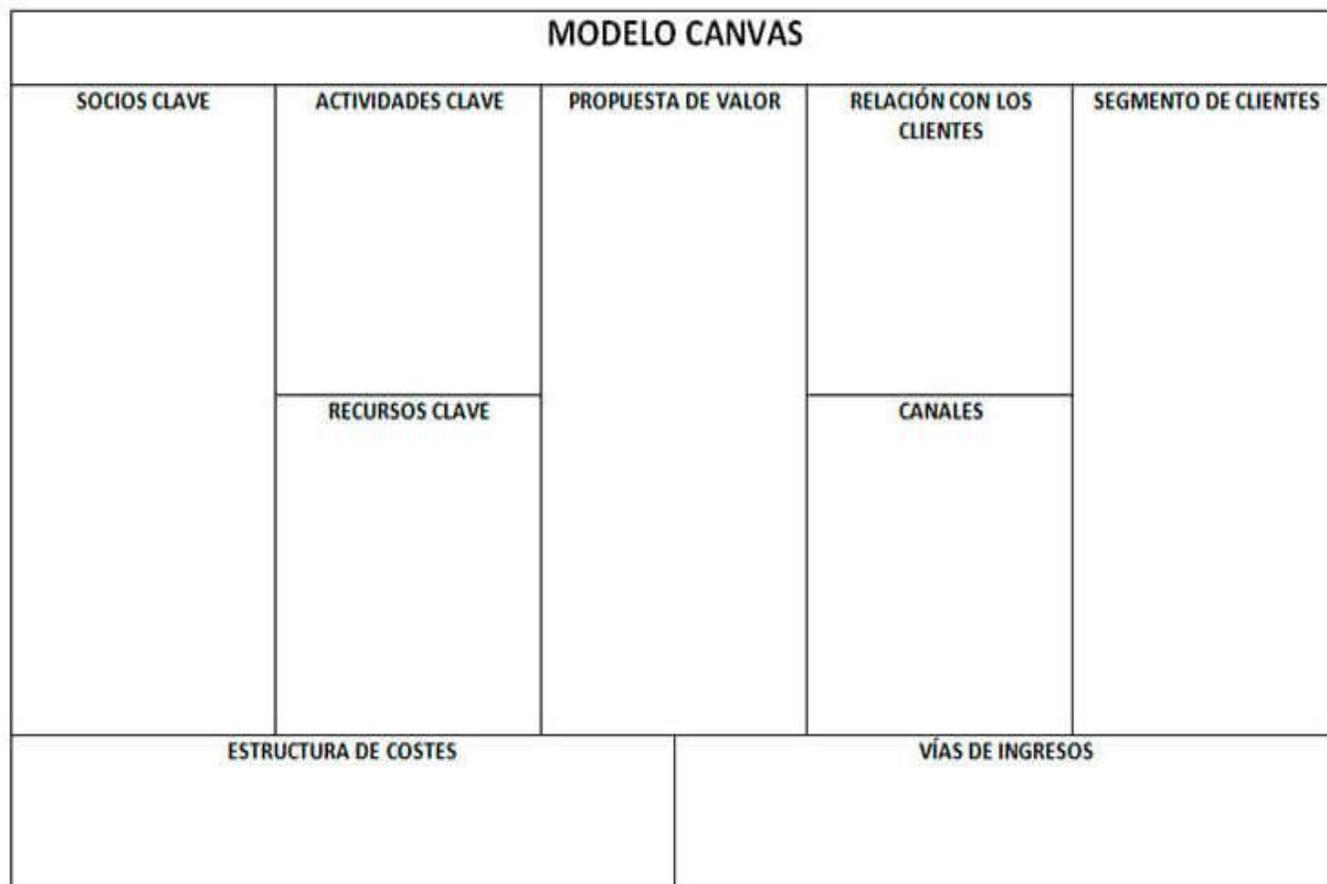
η = Muestra.

N= Población de estudio.

Técnicas e instrumentos para el análisis de la información: Para el análisis del entorno, se basó en la técnica de Osterwalder & Pigneur (2011) ampliado en su libro de Generación de Modelos de Negocio, es decir, se hizo el análisis estratégico del entorno interno y externo, adicionalmente las diferentes fuerzas del mercado o variables que pudieron incidir para la construcción de una propuesta de valor, a

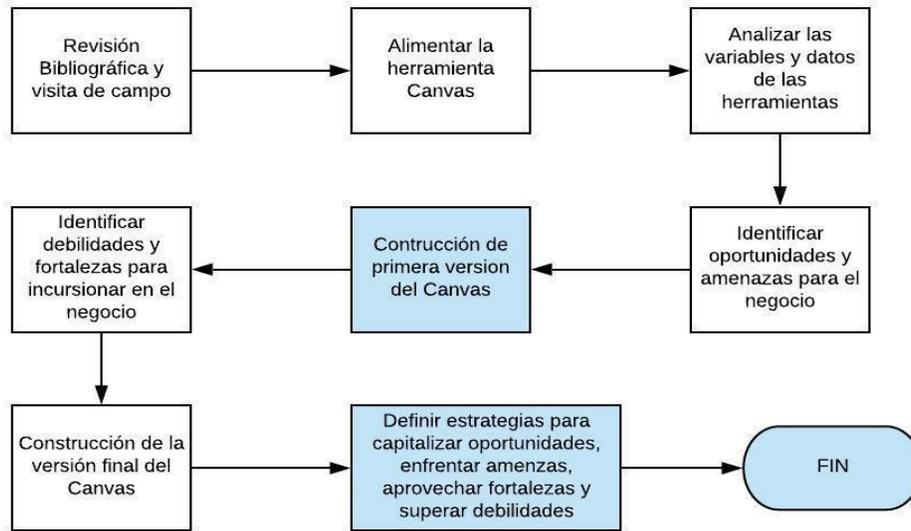
través del instrumento CANVAS, lo cual permitió estructurar un modelo de negocio, acorde a las necesidades del mercado y al análisis de los resultados obtenidos bajo los instrumentos mencionados con anterioridad.

Figura 5. Lienzo Canvas.



*Fuente:*Osterwalder & Pigneur, 2011

Figura 6. Metodología de desarrollo del primer objetivo específico.



Fuente: Autores, 2019

Objetivo específico 2:

- ❖ Priorizar y validar un método de re-refinación para la producción de Base lubricante a partir de un aceite lubricante usado.

Enfoque: Este objetivo se basó en un enfoque mixto, ya que por medio de la búsqueda de información se relacionaron las diferentes alternativas de aprovechamiento de bases lubricantes; se compararon las alternativas por medio de la metodología de Análisis Multicriterio (AMC) dentro de la dimensión ecológica y económica, otorgándole un rango de valores a cada una de las alternativas para determinar cuál de ellas tiene mayor viabilidad en cuanto a la puesta en marcha dentro de la empresa EMIR S.A E.S.P (Machado, 2005).

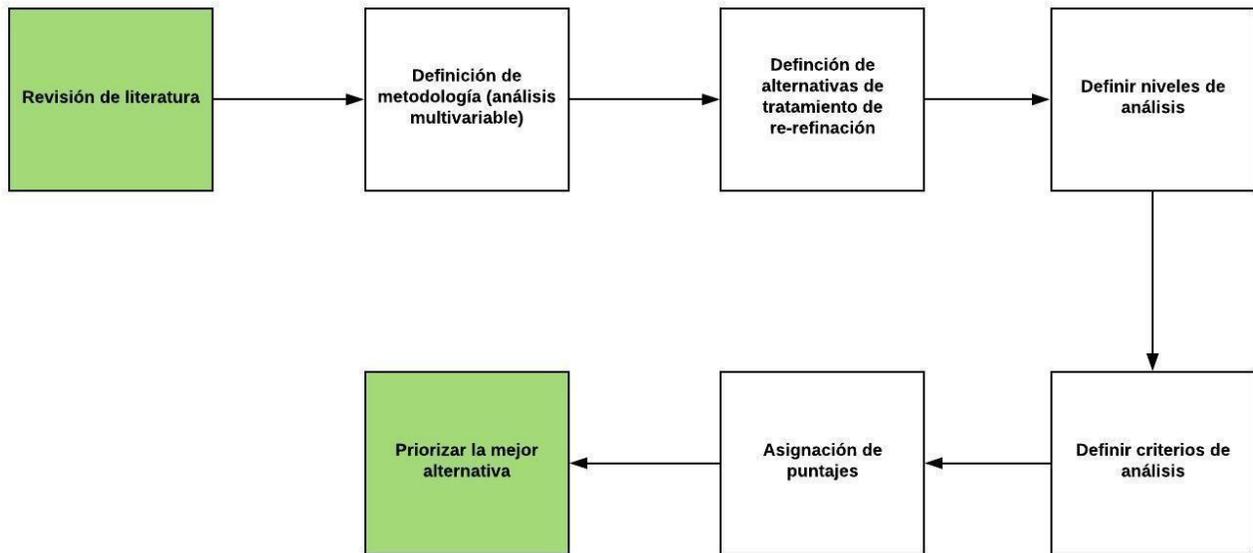
Alcance: Con respecto al alcance de este objetivo, es descriptivo y correlacional, ya que por medio de información secundaria se evaluaron las diferentes alternativas de aprovechamiento. Posteriormente se realizó un análisis y selección de la alternativa con mayor puntaje dentro de la dimensión ecológica y económica.

Técnicas e instrumentos para la recolección de información: Estas se basaron en fuentes de información secundaria, las cuales por medio de una búsqueda bibliográfica y con ayuda de las diferentes bases de datos de la academia, se sintetiza la información para saber cuál alternativa es más viable social, económica y ecológicamente.

Técnicas e instrumentos para el análisis de la información: Al tener la información estructurada como se logra ver en el estado del arte, se procede a seleccionar las diferentes variables y criterios para poder

evaluar las diferentes alternativas de aprovechamiento, para un posterior análisis. De esta manera se realizó la metodología de Análisis Multicriterio (AMC) implementada por la empresa Ficondi Cia Ltda, en su estudio de impacto ambiental (Machado, 2005). Esta metodología está sujeta a cambios con el fin de evaluar las variables tenidas en cuenta. En la siguiente tabla se expresan las diferentes fases para el desarrollo el objetivo.

Figura 7. Metodología de desarrollo del segundo objetivo específico.



Fuente: Autores, 2019

Tabla 7. Fases de la metodología AMC.

Fase	Descripción
I: Selección de los criterios	En esta fase se seleccionaron los criterios definitivos a utilizar en la comparación de las alternativas, con el fin de realizar el proceso de medición y ordenarlos de acuerdo a su porcentaje de peso.
II: Escoger las opciones de decisión (alternativas)	Normalmente existe un número finito de alternativas que requieren ser evaluadas y ordenadas de mayor a menor desempeño. Para ello se diseñó la tabla 8 que permitió identificar el desempeño de cada alternativa dentro del componente

	ecológico, social y económico. Esto por medio de la búsqueda de información secundaria.
III: Ponderar los indicadores ambientales para obtener los Coeficientes de importancia Relativa (CIR)	La metodología AMC siempre contendrá criterios medidos en unidades distintas. Por lo tanto, es necesario transformar las mediciones para que puedan ser combinados y medidos. Para ello se utilizó un rango de 0 a 1, en donde 0 indica una relación baja entre los criterios, 0.5 una relación media y 1 una relación alta. La suma de cada valor permite obtener los CIR para cada criterio.
IV: Ordenar los criterios por porcentaje de peso	Es inusual que los criterios tengan la misma importancia para los tomadores de decisión, por tal motivo se ordenaron los CIR por porcentaje de peso.
V: Determinación de los Coeficientes de Selección Ambiental (CSA)	En esta fase se compararon las medidas de desempeño de cada alternativa con base a los criterios seleccionados. En las tablas 8-13 se muestran los rangos tomados para cada criterio y su respectiva interpretación.
VI: Análisis de la Matriz final de coeficientes y selección de la alternativa óptima	De acuerdo a la metodología seleccionada, se procedió a elaborar la matriz final de coeficientes, para que cada alternativa alcanzará una medida global de su desempeño, obteniendo, así como resultado la alternativa óptima. Posterior a esto se realizó el análisis de la Matriz con el objetivo de tomar la decisión final.

Fuente: Autoría propia adaptado de Hajkowicz & Higgins, 2008.

Tabla 8. Diseño de tabla de desempeño para cada alternativa.

<i>Alternativa #</i>		
<i>Dimensión</i>	<i>Componente</i>	<i>Justificación</i>
Ecológico	Método de obtención de base lubricante	
	Residuos/ subproductos generados	
	Cantidad de productos	
Económico	Complejidad tecnológica	
	Eficiencia	

Fuente: Autores

Tabla 9. Rangos del criterio 1: Método de obtención de base lubricante.

<i>Valor puntos</i>	<i>Rango criterio</i>	<i>Interpretación del criterio</i>
0	Alto	El método de obtención requiere bajos consumos de recursos y de materias primas, en comparación con la alternativa confrontada.
5	Medio	El método de obtención requiere un consumo significativo de recursos y de materias primas, en comparación con la alternativa confrontada.
10	Bajo	El método de obtención requiere un alto consumo de recursos y materias primas que necesitan una disposición final, en comparación con la alternativa confrontada.

Fuente: Autores

Tabla 10. Rangos del criterio 2: Residuos/ subproductos generados.

<i>Valor puntos</i>	<i>Rango criterio</i>	<i>Interpretación del criterio</i>
0	Simple	Los subproductos generados tienen un tratamiento simple debido a su baja peligrosidad, comparadas con las otras alternativas.
5	Mediano	Los subproductos generados tienen un tratamiento con un tratamiento sin baja

		peligrosidad, comparadas con las otras alternativas.
10	Complejo	Los subproductos generados tienen un tratamiento complejo debido a su alta peligrosidad, comparadas con las otras alternativas.

Fuente: Autores

Tabla 11. Rangos del criterio 3: Cantidad de productos.

<i>Valor puntos</i>	<i>Rango criterio</i>	<i>Interpretación del criterio</i>
0	4	Generación de 4 o más productos capaces de entrar a competir en el mercado, en comparación con la alternativa confrontada.
5	2	Generación de 2 productos, entre ellos base lubricante y aceite capaz de entrar en el mercado como combustible industrial, en comparación con la alternativa confrontada.
10	1	Base lubricante de baja calidad y residuos peligrosos que necesitan tratamiento adicional, en comparación con la alternativa confrontada.

Fuente: Autores

Tabla 12. Rangos del criterio 4: Complejidad tecnológica del proceso.

<i>Valor puntos</i>	<i>Rango criterio</i>	<i>Interpretación del criterio</i>
0	Simple	La complejidad tecnológica del proceso es simple, se necesitan equipos sin mayor complejidad, en comparación con la alternativa confrontada.
5	Normal	La complejidad del proceso es normal, se necesitan algunos equipos de uso especial, en comparación con la alternativa confrontada.
10	Avanzada	La complejidad del proceso es avanzada, se necesitan equipos con tecnología no implementada en el país, en comparación con la alternativa confrontada.

Fuente: Autores

Tabla 13. Rangos del criterio 5: Eficiencia de la alternativa.

<i>Valor puntos</i>	<i>Rango criterio</i>	<i>Interpretación del criterio</i>
0	>80%	La eficiencia del procedimiento es mayor o igual a 80%, en comparación con la alternativa confrontada.
5	45-80%	La eficiencia del procedimiento oscila entre 45-80%, en comparación con la alternativa confrontada.

10	25-45%	La eficiencia del procedimiento oscila entre 25-45%, en comparación con la alternativa confrontada.
----	--------	---

Fuente: Autores

Objetivo específico 3:

- ❖ Demostrar experimentalmente la eficiencia del método validado para el tratamiento de aceite lubricante automotriz usado.

Es necesario aclarar que el desarrollo del objetivo específico 3 tiene un cambio frente a los resultados obtenidos bajo el análisis multicriterio del objetivo específico número 2, a causa de la falta de herramientas tecnológicas, reactivos, tiempo, dificultad del mismo tratamiento en sí y áreas especializadas en el tema de tratamientos químicos. Por lo tanto, se hizo elección de un método más sencillo y comparable con los métodos convencionales que se realizan en la misma área de estudio, y que se puede replicar de manera industrial, teniendo en cuenta la eficiencia y los impactos ambientales. Así mismo, se logró identificar un método similar al ácido-arcilla, pero reemplazando el ácido sulfúrico que tiene diversos impactos negativos a nivel ambiental, por el ácido acético glacial. Sin embargo, cabe resaltar y hacer la aclaración, que la dificultad tecnológica y el tiempo de realización de la experimentación, demanda más tiempo que el requerido por el presente documento.

Enfoque: El presente objetivo se manejó bajo un enfoque cuantitativo, teniendo presente que la revisión bibliográfica direccionó y justificó el planteamiento metodológico tal como lo menciona Sampieri (2014). Del mismo modo el análisis de los resultados obtenidos bajo experimentación, son comparables con resultados obtenidos en estudios científicos previos, en este caso, la comparación con resultados de la metodología ácido-arcilla (ácido sulfúrico) vs metodología ácido acético glacial-arcilla, como metodologías para la re-refinación del aceite lubricante automotriz usado.

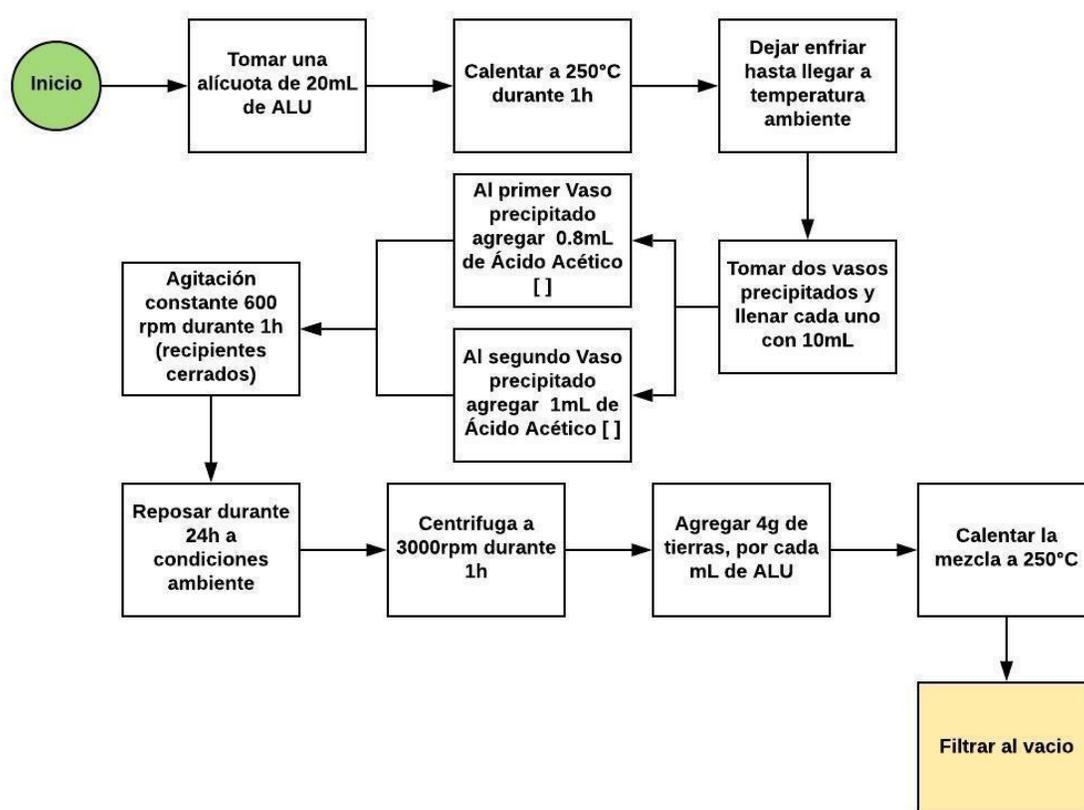
Alcance: El alcance de este objetivo es correlacional, teniendo en cuenta que los resultados de laboratorio dentro de las dos metodologías escogidas buscan responder la pregunta de si se presenta mayor eficiencia al momento de refinar aceite con el uso de ácido acético glacial, en vez del uso de ácido sulfúrico al 98% y así mismo encontrando las diferencias en los rendimientos, manteniéndolos bajo los requerimientos industriales requeridos por la empresa EMIR S.A.E.S.P. (Sampieri, 2014).

Técnicas e instrumentos para la recolección de información: Para la recolección de la información, se hizo necesaria la investigación documental en estudios con su respectiva documentación en físico y digital, todos los documentos referentes al tratamiento de aceite lubricante automotriz usado bajo la metodología ácido-arcilla; de esta manera se logró construir una primer metodología de tratamiento para la producción de base lubricante a partir del método ácido acético glacial-arcilla y de esa manera tener como principal técnica de recolección de datos la observación experimental. Por otra parte, es necesario mencionar que la metodología en la que se basó el método del ácido acético

fue la de Hamawand et al. (2013) en su artículo científico “Recycling of waste engine oil using a new washing agent”.

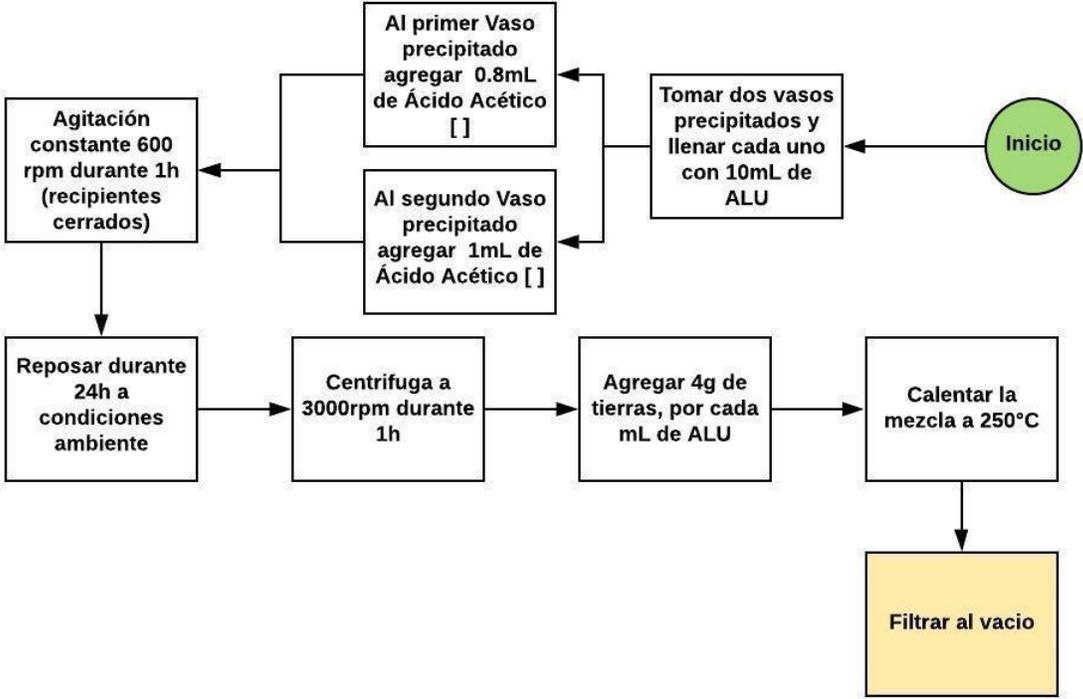
Técnicas e instrumentos para el análisis de la información: Como principal técnica e instrumento de análisis de los resultados obtenidos a partir de la experimentación con el tratamiento de re-refinación de aceite lubricante automotriz usado, se tiene el registro de la información y la bitácora de observaciones experimentales del tratamiento ácido acético glacial-arcilla.

Figura 8. Metodología experimental tratamiento ácido acético glacial-arcilla con temperatura inicial de 250°C.



Fuente: Hamawand et al. 2013.

Figura 9. Metodología experimental tratamiento ácido acético glacial-arcilla con temperatura inicial de 250°C.



Fuente: Hamawand et al. 2013.

9. Resultados, análisis y discusión de resultados

Los resultados, análisis y discusión son realizados y enfocados en los objetivos específicos respectivamente, resaltando cada uno de ellos para mayor comprensión.

9.1 Resultados, análisis y discusión del objetivo específico 1

- Realizar el análisis del entorno para el aprovechamiento del aceite lubricante automotriz usado, a través de técnicas de innovación en modelos de negocio.

9.1.1 Cantidad de encuestas realizadas

Dentro de la población de estudio, de acuerdo con las cifras consultada por la Cámara de Comercio de Sogamoso (2019) actualmente existen en funcionamiento 33 establecimientos autorizados para el cambio de aceite lubricante automotriz. Teniendo este valor se calculó la muestra 385 (Fórmula 1). Posteriormente, el número total de encuestas 33 (Fórmula 2) para determinar así, el número exacto de establecimientos autorizados para el cambio de aceite lubricante usado sujetos a realizar este instrumento de recolección de información.

Fórmula 1. Ecuación para hallar la muestra para las encuestas.

$$\eta = \frac{1,96^2(0,5*(1-0,5))}{0,05^2} = 384,16 = 385$$

Fórmula 2. Ecuación para hallar número total de encuestas.

$$Ne = \frac{385}{1 + \left(\frac{385}{33}\right)} = 30,39$$

9.1.2 Canvas versión inicial

Para iniciar con la construcción de la versión inicial del modelo Canvas, se tuvo en cuenta los aspectos más relevantes que pueden ser fácilmente diagnosticados con base a la literatura tenida en cuenta a lo largo del proyecto

Figura 10. Canvas versión inicial.

<p>SOCIOS CLAVE Alianza estratégica: - Las empresas de transporte y recolección de residuos peligrosos (aceite lubricante usado), con el fin de reducir costos en el transporte Proveedores: - Parques automotores que realizan el cambio de aceite -Centros autorizados para el cambio de aceite lubricante</p>	<p>ACTIVIDADES CLAVE Producción: - Tratamiento físico químico de aceite lubricante usado -Entrega de base lubricante a clientes, para el tratamiento y fabricación de aceite lubricante</p>	<p>PROPUESTA DE VALOR: Mejora del rendimiento y personalización: Recolección y tratamiento físico químico del aceite lubricante quemado, generado en los parques automotores o centros autorizados Precio: Se puede competir con precios de recolección Novedad: -Mitigación de impactos ambientales por disposición de Residuos Peligrosos -Reducción de disposiciones de Respel ilegales -Control en las disposiciones y recolecciones informales del Respel</p>	<p>RELACIONES CON CLIENTES: Asistencia personal: El cliente se comunica con el representante del servicio de atención al cliente para concretar venta o cualquier procedimiento posterior a la venta CANALES: Directa: Equipo comercial que realiza visitas para concretar recolección y venta de la base lubricante</p>	<p>SEGMENTO DE CLIENTE: Nicho del mercado:Atiende al segmento específico de fabricantes de aceite lubricante, con la compra de base lubricante fabricada por la empresa EMIR S.A E.S.P No hay un único cliente, adicionalmente sus clientes son las empresas generadoras del residuo de aceite usado. Incluso la competencia que puede en algún momento darle disposición final a los residuos de aceite con ustedes</p>
	<p>RECURSOS CLAVE Físicos a consideración: - Tratamiento físico químico de aceite lubricante usado -Entrega de base lubricante a clientes, para el tratamiento y fabricación de aceite lubricante Económicos: -Prestamos -Inversión (ángel financiero) -Venta de porcentaje de acciones en la organización Capital humano: -Ingenieros capacitados para el tratamiento y consideraciones adicionales de manipulación, transporte y almacenamiento de RESPEL.- Personal capacitado para la manipulación, transporte y almacenamiento de RESPEL, según lo estipulado por la ley Físicos: Planta de tratamiento (instalaciones de tratamiento), maquinaria-tecnología, materia prima del tratamiento</p>	<p>ESTRUCTURA DE COSTES variables: -Costo aceite lubricantes usado, según la dinámica propia del mercado -Costo de transporte de materia prima -Materias prima para llevar a cabo los procesos escala: -Capital humano -Costo de re-refinación del aceite lubricante usado -Costos de infraestructura</p>	<p>Costos Costos a</p>	<p>FUENTES DE INGRESO Pago por materia prima: El pago para la recolección de un residuo con características de peligrosidad Cuota por uso: Es el pago por la gestión integral de las diferentes corrientes de los residuos peligrosos, a cambio de un certificado de disposición final</p>

Fuente: Autores

Fuerza del mercado:

Teniendo como referencia la encuesta (ver Anexo 1-3)realizada a los diferentes establecimientos de cambios de aceite en la ciudad de Sogamoso, las cuales permitieron conocer el comportamiento del mercado y las tendencias claves del sector de la comercialización de base lubricante y aceite lubricante, se encuentra que las cuestiones con mayor impacto, reflejadas por los comerciantes se basa en el interés de una adecuada gestión del residuo peligroso, además de la necesidad que tienen para disponerlo, pues representa una problemática tanto legal como económica. A su vez tienen en cuenta el valor agregado

que tiene el disponerlo con la empresa recolectora de ALU en la ciudad, además de recibir un incentivo económico.

Por otra parte, las necesidades latentes en el municipio de Sogamoso encontradas en los talleres de automóviles, hacen parte del manejo integral del residuo peligroso y la necesidad de disponer no solo del residuo sino también de los elementos que se encuentran contaminados, ejemplo son los envases, filtros, ropa, estopas, entre otros, que no son recolectados por la empresa gestora del municipio y representan un peligro ya que son dispuestos como residuos sólidos.

Sin embargo, se encuentra que en la totalidad de encuestados, se refleja una necesidad de cambio para la correcta disposición del ALU, de la mano de retribuciones económicas que sean un plus adicional a la recolección, ya que la empresa que actualmente recolecta el Respel además de cobrar una cuota de recolección, no informa cuál es el procedimiento posterior a la recolección y almacenamiento. Lo que genera una falta de responsabilidad extendida durante la gestión integral del residuo peligroso.

9.1.3 Análisis del entorno

Fuerza de la industria:

Teniendo en cuenta el consolidado del IDEAM (2017) de gestores de residuos peligrosos para el manejo y recolección de aceites usados y demás derivados del petróleo; así mismo mediante la información suministrada por personal que labora en talleres y parques automotores de Sogamoso, generadores de residuos peligrosos, la única empresa que se encuentra con la competencia de realizar la recolección y tratamiento del ALU es Combustibles Boyacá, empresa que se encuentra ubicada en Duitama-Boyacá, pero presta el servicio de almacenamiento y recolección de residuos peligrosos asociados al aceite lubricante usado y materiales que se encuentren contaminados con dicho residuo en Sogamoso. Dentro de su oferta comercial se encuentra el aprovechamiento de ALU como combustible para hornos y calderas industriales (Combustibles Boyacá Colombia Ltda., 2017). De esta manera, se encuentra como el único jugador dentro del modelo de negocio planeado por el presente proyecto.

Ahora bien, el segmento de mercado está distribuido a la recolección de filtros de aceite lubricante usado automotriz y el aceite lubricante usado, dispuesto por los talleres a lo largo del municipio de Boyacá. Por lo tanto, siendo los únicos receptores de aceite lubricante usado, los clientes no optan por otras alternativas o posibles competidores de Combustibles Boyacá Ltda, lo cual genera una nueva oportunidad de negocio para la empresa EMIR S.A E.S.P.

Por otra parte, dentro de la cadena de valor, los principales segmentos del mercado están enfocados en los talleres de automóviles autorizados por la autoridad ambiental para realizar los cambios de aceite lubricante usado; los cuales se encuentran distribuidos en el municipio de Sogamoso. Así mismo se encuentran los parques automotores, que dentro de sus procesos de mantenimiento, deben reemplazar el aceite lubricante de sus vehículos. Para los cuales una nueva alternativa de tratamiento para la reincorporación de aceites lubricantes usados es tentadora, siempre y cuando esté de la mano de un posible intercambio positivo, de la mano de nuevos productos y reducción de costos.

Finalmente, dentro de los posibles inversores se encuentran los recursos de la empresa EMIR S.A E.S.P, y posibles socios que durante la marcha y generación del producto Base Lubricante, se puedan hacer partícipes de la iniciativa.

Tendencia claves

Las principales tendencias tecnológicas que hacen parte del mercado del aprovechamiento del ALU, se utilizan en el tratamiento como combustibles secundarios en la industria, principalmente para combustibles de calderas y equipos que usen la combustión como proceso, así mismo, la totalidad de estos aceites aprovechados son usados con el fin de hacer una alternativa viable para la recuperación energética.

Por otro lado, con respecto a la gestión del ALU, se ha visto que en Colombia existen usos no adecuados para la disposición final de este respl, entre los cuales se encuentran el vertimiento a diferentes sistemas (agua, suelo) , como un uso para erradicar la maleza , inmunización de madera, también se tiene la mezcla con diferentes productos para un uso específico, como lo es la mezcla con plaguicidas, la mezcla con solventes como pinturas y por último el uso más común y uno de los más contaminantes es como combustible para las quemas a cielo abierto. Estos usos por cuestiones culturales y falta de acceso a información de fuentes confiables pueden ser una variable que de alguna forma afecta el mercado de los hidrocarburos, sin embargo, se ha visto que el estado por medio de las CAR ha sido mucho más rigurosos en cuanto la implementación de políticas públicas que favorezcan la buena gestión de este residuos peligroso y que ayuden a minimizar la contaminación de fuentes primarios producto del mal manejo del ALU.

Fuerzas macroeconómicas

Según el Ministerio de Ambiente el 95 % de los ALU son producidos por empresas multinacionales, entre las cuales se distinguen, Chevron, Texaco, Exxon/Mobil, Petrobras y Castrol, y las nacionales son Terpel y Brío. Según la distribución del mercado de los aceites el sector que mayor cantidad de generación de ALU es el automotor con un 68%. De esta cifra según el Manual Técnico para el manejo de aceites lubricantes usados (MINAMBIENTE,2014) tiene proyectado para el año 2013 un aumento año a año el cual representa un 56 % de una gestión integral en torno al manejo adecuado del aceite lubricante usado, esto representa una cifra importante para el mercado ya que con ayuda de políticas y acciones colectivas el volumen de aceite recuperado año a año va en incremento, lo cual abre las puertas a una incursión para el mercado de los hidrocarburos.

En cuanto a la venta de base aceite producto de una refinación de petróleo, está condicionada en gran manera al mercado de los hidrocarburos ya que el costo del barril de petróleo en estos momentos tiene sus altibajos, producto de la guerra comercial entre potencias del primer mundo, si bien, la idea de competir en el mercado de los aceites que es bastante dinámica, ya que las multinacionales tienen monopolizado la gran parte este segmento del mercado, y el precio del dólar altera directamente los diferentes productos lubricantes para automotores; no obstante, teniendo en cuenta los beneficios ambientales que trae consigo el aprovechamiento de un residuo peligroso, la materia prima resultante no depende directamente de las condiciones del mercado, sino depende de la disponibilidad del ALU y esto representa una ventaja al no depender de la variación en el precio del dólar.

Por último, para llevar a cabo el modelo de negocio, se tienen que tener en cuenta aliados estratégicos los cuales tienen la función de suministrar el ALU previo al aprovechamiento, con esto, se permite optimizar mucho más los procesos en cuanto a la logística de transporte y evitar costos relacionados a esto, así mismo con ayuda de las diferentes organizaciones que ya están incursionadas en este segmento del mercado, venderles la base-aceite re-refinada como materia prima.

9.1.2.1 Canvas versión final

Tal como se comentó anteriormente en la metodología, como primera medida se construyó un modelo inicial del Canvas, con la idea principal de entender de qué forma se mueve el mercado y qué dinámicas están impulsadas en cuanto a la comercialización de base lubricante y de aceite lubricante para automóviles. Posteriormente, teniendo en cuenta la generación de modelos de negocio de Osterwalder (2011), se permite entender los factores externos e internos que modifican la propuesta de valor planteada en el presente documento, que finalmente resulta en un Canvas mucho más robusto como se encuentra en la siguiente figura:

Figura 11. Canvas versión final.

<p>SOCIOS CLAVE Alianza estratégica: - Las empresas de transporte y recolección de residuos peligrosos (aceite lubricante usado), con el fin de reducir costos en el transporte Proveedores: -Parques automotores que realizan el cambio de aceite -Centros autorizados para el cambio de aceite lubricante -Distribuidores del aceite lubricante</p>	<p>ACTIVIDADES CLAVE Producción: Tratamiento físico químico de aceite lubricante usado -Entrega de base lubricante a clientes, para el tratamiento y fabricación de aceite lubricante -Aprovisionamiento de materias primas y reactivos para el proceso de re-refinación Físicos a consideración: Tratamiento físico químico de aceite lubricante usado -Entrega de base lubricante a clientes, para el tratamiento y fabricación de aceite lubricante Económicos: -Prestamos -Inversión (ángel financiero) -Venta de porcentaje de acciones en la organización</p> <p>RECURSOS CLAVE Capital humano: -Ingenieros capacitados para el tratamiento y consideraciones adicionales de manipulación, transporte y almacenamiento de RESPEL.-Personal capacitado para la manipulación, transporte y almacenamiento de RESPEL, según lo estipulado por la ley Físicos: Planta de tratamiento (instalaciones de tratamiento), maquinaria-tecnología, materia prima del tratamiento Control de calidad de la base lubricante</p>	<p>PROPUESTA DE VALOR: Mejora del rendimiento y personalización: Recolección y tratamiento físico químico del aceite lubricante quemado, generado en los parques automotores o centros autorizados Precio: Se puede competir con precios de recolección Novedad: -Mitigación de impactos ambientales por disposición de Residuos Peligrosos -Reducción de disposiciones de Respel ilegales -Control en las disposiciones y recolecciones informales del Respel Calidad: Producto final es capaz de competir con la base lubricante virgen</p>	<p>RELACIONES CON CLIENTES: Asistencia personal: El cliente se comunica con el representante del servicio de atención al cliente para concretar venta o cualquier procedimiento posterior a la venta. Sistema integrado de gestión de relaciones con los clientes</p> <p>CANALES: Directa: Equipo comercial que realiza visitas para concretar recolección y venta de la base lubricante -Ferias comerciales -Contacto directo con establecimientos</p>	<p>SEGMENTO DE CLIENTE: Nicho del mercado: Atiende al segmento específico de fabricantes de aceite lubricante, con la compra de base lubricante fabricada por la empresa EMIR S.A.E.S.P No hay un único cliente, adicionalmente sus clientes son las empresas generadoras del residuo de aceite usado. Incluso la competencia que puede en algún momento darle disposición final a los residuos de aceite con ustedes Cientes finales: Productores de aceite lubricante automotriz</p>
<p>ESTRUCTURA DE COSTES Costos variables: -Costo aceite lubricantes usado, según la dinámica propia del mercado -Costo de transporte y logística de materia prima -Materias prima para llevar a cabo los procesos Costos a escala: -Capital humano -Costo de re-refinación del aceite lubricante usado -Costos de infraestructura -Costo operación de planta Costo por tratamiento RESPEL</p>		<p>FUENTES DE INGRESO Pago por materia prima: El pago para la recolección de un residuo con características de peligrosidad Cuota por uso: Es el pago por la gestión integral de las diferentes corrientes de los residuos peligrosos, a cambio de un certificado de disposición final</p>		

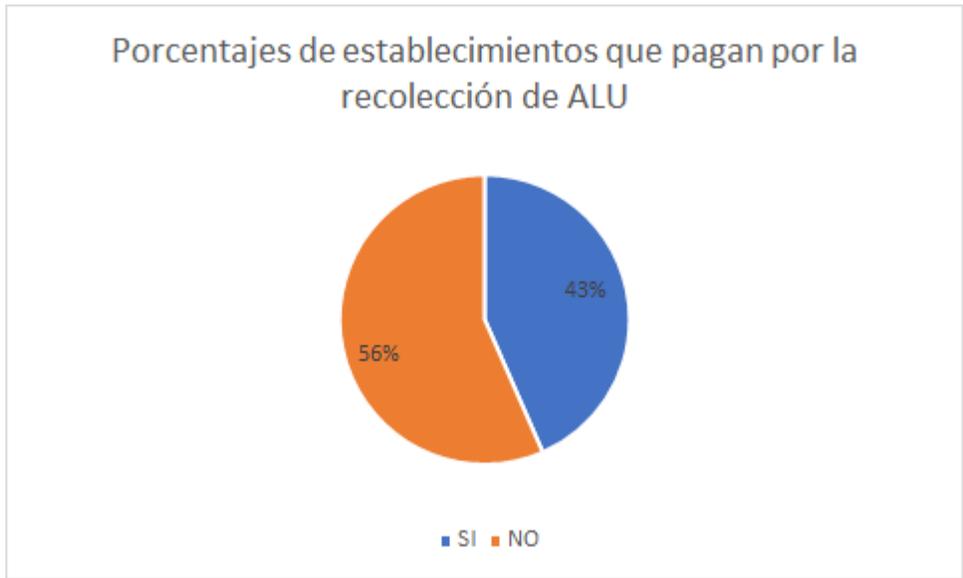
Fuente: Autores.

9.1.4 Diagnóstico de la versión final del CANVAS y el entorno de negocio

La provincia de Sugamuxi y más específicamente en el municipio de Sogamoso viene presentando un conjunto de problemáticas ambientales, que con el paso del tiempo va a traer consecuencias mucho mayores en el sector automotriz y en cuanto a la prestación de servicios como cambios de aceite, mecánica general, estaciones de servicio y lavaderos, todos estos establecimientos en su mayoría prestan casi todos los servicios, que involucran la generación de aceite lubricantes usado, y elementos contaminados de tratamiento especial. A partir del trabajo realizado por medio de las encuestas, se evidencian establecimientos que incumplen el POT en cuanto al uso del suelo y por lo tanto desechan esta serie de residuos peligrosos a alcantarillados públicos y este directamente se vierte a los cuerpos de agua que repercuten en su totalidad en el Río Chicamocha, así mismo también el mercado ilegal en torno al uso posterior de su vida útil, el cual se puede vender para usos mucho más nocivos para el medio ambiente. Lo anterior se evidencia de una mejor manera con el resultado del análisis de las encuestas realizadas frente al comportamiento tanto de los establecimientos, como de los empleados que laboran ahí. Las Figura 12 y 13 permiten entender lo anteriormente mencionado.

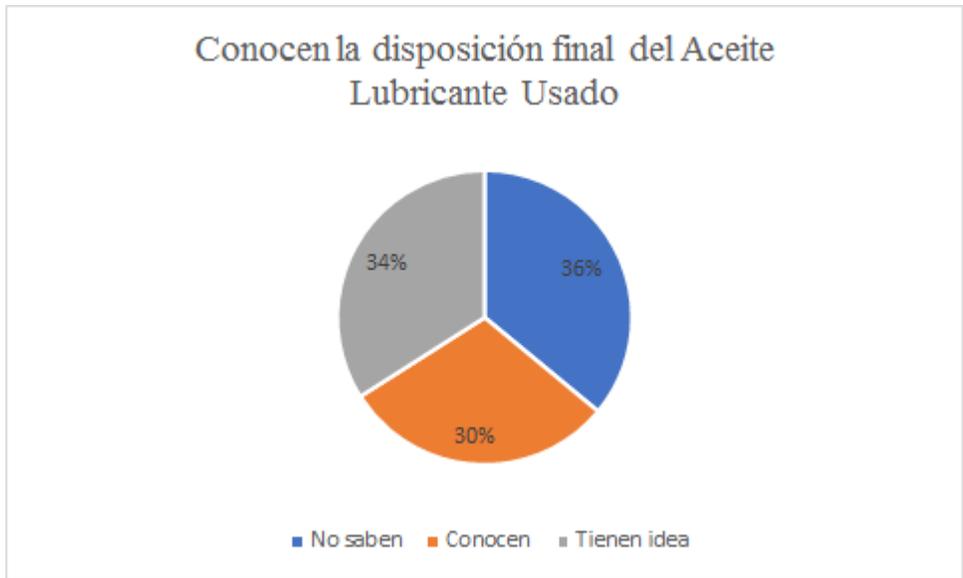
Inicialmente, la Figura 12 establece el porcentaje de establecimientos que deben pagar por la recolección del aceite lubricante automotriz usado (ALU) (43%), mientras que el restante (56%) no deben pagar por la recolección de su ALU, ya que manifestaron que es comprado por terceros, lo cual es una ventaja para ellos, pues no deben preocuparse por la generación de un residuo peligroso y además por su disposición final. Lo anterior también se relaciona con el desconocimiento de los establecimientos en cuanto a cuál o cuáles son los procedimientos finales del ALU, luego de ser entregado a las empresas o empresa recolectora, visible en la Figura 13, lo cual enseña que solo el 30% de las empresas responsables de generar este residuo peligroso es dispuesto para ser tratado y posteriormente utilizado como combustible para calderas industriales, el 70% restante se divide en los colaboradores que tienen una idea errada de lo que se realiza con el aceite lubricante automotriz usado y los que no tienen idea y realmente no les interesa y es allí en donde se observa una relación directa entre las empresas recolectoras autorizadas y las empresas generadoras, pues dentro del 70% anterior, un buen porcentaje está pagando para que le reciban sus residuos contaminantes (Figura 12), sin saber que sucede con el respel luego de salir de su empresa.

Figura 12. Porcentaje de establecimientos que pagan por la recolección de ALU.



Fuente: Autores

Figura 13. Porcentaje de encuestados que conocen sobre la disposición final del ALU.



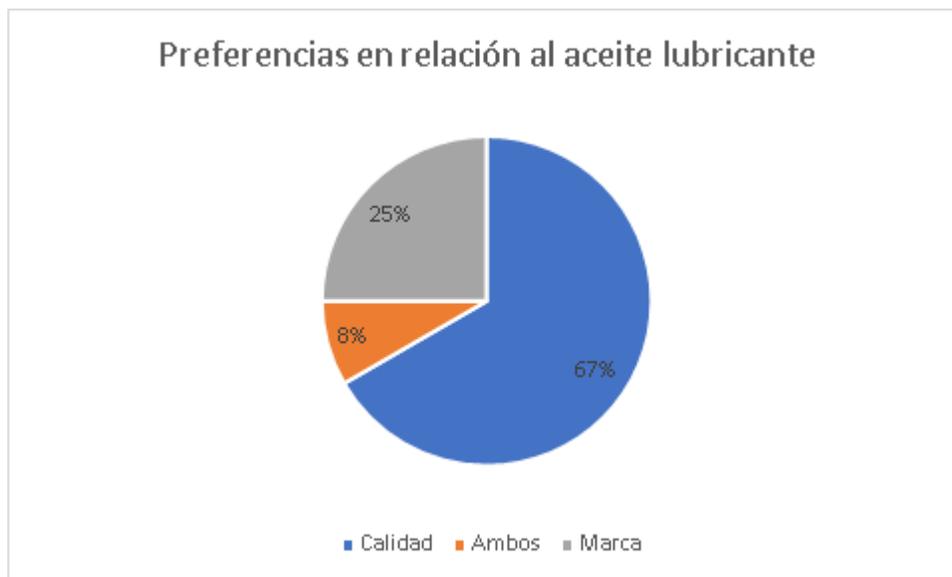
Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta los sectores productivos que más han incrementado en los últimos años, uno de ellos es el automotriz representando así una oportunidad de mejora para la contribución del medio ambiente en Sogamoso y la vez también la oportunidad crear un modelo de negocio más acorde a las dinámicas que trae consigo el mercado y la cultura en cuanto a una gestión integral de este respel. Todo esto incide en el desconocimiento que tienen los administradores del establecimiento en desentenderse de eso y

hacerle un lado a la responsabilidad extendida del generador, es decir, que en su mayoría, los establecimientos no tienen conocimiento alguno de que se hace con este residuo después de que pasa un gestor autorizado, de cuál es la manera de recuperar o aprovechar este aceite usado.

Por otro lado, según las encuestas, se evidenció en la Figura 14, que los administradores de los establecimientos de cambio de aceite prefieren la calidad del aceite lubricante (67%), por encima de la marca (25%), es decir que a pesar de que este sector está monopolizado en gran parte por diferentes multinacionales petroleras, los establecimientos no optan en su mayoría por escoger un producto de su preferencia, por ende ya no se asocia el factor calidad directamente con el nombre de la marca del aceite lubricante; lo cual representa una oportunidad de incursión en este nuevo mercado, ya que si la base lubricante tiene las mismas propiedades de las otras, el producto puede tener buena acogida de los nuevos clientes que pueden verse beneficiado con la base lubricante final, y en relación costo-beneficio puede ser igual o mucho mayor que las otras marcas.

Figura 14. Preferencias en relación con la marca o la calidad del producto.



Fuente: Autores.

Con respecto a las debilidades obtenidas a lo largo del diagnóstico del mercado, es que la base lubricante depende en un principio del consumo de productos vírgenes, es decir que hay una pequeña dependencia en cuanto a estos tipos de productos. Además, en un principio no se va a tener el reconocimiento comercial en el mercado, lo que puede ser un factor a favor o en contra. Sin embargo, ya se saben las preferencias en cuanto a esto en la zona de estudio. A pesar de este ser un producto con un enfoque ambiental importante, al ser un producto reciclado puede haber una pequeña estigmatización hacia estos productos, de que se benefician en la parte ambiental, pero en cuanto al rendimiento y calidad puede ser un poco menor en comparación a los otros, es decir hay una mala fama de esta clase de iniciativas de comercialización de productos regenerados.

Ahora bien, el modelo de negocio que se plantea teniendo en cuenta las diferentes variables del mercado, diagnosticaron que pese a tener un mercado competitivo y apto para la incursión en Boyacá, se necesitan de aliados estratégicos que ya tienen una logística de transporte definida y estructurada acorde a las

necesidades del mercado de los aceites lubricantes, de acuerdo a esto, la promesa de valor que se diferencia frente a los competidores, es la solución en la disposición final de un residuo peligroso, a partir de esto obtener una base lubricante y que este producto final sea un competidor directo de las bases lubricantes que se obtienen mediante la refinación del hidrocarburo. Así mismo, ser una alternativa innovadora en la minimización en la fuente del ALU, en el cual progresivamente vaya acostumbrando a los generadores en hacer una gestión integral de este RESPEL, y no acudir a diferentes usos no permitidos que tienen serias repercusiones ambientales. Todo esto con el acompañamiento y seguimiento de una asesoría a los establecimientos que lo requieran, en cuanto al almacenamiento, etiquetado y rotulado de todo aquello que se relacione con una gestión integral de este.

9.2 Resultados, análisis y discusión del objetivo específico 2

- Priorizar y validar un método de re-refinación para la producción de Base lubricante a partir de un aceite lubricante automotriz usado.

9.2.1 Comparación de alternativas de re-refinación del aceite lubricante usado

La comparación de alternativas se realizó por medio de una metodología de Análisis Multicriterio conocida como AMC. Esta es una herramienta versátil que se puede ajustar fácilmente según los criterios a conveniencia teniendo en cuenta las necesidades que surgen para definir la mejor alternativa de aprovechamiento del aceite. A continuación, se desarrollaron las diferentes fases propuestas en la metodología, las cuales se explicaron con mayor énfasis en la tabla 7.

❖ **Fase I: Selección de criterios**

En la Tabla 15 se incluye el listado de los criterios que fueron seleccionados de forma definitiva que se consideran en la obtención de los CIR como en la comparación de las alternativas.

Tabla 14. Lista de criterios.

Criterio
Método de obtención de base lubricante
Residuos/subproductos generados
Cantidad de productos

Complejidad tecnológica
Eficiencia

Fuente: Autoría propia con base a la metodología de (Machado, 2005)

❖ **Fase II: Escoger las alternativas a comparar respectivamente**

Con base al estado del arte se escogieron diferentes métodos de re-refinación acordes a la regeneración de una base lubricante, los cuales a partir de esto se escogieron 5 alternativas diferentes las cuales están sujetas a evaluación de criterios económicos y ambientales.

Ácido-Arcilla: Jones (2007) lo expresa “El aceite es neutralizado con arcilla activada a elevada temperatura. La arcilla además blanquea el aceite y absorbe ciertas impurezas que no son removidas con el tratamiento ácido. Finalmente, el aceite es filtrado para extraer los sólidos y la arcilla” (p. 25).

Tabla 15. Análisis de alternativa 1: Ácido-arcilla.

<i>Alternativa 1. Método ácido-arcilla</i>		
<i>Dimensión</i>	<i>Componente</i>	<i>Justificación</i>
Ecológico	Método de obtención de base lubricante	El aceite usado se somete a evaporación de aquellos productos ligeros como agua e hidrocarburos. Después de esta etapa la carga se trata con ácido sulfúrico dando un rendimiento de un 85% aproximadamente en relación con el producto tratado, el resto es un desecho aceitoso y ácido. El producto obtenido es filtrado con arcilla y cal par mejorar su color y acidez, el cual obtiene un desecho con una composición de 3-4% de una mezcla de aceite ácido y arcilla. Este proceso tiene un rendimiento global de 70%

		en peso de la carga del aceite (Moya, L., 2010, p. 18).
	Residuos/ subproductos generados	Este proceso genera una serie de productos de complicada gestión como lo son: lodos ácidos producto del ácido sulfúrico, arcillas contaminadas con impurezas, emisiones atmosféricas con ácido sulfúrico (Chuqui & Romero, 2017).
	Cantidad de productos	Este producto genera una base lubricante como producto final, y como subproductos residuos de complicada gestión
Económico	Complejidad tecnológica	Este procedimiento es apto para llevarlo a cabo a escala experimental debido a que no necesita mayores equipos ni instrumentos para la generación de la base lubricante
	Eficiencia	Según Moya, “Este proceso tiene un rendimiento global de 70% en peso de la carga del aceite” (p.18)

Fuente: Autores.

Alternativa 2: El proceso Arcilla, es una adaptación del proceso anterior, pero con mejoras teniendo en cuenta la disminución del uso de solventes como el ácido sulfúrico y también evitando la destilación, por lo tanto hay una menor generación de RESPEL (Moya, 2009).

Tabla 16. Análisis de alternativa 1: Proceso arcilla.

Alternativa 2. Proceso Arcilla		
Dimensión	Componente	Justificación
Ecológico	Método de obtención de base lubricante	El proceso consta de un reactor donde se mezclan los aceites lubricantes usados a tratar con una mezcla de arcillas. Dicha mezcla de lleva a unas temperaturas de 80°C a 200°C. Las temperaturas no deben ser excesivamente altas para evitar o minimizar el “cracking” de los aceites lubricantes en la mezcla. La mezcla arcilla lubricante se mantiene con agitación en el reactor un tiempo determinado favoreciendo así la transferencia de impurezas (Moya, 2009).
	Residuos/ subproductos generados	Se genera de igual manera arcillas contaminadas, filtros contaminados con la misma, teniendo en cuenta su peligrosidad, estos residuos requieren igual que el anterior, un tratamiento especial de los desechos Moya, 2009).
	Cantidad de productos	Este proceso al igual que todos genera una base lubricante y adicional un gas liviano (Moya, 2009)
Económico	Complejidad tecnológica	Este proceso requiere de un reactor donde allí con ayuda de un agitador se va mezclando el aceite lubricante usado, por último, se necesita un filtro prensa donde sale toda la arcilla contaminada.

	Eficiencia	La eficiencia del proceso en relación con la carga del aceite lubricante de aproximadamente 80% (Ruiz, 2011)
--	------------	--

Fuente: Autores.

Alternativa 3: Extracción por solvente, este es uno de los procesos más económicos y eficientes en la re-refinación de aceite lubricante usado, el cual se desarrolla en mezclar el aceite lubricante usado y el solvente, esto con el fin de asegurar que estos dos se mezclen hasta el punto de una miscibilidad completa. Posteriormente a este proceso el solvente tiene la capacidad de retener los aditivos e impurezas que contiene el aceite usado, por último, todas estas partículas se sedimentan por acción de la gravedad y como resultado se obtiene una base lubricante (Ruiz, 2011).

Tabla 17. Análisis de alternativa 3. Proceso extracción por solvente

Alternativa 3. Extracción por solvente		
Dimensión	Componente	Justificación
Ecológico	Método de obtención de base lubricante	Este proceso se basa en el precalentamiento del aceite con disolventes, después vienen las fases de deshidratación, destilación y acabado (Chuqui & Romero, 2017).
	Residuos/ subproductos generados	Este método genera un lodo orgánico útil que se puede emplear para otros usos; si se emplea arcilla en el proceso puede tener presencia de PCB (Bifenilos Policlorados) (Chuqui & Romero, 2017).
	Cantidad de productos	Este método como resultado final solo tiene una base lubricante

Económico	Complejidad tecnológica	El éxito de este método recae principalmente en el desarrollo de un solvente con las propiedades indicadas y la relación adecuada según el tipo de aceite lubricante, en ese orden de ideas, este método no necesita a escala experimental mayor complejidad de equipos de laboratorio.
	Eficiencia	Este método puede remover hasta un 95% de impurezas, sin embargo no remueve la presencia de metales, por lo cual necesita otra serie de procesos adicionales, de esta manera el rendimiento global de este método aproximadamente es de un 70% (Ruiz, 2011)

Fuente: Autores.

Alternativa 4: Extracción por propano, según Moya (2009) “Este método se basa fundamentalmente en la extracción con propano líquido de hidrocarburos de origen petrolífero presentes en los aceites usados por decantación de los productos de degradación y otros contaminantes” (p.21).

Tabla 18. Análisis de alternativa 4. Proceso extracción por propano.

Alternativa 4. Extracción por propano		
Dimensión	Componente	Justificación
Ecológico	Método de obtención de base lubricante	El aceite lubricante usado es almacenado y sometido a un análisis previo, posteriormente se calienta para ser mezclado con el propano líquido, el cual es sometido a decantación en dos fases para poder separar los aditivos, el agua y los asfaltos, por último, pasa a una destilación para remover la presencia de propano para

		la obtención de una base lubricante de alta calidad (Moya, 2009).
	Residuos/ subproductos generados	Este método de regeneración de aceite genera emisiones atmosféricas producto de la combustión interna de calderas y un agua residual producto de la destilación del aceite lubricante (Moya, 2009).
	Cantidad de productos	Al final del proceso se obtienen como productos una base lubricante de alta calidad (80%), componentes asfálticos que pueden ser comercializados (18%) y un combustible ligero (2%) el cual puede servir para abastecer la energía eléctrica llevada a cabo en el proceso (Menéndez, 2004)
Económico	Complejidad tecnológica	Este método a escala experimental es realizable siempre y cuando se tenga el reactivo de propano líquido, ya que la obtención de este reactivo en muchos casos es muy compleja o no se consigue, por el estado en el que se tiene que tener.
	Eficiencia	Este método tiene un rendimiento 83 % y los subproductos un 12 % (Arrieta, Mcnish, Yepes, 2009)

Fuente: Autores.

Alternativa 5: Hidrotratamiento, este método resalta la obtención de bases lubricantes en cuanto a la calidad en color, viscosidad y remoción de algunos metales. Según Cuervo & Valdiri (2019): “El aceite usado es destilado en una columna de alto vacío, como es de esperarse las impurezas saldrán por el fondo de la columna, las cuales se extraerán después. El aceite posteriormente se llevará a un reactor donde se calentará para fraccionarlo en las distintas partes de del lubricante” (p.40)

Tabla 19. Análisis de alternativa 5. Proceso de hidrotratamiento.

<i>Alternativa 5. Hidrotratamiento</i>		
<i>Dimensión</i>	<i>Componente</i>	<i>Justificación</i>
Ecológico	Método de obtención de base lubricante	Se desarrolla principalmente en dos reactores, el primero contiene un recubrimiento de protección y el segundo contiene un catalizador de hidrotratamiento, donde se reduce la presencia de algunos contaminantes como, los óxidos, sulfuros, halógenos y compuestos nitrogenados (Menendez, 2004).
	Residuos/ subproductos generados	Este proceso tiene mejoras en cuanto a las condiciones ambientales que presenta, sin embargo, se generan emisiones atmosféricas en la destilación del aceite, agua residual producto de la eliminación por tratamiento térmico y finalmente se tiene el residuo del catalizador, sin embargo, este se puede reutilizar, hasta que con el uso vaya perdiendo eficacia (Moya, 2009).
	Cantidad de productos	De este método se obtiene una base lubricante de alta calidad y residuos para ser aprovechados como combustibles para ser consumido por la planta, los cuales son unos hidrocarburos ligeros, un gasóleo y un residuo de destilación que puede ser mezclado con asfalto para el pavimento de carreteras (Arrieta et al, 2009) (Moya, 2009).

Económico	Complejidad tecnológica	Para llevar a cabo este método a escala experimental se necesitan de dos reactores donde internamente ocurre el hidrotratamiento del aceite lubricante, así mismo también se requiere de equipos que tengan la capacidad de aguantar temperaturas de 400°C aproximadamente en periodos de tiempo largos (Chuqui & Romero, 2017)
	Eficiencia	El rendimiento global de este proceso es del 80 % y los subproductos de 12 % (Arrieta et al, 2009).

Fuente: Autores.

❖ **Fase III: Ponderación de los criterios seleccionados para obtención de los CIR**

Conforme a la metodología descrita en el numeral anterior, se procedió a realizar la ponderación de los criterios para la obtención de los coeficientes de importancia relativa-CIR en el que se evalúa la relación que tienen los criterios en sí. A continuación se ven los resultados obtenidos en la Tabla 20.

Tabla 20. Coeficientes de importancia relativa (CIR).

Criterio vs Criterio	Nominal	Método de obtención de base lubricante	Residuos/subproductos generados	Cantidad de productos	Complejidad tecnológica	Eficiencia	Suma	CIR
Nominal		0	0	0	0	0	0	0
Método de obtención de base lubricante	1		0.5	0.5	0,5	0.5	3.0	15
Residuos/subproductos generados	1	1		0	1	1	4	20
Cantidad de productos	1	1	0.5		1	1	4.5	22
Complejidad tecnológica	1	1	1	1		1	5	26
Eficiencia	1	0.5	1	1	0		3.5	17
TOTAL							20	100

Fuente: Autoría propia con base a la metodología de Machado, 2005

❖ **Fase IV: Orden de los CIR por porcentaje de peso**

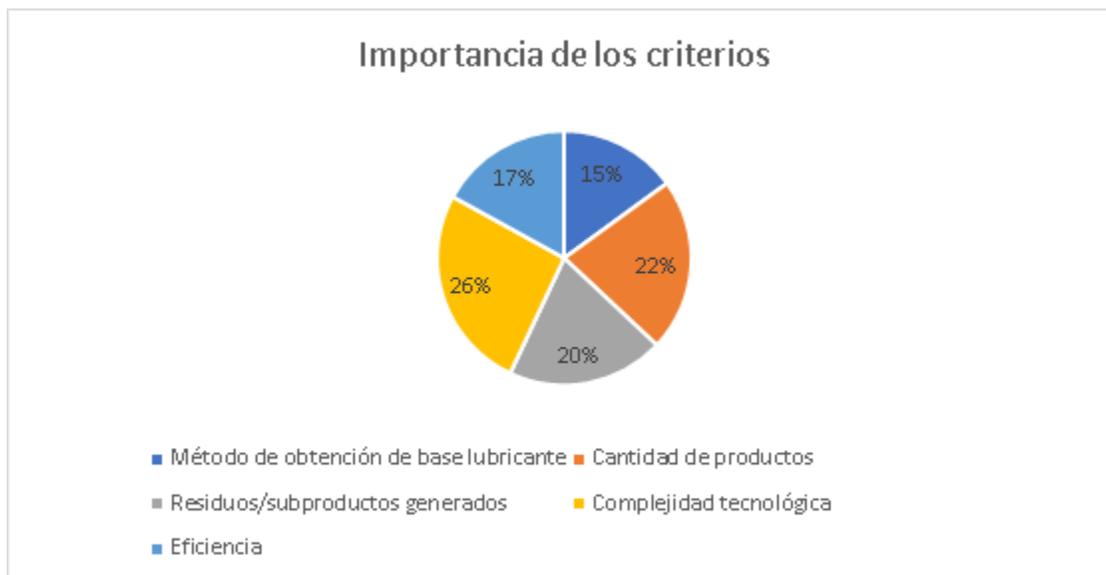
A continuación se muestran ordenados decrecientemente los criterios según su CIR. Siendo el método de obtención de base lubricante y cantidad de productos los de mayor peso en todas las alternativas evaluadas.

Tabla 21. Criterios según CIR.

Criterio	Peso (%)
Complejidad tecnológica	26
Cantidad de productos	22
Residuos/subproductos generados	20
Eficiencia	17
Método de obtención de base lubricante	15

Fuente: Autoría propia con base a la metodología de Machado, 2005

Figura 15. Porcentaje de importancia de los criterios.



Fuente: Autores

❖ **Fase V: Determinación de los coeficientes de selección ambiental (CSA)**

Se realizó la estimación de los CSA confrontando las alternativas seleccionadas, como se muestra a continuación en las siguientes tablas (Ver Tablas 22-26)

Tabla 22. Criterio 1: Complejidad tecnológica.

Criterio 1: Complejidad tecnológica								
Alt vs Alt	Nominal	Hidrotratamiento	Extracción por propano	Extracción por solvente	Arcilla	Ácido-Arcilla	Suma	CSA
Alternativa 1	1	0	5	0	0		6	5
Alternativa 2	1	0	5	0		0	6	5

Alternativa 3	1	5	5		5	5	21	20
Alternativa 4	1	5		5	10	10	31	30
Alternativa 5	1		10	10	10	10	41	40
Nominal		0	0	0	0	0		
Total							105	100

Fuente: Autoría propia con base a la metodología de Machado, 2005

Tabla 23. Criterio 2: Cantidad de productos.

Criterio 2: Cantidad de productos								
Alt vs Alt	Nominal	Hidrotratamiento	Extracción por propano	Extracción por solvente	Arcilla	Ácido-Arcilla	Suma	CSA
Alternativa 1	1	10	10	10	10		41	39
Alternativa 2	1	10	10	10		10	41	39

Alternativa 3	1	5	5		5	5	21	20
Alternativa 4	1	0		0	0	0	1	1
Alternativa 5	1		0	0	0	0	1	1
Nominal		0	0	0	0	0		
Total							105	100

Fuente: Autoría propia con base a la metodología de Machado, 2005

Tabla 24. Criterio 3: Residuos/subproductos generados.

Criterio 3: Residuos/ subproductos generados								
Alt vs Alt	Nominal	Hidrotratamiento	Extracción por propano	Extracción por solvente	Arcilla	Ácido-Arcilla	Suma	CSA
Alternativa 1	1	10	10	10	10		41	46
Alternativa 2	1	10	10	10		5	36	40

Alternativa 3	1	5	5		0	0	11	12
Alternativa 4	1	0		0	0	0	1	1
Alternativa 5	1		0	0	0	0	1	1
Nominal		0	0	0	0	0		
Total							90	100

Fuente: Autoría propia con base a la metodología de Machado, 2005

Tabla 25. Criterio 4: Eficiencia.

Criterio 4: Eficiencia								
Alt vs Alt	Nominal	Hidrotratamiento	Extracción por propano	Extracción por solvente	Arcilla	Ácido-Arcilla	Suma	CSA
Alternativa 1	1	5	5	5	5		21	30
Alternativa 2	1	5	5	5		5	21	30

Alternativa 3	1	5	5		5	5	21	30
Alternativa 4	1	0		0	0	0	1	1
Alternativa 5	1		5	0	0	0	6	9
Nominal		0	0	0	0	0		
Total							70	100

Fuente: Autoría propia con base a la metodología de Machado, 2005

Tabla 26. Criterio 5: Método de obtención de base lubricante.

Criterio 5: Método de obtención de base lubricante								
Alt vs Alt	Nominal	Hidrotrata miento	Extracción por propano	Extracción por solvente	Arcilla	Ácido-Arcilla	Suma	CSA
Alternativa 1	1	5	5	10	10		31	27
Alternativa 2	1	5	5	10		5	26	22

Alternativa 3	1	10	5		0	0	16	14
Alternativa 4	1	5		5	0	0	11	10
Alternativa 5	1		5	5	10	10	31	27
Nominal		0	0	0	0	0		
Total							115	100

Fuente: Autoría propia con base a la metodología de Machado, 2005

❖ Fase IV: Análisis de la Matriz final de coeficientes y selección de la alternativa óptima

Tabla 27. Matriz final de coeficientes.

Criterio	CIR	CSA					CIRxCSA				
		Ácido-Arcilla	Arcilla	Extracción por solvente	Extracción por	Hidrotratamiento	Ácido-Arcilla	Arcilla	Extracción por solvente	Extracción por propano	Hidrotratamiento
Complejidad tecnológica	26	5	5	20	30	40	130	130	400	520	780
Cantidad de productos	22	39	39	20	1	1	858	858	440	22	22
Residuos/su bproductos generados	20	46	40	12	1	1	920	800	240	20	20
Eficiencia	17	30	30	30	1	9	510	510	510	17	153
Método de obtención de base lubricante	15	27	22	14	10	27	405	330	210	150	405
Total							2823	2628	1800	729	1380

Fuente: Autoría propia con base a la metodología de Machado, 2005

En la Tabla 27 se observa la matriz final de coeficientes donde se integró los valores de los coeficientes de importancia relativa (CIR) y los coeficientes de selección ambiental (CSA), correspondientes para cada criterio y alternativa. Estos datos permitieron conocer cuál es la alternativa óptima para la zona de estudio, desde el punto de vista ambiental y económico, el cual es el método que tuvo menor puntuación.

Teniendo en cuenta la matriz final donde sintetiza todas las comparaciones de los criterios seleccionados y las alternativas evaluadas, se evidencia claramente que la alternativa extracción por propano es la que menor puntaje tiene con 729, siendo este el de mayor viabilidad, optando por ese método de regeneración de aceites lubricantes usados, esto debido a que este método se puede ir acoplando a medida del crecimiento en la demanda de aceite, y teniendo en cuenta las pocas repercusiones que tiene sobre el medio ambiente, puesto que el reactivo propano se somete a una recuperación y puede ser empleado de vuelta, evitando así la emisión de reactivos gaseosos hacia la atmósfera, también las aguas residuales de este proceso se somete a un sistema de tratamiento de acuerdo a las características, cabe resaltar que estas aguas residuales industriales no requieren de un sistema de tratamiento complejo, dada sus bajas características de peligrosidad, no obstante, lo más importante de esto es que se evita en la parte de filtración en vacío el uso de la arcilla en grandes cantidades la cual sale con impurezas y necesita un tratamiento especial para inactivar las contaminantes que tiene la arcilla resultante, por esto las primeras dos alternativas ácido-arcilla y arcilla, ambientalmente no son un método viable ya que genera muchos subproductos no deseados y de alta peligrosidad de acuerdo a la presencia de diferentes reactivos de baja biodegradabilidad, pese a que experimentalmente son las más sencillas de realizar (Chuqui & Romero, 2017). Caso similar sucede con la alternativa 3, extracción por solvente ya que al emplearse la arcilla y al mezclarse con el solvente se genera un lodo con presencia de Bifenilos Policlorados, en el que su tratamiento tiene que ser muy riguroso. Caso contrario en el hidrotreatmento ya que todos los subproductos generados a lo largo del proceso se pueden reutilizar como lo es en el caso del agua residual industrial y el catalizador (Menéndez, 2004).

La complejidad tecnológica fue escogida como el criterio de mayor relevancia, ya que independientemente de los otros criterios, este permite conocer qué método de regeneración de base lubricante puede hacerse a escala experimental, por lo cual en este caso las alternativas más sencillas en cuanto a la necesidad de equipo, reactivos e instrumentos en el laboratorio fueron las primeras tres alternativas, ácido-arcilla, arcilla y extracción mediante propano, respectivamente. En contraste, el método de hidrotreatmento y extracción por solvente fueron los que mayor puntaje arrojaron en este caso, puesto que llevar a cabo alguno de los dos a escala experimental es muy complejo, debido a que se necesita unos equipos de mayor complejidad que son muy difíciles de conseguir, los mismo para los reactivos, ya que conseguir el propano en estado líquido es complicado y en el caso de hidrotreatmento la venta del catalizador es bastante cara. Sin embargo, en cuanto a calidad de una base lubricante de óptimas condiciones, estos dos últimos métodos son los que sacan una base de alta calidad teniendo en cuenta que estos pasan por diferentes procesos que permiten la reducción de contaminantes, cabe resaltar que el proceso de hidrotreatmento no elimina ciertos metales presentes en el aceite lubricante usado, por lo tanto, requiere de procesos adicionales, lo que en materia económica puede acarrear costos adicionales.

Otro factor importante es la cantidad de productos que el método genera, si bien todas las alternativas tenidas en cuenta sacan una base lubricante como producto final, algunas con mayor calidad que otras, pero el valor adicional que las diferencia a todas es que algunas sacan productos aprovechables para sacarle un beneficio económico, como lo es en el hidrotreatmento el cual se derivan 3 productos adicionales, que son un combustible ligero que puede ser usado para abastecer la totalidad del proceso como un combustible para llevar a cabo la producción de base lubricante, un gasóleo y una clase de

cenizas el cual es apto para su venta como un subproducto para el pavimento de calles, de igual manera sucede con el método de extracción por propano que aparte de generar unos subproductos de alta calidad pueden también ser comercializados de manera fácil, representando así una beneficio económico adicional a la venta de la base lubricante. Por esta razón, los primeros tres métodos no generan ese valor adicional que a la hora de comparar las alternativas entre ellas no dan un diferencial para optar como una alternativa viable.

En cuanto al rendimiento global de los métodos, los más eficientes son los que tienen un valor mayor al 80%, entre los cuales el aumento del rendimiento se debe a la producción de subproductos comercializables, y se destacan el método de hidrotatamiento y extracción por propano, debido también a la complejidad tecnológica y cada uno de los procesos unitarios que influyen en la calidad de los productos. Es por esto que se induce que el método extracción por propano es el que menor puntaje tiene en la matriz final, lo cual es el más realizable teniendo en cuenta los criterios ambientales y económicos.

9.3 Resultados, análisis y discusión del objetivo específico 3

Tal como se mencionó en la metodología, luego de realizar el análisis multicriterio para definir cuál era el tratamiento más adecuado para implementar, teniendo en cuenta que a nivel de laboratorio no se permitió realizar un procedimiento para evaluar y producir la base lubricante obtenida a través del método de extracción por propano ya que no se cuentan con los equipos tecnológico para la puesta en marcha, por lo tanto se realizó una dedicada recolección de información y documentación referente a los tratamientos alternos a los antes mencionados, dentro de lo cual se encontró el tratamiento de ácido-arcilla modificando parte de su metodología bajo el cambio de reactivos, en este caso, el cambio se realiza para el ácido sulfúrico, sustituyéndolo por el ácido acético glacial, teniendo como base, la metodología y resultados experimentales de Hamawand, Ihsan & Yusaf, T.F. & Rafat, Sardasht (2013).

Se realizó el cambio debido a la reducción de impactos ambientales por la sustitución de los ácidos, así mismo por el interés de culminar de manera exitosa el proyecto, teniendo claro que tiene un enfoque de emprendimiento bajo los lineamientos de la ingeniería ambiental; lo cual sopesa la continuidad del proyecto, dejando en claro la necesidad de la empresa EMIR S.A. E.S.P, por incursionar en nuevos mercados gracias al presente proyecto y el trabajo que aún se continúa luego de la entrega del presente documento. Así mismo, los primeros resultados experimentales se describen de manera cualitativa y sobre la marcha se realizarán los tratamiento y análisis pertinentes de la mano de la NTC 5995 de 2013 para determinar la calidad de la Base Lubricante.

Ahora bien, como punto de partida se debe tener en cuenta las características principales de los aceites lubricantes usados, que de manera general pueden presentar las siguientes composiciones de sustancias contaminantes, que a nivel de concentraciones puede tener fluctuaciones debido a la marca y a las características del automotor.

Tabla 28. Sustancias contaminantes y su origen, en el aceite lubricante automotriz usado.

Contaminante	Origen
Bario	Aditivos detergentes
Plomo	Gasolina plomada-desgaste de piezas
Magnesio	Aditivos detergentes
Zinc	Aditivos antidesgaste y antioxidantes
Fósforo	Aditivos antidesgaste y antioxidantes
Hierro	Desgaste del motor
Cromo	Desgaste del motor
Níquel	Desgaste del motor
Aluminio	Desgaste de rodamientos
Cobre	Desgaste de rodamientos
Estaño	Desgaste de rodamientos
Cloro	Aditivos- gasolinas plomadas
Azufre	Base lubricante- productos de combustión
Agua	Combustión
Hidrocarburos livianos	Dilución del combustible

PAH	Combustión incompleta
-----	-----------------------

Fuente: Ortiz, 2007

Conociendo de antemano las sustancias de desgaste, adquiridas por el aceite lubricante en su proceso de lubricación y adquiridas en su ciclo de vida, se procede a seguir con el tratamiento químico mediante la metodología ácido acético glacial- arcilla.

9.3.1 Tratamiento físico-químico de aceite usado por acidificación (ácido acético glacial al 99,5%)

Tal como se mencionó en la metodología, el tratamiento de ácido sulfúrico fue sustituido por la metodología de ácido acético glacial al 99,5%, con algunas variantes determinadas por los autores del presente documento, teniendo como base el tratamiento realizado por Hamawand, Ihsan & Yusaf, T.F. & Rafat, Sardasht (2013) en donde según sus resultados experimentales, se logró una mayor eficiencia del ácido acético en dos adiciones relacionadas al volumen de 10 mL de ALU a tratar, las cuales fueron 0.8 mL de Ácido Acético Glacial (CH_3COOH) y 1 mL del mismo ácido. Al igual que el ácido sulfúrico, el ácido acético reacciona con polímeros, asfaltos, aditivos degradados, compuestos aromáticos, ácidos orgánicos, partículas metálicas producidas por el desgaste, que al reaccionar con el ácido produce un lodo que se precipita y toma una coloración grisácea.

La muestra con la cual se realizaron los procedimientos experimentales fue tomada del tanque de recolección del taller Lubriaautos La 20 ubicado en el municipio de Sogamoso- Boyacá y según su propietario, los tipos de base lubricante que ingresaban eran 20w50 y 10w30 para motores que funcionan con gasolina y 15w40 para motores que trabajan con diésel (ver Anexo 3). Las referencias anteriores representan la viscosidad del aceite lubricante antes y durante la operación en el motor y la W (winter-invierno) (El Tiempo, 2008).

Figura 16. Muestra de aceite lubricante automotriz usado del taller Lubriaautos La 20.



Fuente: Autores

Inicialmente, se realizaron 2 pruebas con diferentes temperaturas iniciales, cada prueba con los dos volúmenes de ácido acético (0.8mL y 1 mL). La temperatura inicial para la primera prueba fue a 250°C sin la adición de ácido y con reposo de 24 horas a temperatura ambiente; la segunda muestra se realizó sin llegar a 250°C, pues las adiciones de ácido se efectuaron a temperatura ambiente.

Los equipos que se utilizaron fueron los siguientes:

- Mufla de laboratorio Nabertherm L3.
- Plancha de calentamiento/agitación MS7-H550.
- Campana extractora.
- Vasos precipitados.
- Filtro Buchner.
- Erlenmeyer con/sin desprendimiento lateral.

Los reactivos:

- Ácido Acético Glacial al 99,5%

Tratamiento con temperatura inicial de 250°C y reposo de 24 horas: Como principal evidencia al elevar la temperatura a 250°C en la mufla durante 1h, teniendo en cuenta que se realiza con la finalidad de deshidratar la muestra y querer eliminar compuestos volátiles entre ellos la gasolina (Cuervo & Valdiri, 2019). El aumento de la temperatura a partir de los 150°C genera desprendimientos de vapores bastante nocivos. Al retirar la muestra de 20 mL, se observa un sobrenadante y un pequeño grumo en la parte superior del vaso de precipitado con una textura gelatinosa, lo cual puede indicar que sea bitumen debido a la reacción entre los hidrocarburos y la alta temperatura (ver Anexo 4).

La muestra de 20 mL como se observa en la Figura 17, se deja en reposo durante 24h para ser dividida en 2 vasos de precipitado de 10 mL cada uno. Cada vaso de precipitado contenía 10 mL de ALU y se agregaron 0.8 mL de ácido acético glacial al 99.5% a uno de los vasos, mientras que al otro se le agregaron 1 mL de ácido acético glacial al 99.5%. Cada uno de los vasos se dejaron en agitación constante (600 rpm) a temperatura ambiente y sellados, de acuerdo a la metodología de Hamawand, Ihsan & Yusaf, T.F. & Rafat, Sardasht (2013).

Nota: cuando se mencione temperatura ambiente hace referencia a una temperatura entre 20°C-21°C.

Las dos muestras de 10 mL cada una y con un agregado de ácido, se dejaron reaccionar durante 24 hrs para posteriormente ser dispuestas en la centrífuga a 3000 rpm durante 1 h y a temperatura ambiente y poder visualizar los lodos resultantes del tratamiento con el ácido.

Las muestras evidencian una coloración grisácea en la parte inferior del tubo de ensayo, capaz de visualizarse. Dado el proceso de acidificación, se inició el proceso de clarificación con tierras diatomeas, para lo cual, las muestras se transfieren a vasos precipitados para agregar alrededor de 1g de tierras según la metodología de Hamawand, Ihsan & Yusaf, T.F. & Rafat, Sardasht (2013) para ingresar nuevamente a la mufla, pero la diferencia es que la muestra se deja de 20°C hasta una temperatura de 250°C, que al alcanzarla, se deja volver nuevamente a la temperatura ambiente.

Al tener las muestras a temperatura ambiente, se inicia nuevamente el proceso de centrifugado durante 30 min a 3000 rpm, pero no se evidencia ningún cambio en la coloración de la base lubricante.

Figura 17. Muestra de ALU en reposo, luego de temperatura a 250°C durante 1h.



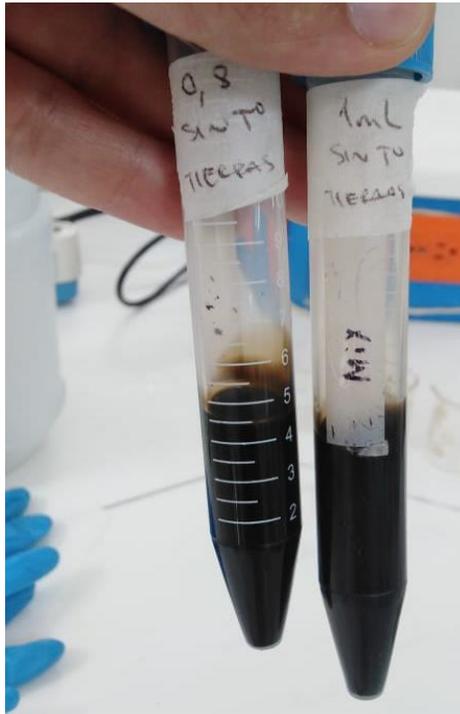
Fuente: Autores

Tratamiento sin temperatura inicial: El tratamiento sin temperatura inicial, sigue cada paso de la metodología de Hamawand, Ihsan & Yusaf, T.F. & Rafat, Sardasht (2013). A diferencia del procedimiento anterior, las muestras de 10 mL de ALU inician el procedimiento de acidificación a una temperatura ambiente con los agregados de 0,8 mL y 1 mL de ácido acético glacial y de manera similar en cuanto a tiempos en la plancha de agitación, en la mufla y los dos procedimientos de centrifugado, que es mencionado en el anterior procedimiento.

Para este tratamiento, se observa de mejor manera la cantidad de lodo generado en el procedimiento de acidificación y generación de lodos ácidos, el que mayor generación de lodo produce es la muestra que tiene 1 mL de ácido. Lo anterior se discute de manera cualitativa ya que no se iniciaron procesos de cuantificación de producción de lodo, pero se corrobora la información o resultados dados por Hamawand, Ihsan & Yusaf, T.F. & Rafat, Sardasht (2013) pues mencionan que la cantidad más eficiente dentro de las pruebas que se realizaron fueron al agregar 0.8 mL de ácido acético y mediante se aumentaba la cantidad, se generaba un tipo de lodo distinto que afectaba la calidad de la base.

Sin embargo, las tierras añadidas no generaron un cambio significativo en la coloración de la base (observar Figura 18), se mantiene su coloración oscura pero con una diferencia, ya que pasa de estar en un tono café bastante oscuro a una coloración rojiza, en comparación con la muestra del taller y con los resultados de las muestras que se sometieron a una temperatura inicial de 250°C.

Figura 18. Base lubricante luego de agregar tierras diatomeas y centrifugar.



Fuente: Autores

Teniendo en cuenta que los resultados anteriores no satisfacen los requerimientos experimentales a nivel cualitativo, se optó por realizar nuevamente la experimentación a una escala de volumen mayor, para poder determinar características más notorias en cuanto a la coloración de la base, además de agregar otro paso adicional al tratamiento físico que se le realiza a la base, pues al momento de querer cambiar de recipientes, los lodos e impurezas resultado del tratamiento químico no se pueden retirar, generando errores y pérdida de base lubricante refinada.

Frente a lo anteriormente discutido, el equipo de trabajo decide pasar de trabajar de una cantidad de 10 mL de ALU a 50 mL de ALU, realizando la siguiente conversión para agregar el ácido acético glacial al 98% correspondiente al aumento del volumen de la muestra.

Ecuación 3. Conversión de volúmenes de ácido para tratar 50mL.

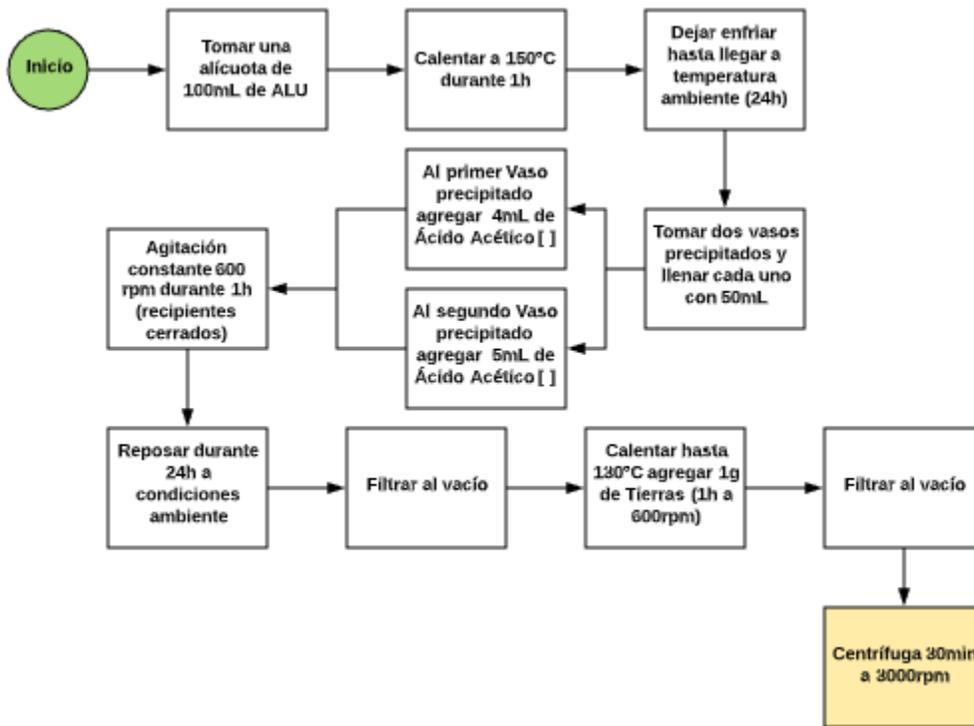
$$\frac{0.8\text{mL Ac. Acet}}{10\text{mL ALU}} * 50\text{mL ALU} = 4\text{mL Ac. Acet}$$

$$\frac{1.0\text{mL Ac. Acet}}{10\text{mL ALU}} * 50\text{mL ALU} = 5\text{mL Ac. Acet}$$

Fuente: Autores

Por lo tanto, para tratar 50 mL de ALU se necesitaron 4 mL y 5 mL de ácido acético glacial al 98% y seguir la metodología de la Figura 19, teniendo en cuenta algunos aspectos para mejorar de los anteriores procedimientos y resultados cualitativos de la base lubricante.

Figura 19. Metodología modificada para tratamiento de 50mL de ALU.



Fuente: Autores

Se inicia con la temperatura a 150°C, alcanzando aproximadamente los 160°C, pero a diferencia de las otras metodologías, se omite el uso de una mufla, pues se usó una plancha de calentamiento y con la ayuda de un termómetro, cada 2 min se controlaba la temperatura, así mismo la plancha permitía la agitación, que al igual que los otros procedimientos era de 600 rpm. Con lo anterior se logra evaporar el agua y la gasolina, además el no elevar la temperatura hasta los 250°C, evita seguir oxidando el aceite presente.

Luego del reposo de 24h, a las muestras de 50 mL se le agrega 4 mL de ácido acético glacial a una y 5 mL de ácido acético glacial a otra, para entrar en proceso de agitación a 600 rpm durante 1h y luego dejar en reposo a temperatura ambiente. El tratamiento ácido permitió la generación de lodos que son filtrados al vacío en un Filtro Buchner.

Finalmente se procede a la clarificación de la base, adicionando 5% v/v de tierras diatomeas, a una temperatura de 130°C y agitación constante de 600 rpm durante 1h.

La muestra con 5 mL de ácido se pierde totalmente causado por la adición de una camilla de tierras en el embudo, con la finalidad de clarificar aún más la base y la que ocasionó que la bomba de vacío no soportara el taponamiento de las tierras. La muestra de 4mL no se le hizo camilla o base con tierra filtrantes pues se dejó solo el papel filtro, y en vista que la bomba no permitió la correcta filtración, se depositaron 10 mL de base a los tubos de ensayo para centrifugar la muestra y el resultado fue el siguiente.

Figura 20. Base lubricante luego de agregar tierras diatomeas y centrifugar (tratamiento con 4 mL de Ac. Acético Glacial).



Fuente: Autores

Al igual que las otras pruebas realizadas, la coloración sigue siendo oscura. Toma una coloración rojiza pero la clarificación no es notoria.

Ahora, el tratamiento de ácido acético se tuvo en cuenta de acuerdo a la investigación experimental que realizaron Hamawand, Ihsan & Yusaf, T.F. & Rafat, Sardasht (2013) ya que el ácido mencionado, no reacciona con la base lubricante dadas sus características químicas, mientras que el ácido sulfúrico si reacciona con la base lubricante, pudiendo generar una oxidación innecesaria. Por otra parte es necesario mencionar que las investigaciones realizadas y comprendidas dentro de los marcos del presente trabajo, se presentan a nivel internacional, lo cual puede dar una referencia más ordenada de la recolección del aceite lubricante usado, pues en comparación con los talleres que se manejan en Colombia, todos los aceites llegan a un mismo tanque, por lo tanto se genera una homogeneización de todos los aceites lubricantes usados, sin importar que sean de carro, moto, a gasolina, diésel, sin importar los kilometrajes, etc. Lo anterior genera una brecha para estandarizar procesos de tratamiento.

Ahora bien, también se debe pensar en los reactivos usados para el presente proyecto, ya que inicialmente se debió usar Arcilla Tonsil Supreme 126-FF, pero ante la difícil adquisición y además de las limitaciones de tiempo, se usaron arcillas que de alguna forma no reaccionan satisfactoriamente en medio ácido y a altas temperaturas. Por otra parte, es necesario pensar en la falta de equipos que semejan los procedimientos industriales, ya que, para algunos pasos de la metodología, es necesario reactores que trabajen bajo condiciones de vacío, así mismo el poder implementar destilación al vacío puede permitir tener una mejor calidad de base lubricante.

Por otra parte, y al igual que otros autores han discutido en sus investigaciones, los lodos resultantes de la refinación de aceite lubricante usado mediante el método ácido-arcilla, generan costos adicionales y problemáticas ambientales, por lo cual, es necesario replantar un tratamiento más amigable sin repercusiones, o tratamientos adicionales que permitan capturar los metales pesados que se encuentran en el lodo. Sin embargo, el planteamiento de un tratamiento a partir de ácido acético glacial surge como alternativa para disminuir de manera sustancial las implicaciones ambientales generadas por el tratamiento ácido convencional, por tal motivo se sigue con el proceso experimental que permita evaluar posteriormente la calidad de la base lubricante generada y una comparación frente a los impactos ambientales producidos por el método ácido arcilla y el método ácido acético-arcilla.

10. Conclusiones

Inicialmente, el presente proyecto permite abrir nuevas oportunidades tanto en el mercado como para un nuevo modelo de negocio enfocado en la valorización de lo que hoy en día es considerado un residuo peligroso. De esta manera, se permite minimizar los vertimientos y mala disposición que resulta en problemas de impactos ambientales en los diferentes ecosistemas del municipio de Sogamoso, que no solo repercute en consecuencias negativas a nivel local si no a nivel regional. En ese orden de ideas se permitió abordar las problemáticas desde la generación hasta su disposición final, acorde a los lineamientos del Plan Nacional de Negocios Verdes, La Estrategia Nacional de Economía Circular, Los Objetivos de Desarrollo Sostenible y desde el enfoque de la ingeniería ambiental, reincorporando un residuo a una nueva cadena productiva. Es por esto que la apertura de un nuevo modelo de negocio para la empresa EMIR S.A E.S.P es viable.

Ahora bien, con respecto a lo anteriormente mencionado, se responde de manera efectiva al objetivo general, frente a la propuesta de aprovechamiento de aceite lubricante automotriz usado, como una nueva línea de negocio, impulsada por la empresa EMIR SA E.S.P en el municipio de Sogamoso, que mediante la metodología Canvas permitió conocer el entorno de negocio y los nichos de mercado a los cuales el presente proyecto ataca de manera efectiva. Sin embargo, se puede presentar un margen de error, ya que no se realizaron la totalidad de encuestas dentro del área de estudio, debido a que los establecimientos que no quisieron realizarla presentaban anomalías en cuanto al almacenamiento y disposición final del respel.

Es justo reconocer que la metodología usada en el primer objetivo que involucró aspectos cualitativos y cuantitativos del modelo de negocio, permitiendo diagnosticar y general la mejor propuesta de valor ajustada a las necesidades y demandas del mercado en el área de estudio.

De acuerdo a la comparación ambiental de alternativas, con análisis multicriterio se logró validar el método con menor puntaje, expresado como el método que menor impacto genera ambientalmente y que a nivel económico representa mayor rentabilidad, siendo el método de extracción por propano, el cual requiere de equipos con tecnología de un costo elevado para ser adquirida, sin embargo, la recuperación del capital de inversión se relaciona con la demanda de la base lubricante. De esta manera se da 100% de cumplimiento al segundo objetivo específico priorizando un método de re-refinación para la producción de Base lubricante, mediante la metodología que permitió seleccionar los criterios más importantes a evaluar a consideración los autores del presente documento.

Por otra parte, el desarrollo del tercer objetivo específico, en donde como principal propósito era demostrar experimentalmente la mejor alternativa, tuvo un cambio debido a la complejidad tecnológica a escala experimental, relacionado tanto con los equipos, reactivos e instrumentos necesarios para llevar a cabo la producción de base lubricante, por ende, la marcha de laboratorio se cambió siguiendo las indicaciones de la tutora Dr. Ana María Gómez. En el cambio se tuvo en cuenta el más sencillo para realizar a escala experimental (método ácido-arcilla), modificando el reactivo principal por ácido acético glacial, lo cual repercute en menores impactos ambientales frente al método convencional, que se realizó con la finalidad de poder entender las dinámicas y el comportamiento de los procesos industriales relacionados con el tratamiento de aceites lubricantes usados. Sin embargo, el método presentó inconvenientes en los procesos de filtración y clarificación; dando así una base lubricante con

características no deseadas en cuanto a su coloración, pero que será tenida en cuenta a lo largo del proyecto de emprendimiento.

Finalmente, con el presente proyecto se evidencian los diferentes beneficios ambientales y económicos que dan apertura a la oportunidad de incursionar en un nuevo mercado, representando así impactos a escala social para la generación de empleos e investigación en temas relacionados con tratamiento de residuos peligrosos.

11. Recomendaciones

- Con el presente documento, se evidencia la importancia de un estudio de mercado previo a la incursión con una propuesta de valor. Por tal motivo se recomienda seguir la metodología Canvas con el adicional de una matriz DOFA, lo cual podrá diagnosticar amenazas, fortalezas, debilidades y oportunidades de manera más específica.
- Teniendo en cuenta la dificultad de procedimientos experimentales, es necesario seguir retroalimentando los procesos experimentales de tratamiento de ALU, con el fin de proponer un nuevo método en el cual se obtenga un producto de calidad, competitivo con aceites vírgenes, en el cual se busque la reducción total de contaminantes.
- Es necesario al momento de priorizar y validar un método, tener en cuenta los costos directos e indirectos en los que se involucra el tratamiento, la logística inversa y costos de operación.
- Como parte de la gestión integral del residuo peligroso, es necesario brindar un acompañamiento permanente a los establecimientos dedicados a la generación de ALU, manteniendo un adecuado canal de comunicaciones para la mejora continua de la propuesta de valor.
- Se recomienda incursionar en un nuevo mercado industrial, frente al tratamiento de aceites lubricantes industriales que también hacen parte de la generación del municipio de Sogamoso debido a la presencia de empresas relacionadas a la producción de acero y minería.
- Como parte del proceso de aprendizaje en la Universidad El Bosque, se recomienda que la misma haga una partida presupuestal para este tipo de proyectos a escala experimental de manera que el tiempo y los recursos no sean un obstáculo para la investigación.

12. Referencias Bibliográficas.

- Arrieta, J. y Mcnish, F. y Yepes, C. (2009) *Implementación de una planta para la recuperación de aceites usados en la ciudad de Cartagena*. (Tesis de especialización) Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia. Tomado de: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0051852.pdf>
- Botas, J., Moreno, J., Espada, J., Serrano, D., Dufour, J. (2017) Recycling of used lubricating oil: Evaluation of environmental and energy performance by LCA (pp 315-323). Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917301891>
- Bridjanian, H., Sattarin, M. (2006) Modern recovery methods in used oil re-refining. Recuperado de: https://www.academia.edu/6599786/Re-Refining_Recovery_Methods_of_Used_Lubricating_Oil
- Camara de Comercio de Sogamoso. (2019) Estudio de percepción económica del municipio de Sogamoso. Tomado de: http://camarasogamoso.org/wp-content/uploads/2019/01/Estudio_Socio_Economico_de_la_Region_2018.pdf
- Campos, R. (2016). Aplicación del modelo Canvas para la creación y puesta en marcha de un negocio de comercio electrónico en Brildor S.L. Tomado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/65832/CAMPOS%20-%20Aplicaci%C3%B3n%20del%20modelo%20Canvas%20para%20la%20creaci%C3%B3n%20y%20puesta%20en%20marcha%20de%20un%20negocio%20de%20comerc....pdf?sequence=3>
- Cardozo, A., Polania, D. y Gonzales, J. (2014). Diagnóstico ambiental de la generación y manejo de los residuos peligrosos (RESPEL) generados por los centros de servicios especializados en el mantenimiento motociclistico de Ibagué-Tolima. (Tesis de postgrado) Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. Tomado de: <http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/1188/1/RIUT-GBA-spa-2014-Diagn%C3%B3stico%20ambiental%20de%20la%20generaci%C3%B3n%20y%20manejo%20de%20los%20residuos%20peligrosos%20generados%20por%20los%20centros%20de%20servicios%20especializados%20en%20el%20mantenimiento%20motociclistico%20de%20Ibagu%C3%A9%20Tolima.pdf>
- Chuqui, M. y Romero, J. (2017). Propuesta de implementación de una planta de regeneración de aceites lubricantes usados en la ciudad de Cuenca empleando el proceso de extracción con propano. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana sede Matriz Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Cuervo, A., Valdiri, J. (2019) Evaluación de los procesos de pretratamiento requeridos para el tratamiento biológico de los residuos de aceites usados de motor diesel (Tesis de pregrado). Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia. Tomado de: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7376/1/6141220-2019-1-IQ.pdf>
- Combustibles Boyacá Colombia Ltda. (2017). Combustibles Boyacá Colombia Ltda. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=A6lpJfSfzI>
- Cuipa, V. (2014) Proyecto de reciclaje de aceites usados en empresas automotrices del distrito de Cajamarca bajo un enfoque de buenas prácticas del PMI (Tesis de maestría) Universidad privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca, Perú.

- Departamento Nacional de Planeación. (2018). Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia CONPES 3934. Tomado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3934.pdf>
- Dang, S. (2016) Re Refining of used oils — a review of commercial processes. *Lubrication Science*. Tomado de: <https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/doi/abs/10.1002/tt.3020030407>
- Delgado, E., Parra, J., Aguilar, L., Guevara, D. Combustibles alternativos a partir de aceites usados con tratamientos de limpieza. Disponible en: http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-7/r7_art9.pdf
- Díaz, J., Ojeda, M. y Valderrábano, D. (2016). *Metodología de Muestreo de Poblaciones Finitas para Aplicaciones en Encuestas*. Veracruz, México: Imaginaria Editores.
- El Tiempo (2008) ¿Cómo escoger el lubricante?. Tomado de: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-2992100>
- Eman, A., Abeer, M. (2013) Re-refining of used lube oil, I- by solvent extraction and vacuum distillation followed by hydrotreating (pp 179-183). Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Abeer_Shoaib/publication/283177631_Re-refining_of_used_lube_oil_i-by_solvent_extraction_and_vacuum_distillation_followed_by_hydrotreating/links/5847e57708ae8e63e633b554.pdf
- Farhat, M., Rahman, F., Hamdam, A. (1996) Techno-economic evaluation of waste lube oil rerefining (pp 263-273) Tomado de: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/science/article/pii/092552739500176X?via%3Dihub>
- Farhat, M., Rahman, F., Hamdam, A. (1996) Techno-economic evaluation of waste lube oil rerefining (pp 263-273) Tomado de: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/science/article/pii/092552739500176X?via%3Dihub>
- Fundación con vida (2017) Informe aceites usados en Colombia y su solución. Disponible en: https://issuu.com/fundacionconvida/docs/informe_aceites_usados_en_colombia_
- George, G., & Bock, A. J. (2011). *The Business Model in Practice and its Implications for Entrepreneurship Research*. *Entrepreneurship theory and practice*, 35 (1), 83-111.
- Gómez, C., García, G., Hernández, A., Ramírez, P. (2007) La industria de la re-refinación de aceite mineral usado en Argentina. Universidad del CEMA. Tomado de: https://ucema.edu.ar/posgrado-download/tesinas2007/MADE_Hernandez.pdf
- GRN Gestión en Recursos Naturales. (2019). Ley de reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor REP. Tomado de: <https://www.grn.cl/medio-ambiente/ley-de-reciclaje-y-responsabilidad-extendida-del-productor-rep.html>
- Hamawand, Ihsan & Yusaf, T.F. & Rafat, Sardasht. (2013). Recycling of Waste Engine Oils Using a New Washing Agent. *Energies*. 6. 1023-1049. 10.3390
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México. Mc Graw Hill. Recuperado de: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- HOLCIM DE COLOMBIA S.A (2016) Eco Procesamiento LTDA. Recuperado de: <https://www.holcim.com.co/productos-y-servicios/eco-procesamiento-ltda>http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/407/LuisAlberto_Tesis_titulo_profesional_2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- ICONTEC Internacional. (2013). NTC 5995. Petróleo y sus derivados. Bases Lubricantes Re-refinadas. Tomado de: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5995.pdf>

- IDEAM (2017). Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia. Tomado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023849/Informe_RESPEL_2017.pdf
- Jones, J. (2007). Diseño de un sistema de reciclaje de aceite lubricante usado. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Kanokkantapong, V., Kiatkittipong, W., Panyapinyopol, Bunyarit., Wongsuchoto, P., Pavasant, P. (2009) Used lubricating oil management options based on life cycle thinking (pp 294-299). Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344909000032>
- Lubricantes Juguer, S.A (2012). Tomado de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/coah/estudios/2012/05CO2012I0007.pdf>
- IDEAM (2017) Consolidado de gestores de residuos peligrosos. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/>
- Machado, G. F. (2005). Estudio de impacto ambiental para la construcción y funcionamiento de la planta de agua potable del sistema Culebrillas. Cuenca. Retrieved from <https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Agua Potable/ingProyectos/Capítulo 4. Comp Amb Alternativas.pdf>
- Menéndez, A. (2004). Estudio experimental para la regeneración de aceites automotrices usados mediante la extracción supercrítica (Tesis de doctorado). Instituto Politécnico Nacional., Ciudad de México, México
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Programa Regional de Negocios Verdes, Región Central. Tomado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/846-plantilla-negocios-#documento-inter%C3%A9s>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Manual técnico para el manejo de aceites lubricantes industriales de origen automotor e industrial (2da edición). Tomado de: <https://acp.com.co/web2017/images/pdf/combustiblesylubricantes/FAU/Manual-AU-final-14.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular. Tomado de: https://www.ccb.org.co/content/download/104518/1883747/file/Taller%20Regional%20de%20la%20Estrategia%20Nacional%20de%20Economi%CC%81a%20Circular_Agenda_Bogot%C3%A1_V4.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Plan Nacional De Negocios Verdes. Tomado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1385-plantilla-negocios-verdes-y-sostenibles-40#documento-inter%C3%A9s>
- Mogro, S.(2015) Propuesta para la creación de una planta de regeneración de aceites usados de vehículos para elaborar bases lubricantes. (Tesis de pregrado) Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador
- Ortiz, O. (2007) Evaluación de la gestión integral del manejo de aceite usado vehicular en Bogotá. Tomado de: https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dml_download&p=3912
- Osman, D., Attia, S., Taman, A. (2018) Recycling of used engine oil by different solvent (pp 221-225) Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062116302161>
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). Business model generation. Hoboken, NJ: Wiley. Retrieved from http://bvbr.bib-bvb.de:8991/F?func=service&doc_library=BVB01&local_base=BVB01&doc_number=020

341160&sequence=000004&line_number=0002&func_code=DB_RECORDS&service_type=MEDIA

- Presidencia de la República de Colombia. (2005) Decreto 4741 de 2005. Tomado de: <https://www.habitatbogota.gov.co/decreto-4741-2005>
- PNUD (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Tomado de: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Restrepo, L. y Rojas, A. (2016). Diagnóstico y programa de capacitación del aceite usado-sector mantenimiento motocicletas Florencia Caquetá (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Abierta a Distancia UNAD, Florencia, Caqueta, Colombia. Tomado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/143464438.pdf>
- Rodríguez, L. (2011). Lineamientos para el manejo y disposición final de aceites lubricantes usados en Florencia, Caquetá (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Florencia, Caqueta, Colombia.
- Ruiz, J. (2011) Recuperación de aceites para maquinarias. Universidad Nacional Experimental de la Fuerza Armada Bolivariana. Recuperado de: <https://studylib.es/doc/3178284/tecnologia-para-la-recuperacion-de-aceites>
- Registro Único Nacional de Tránsito (2017). Estadísticas del RUNT. Tomado de: http://www.runt.com.co/cifras?field_fecha_de_la_norma_value%5Bvalue%5D%5Byear%5D=2017
- Rimapa, M. (2011). Disposición final de los aceites lubricantes usados en la ciudad de Iquitos- Diagnóstico situacional. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Iquitos, Perú
- Sánchez, L. (2014) Diseño de una planta industrial para la re-refinación de aceites lubricantes usados en el distrito de Chilca. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional del Callao, Perú
- Selvi, P., Sharma, M., Kaymotra, J. (2013) Spent Oil Management and its Recycling Potential in India Inventory and Issues (pp 742-755) Tomado de: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/science/article/pii/S1878029613002338>
- Serna, M., Barrera, I. (2017) Global Oil. Aceites lubricantes para vehículos y uso industrial. Tomado de: https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/411/1/AEA-spa-2017-Plan_y_estructura_de_Ventas_Global_O%C3%ADl_aceites_y_lubricantes.pdf
- Silva, W., Bolaños, E., Tovar, C. (2017) Physical-chemical characterization of spent engine oils for its recycling (pp 135-144) Tomado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v15n2/1692-8261-prosp-15-02-00135.pdf>
- Trujillo J., Suintaxi R. (2009). Levantamiento de catastro de generadores, diseño de una plan de recolección y alternativas para la disposición final de los aceites usados en el Cantón Rumiñahui-Provincia de Pichincha. Tomado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1165/1/CD-2003.pdf>